

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Багдюна Александра Андреевича по теме

«МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗМЕРОВ НАНОЧАСТИЦ»

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности

05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Соответствие содержания диссертации отрасли науки и специальности (специальностям)

Объект исследований, сформулированная в работе цель исследований, круг решённых задач, выводы, а также направления практического использования результатов, полученных в ходе выполнения работы, соответствует технической отрасли наук «метрология и метрологическое обеспечение».

Положения, выносимые на защиту, соответствуют областям исследований, предусмотренным паспортом специальности 05.11.15 – метрология и метрологическое обеспечение, утвержденным Приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 23 ноября 2016 года № 300, в частности:

- пункту III.3 «Разработка эталонов и прецизионных средств и методов измерений, включая создание их теоретических и организационно-методических основ»;

- пункту III.4 «Воспроизведение и передача размера единиц величин с помощью эталонов, обоснование и организация метрологической прослеживаемости (поверочные схемы и иерархии калибровки)».

Актуальность темы диссертации

В Республике Беларусь опережающими темпами развиваются важнейшие направления научно-технической и промышленной деятельности такие как полупроводники, электроника и электронное машиностроение, порошковая металлургия, технологии тонких пленочных покрытий, медицинские препараты, в которых инновационные технологии связаны с применением наноразмерных (от 1 до 1000 нм) частиц. При этом размеры частиц являются главной технической характеристикой для этих областей исследований и производства. Разрабатываемые и имеющиеся средства измерений позволяет решать задачу контроля размеров наночастиц. Однако обязательным условием признания результатов измерений является доказательство их достоверности и прослеживаемости, что обеспечивается, если измерительный контроль проводится с помощью прошедших

*вх. № 11-52/166
от 10.12.2014*

метрологическую аттестацию (поверку, калибровку) средств измерений, с использованием признанных национальных или международных эталонов.

В Республике разработана, внедрена и функционирует признанная на международном уровне Система обеспечения единства измерений (СОЕИ), однако, до настоящего времени, она не охватывала нанометровый диапазон размеров из-за отсутствия необходимого теоретического обоснования и технического обеспечения, эталонов, методик.

Актуальность диссертационной работы Багдюна А.А. заключается в том, что она направлена на развитие СОЕИ для диапазона длин от 1 до 1000 нанометров путем решения комплекса научно-технических задач. Актуальность темы, выполняемой с 2018 по 2024 гг., подтверждается ее соответствием Перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2016–2020 гг. и на 2021–2025 гг.

Степень новизны результатов, полученных в диссертации и выносимых на защиту

Основные результаты, выносимые автором на защиту, носят как теоретический, так и прикладной характер. В ходе выполнения диссертационной работы соискателем получены новые, ранее не публиковавшиеся, результаты, а именно:

- определены и исследованы нормативные документы, методы и средства измерений как единичных нанообъектов, так и ансамблей частиц, находящихся в различных исходных состояниях;

- разработан алгоритм теоретико-экспериментальной оценки погрешности измерительных систем, предназначенных для наноразмерных частиц;

- разработан и создан эталонный комплекс измерений размеров наночастиц, включенный в состав «Национального эталона единицы длины – метра в нанометровом диапазоне» и «Эталонного комплекса метрологического обеспечения средств измерений параметров дисперсных сред»;

- рассчитаны погрешности измерительных систем, входящих в состав эталонного комплекса, реализующего интерферометрический метод измерений, метод динамического рассеяния света, а также метод анализа дифференциальной электрической подвижности частиц;

- сформулированы принципы построения и разработаны схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений линейного размера наночастиц, находящихся в воздухе или в жидкости.

Представленные результаты получены впервые и справедливо заслуживают высокой оценки.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Используемые автором инструменты исследований (методики, метрологические модели), а также результаты теоретических и экспериментальных исследований базируются на общепризнанных научных представлениях и положениях в области физики, законодательной, теоретической и прикладной метрологии. Предложенные в работе метрологические модели являются достоверными и используются для расчета погрешности измерительных систем, реализующих интерферометрический метод измерения, метод динамического рассеяния света и метод анализа дифференциальной электрической подвижности частиц. Достоверность полученных в работе экспериментальных результатов подтверждается использованием высокоточного эталонного оборудования, большим объёмом полученных статистических данных и применением для их обработки общепринятых методов математической статистики, теории вероятности и теории неопределённости.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертационной работы

Важным научно-методическим результатом представленной диссертационной работы является реализация системного и комплексного подходов к решению поставленной научной задачи.

Системный подход заключается в последовательном решении следующих научных задач:

- выбор базовой модели наночастицы и, на ее основе, определение размера наночастицы;
- выбор методов измерений и построение структурных схем эталонных средств измерений, входящих в измерительный комплекс;
- расчет инструментальной составляющей погрешности эталонных средств измерений;
- разработка схем прослеживаемости результатов измерений.

Комплексность заключается в распространении указанных выше задач на метрологическое обеспечение измерений размеров наночастиц находящихся в «сыпучем» состоянии (на подложке), в жидкости и в воздухе.

Основные результаты, выносимые автором на защиту, носят как теоретический, так и прикладной характер. В ходе выполнения диссертационной работы соискателем:

- разработана классификационная схема методов и средств измерений размеров как единичных нанообъектов, так и ансамблей частиц, позволившая провести их сопоставительный анализ и выделить методы и средства, обеспечивающие наибольшую точность измерений для наночастиц, находящихся в различных исходных состояниях;

- проведена систематизация источников погрешностей измерений наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости или в воздухе,

позволившая разработать методики теоретико-экспериментальной оценки погрешности измерений размеров измерительных систем;

- рассчитаны погрешности измерительных систем, входящих в состав эталонного комплекса, реализующего интерферометрический метод измерений, метод динамического рассеяния света, а также метод анализа дифференциальной электрической подвижности частиц;

- сформулированы принципы и разработаны схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений линейного размера наночастиц, размеров ансамблей наночастиц в воздухе или в жидкости.

Результаты исследований в ходе диссертационной работы практически применены в следующих случаях:

- при разработке, создании и внедрении Национального эталона единицы длины – метра в нанометровом диапазоне НЭ РБ 62-22 (утвержден Постановлением Госстандарта от 22.04.2022 № 37);

- при разработке и внедрении Эталонного комплекса метрологического контроля средств измерений параметров дисперсных сред;

- при разработке 6 методик калибровки, в том числе: МРП МК 41 01.680-2021 «Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые измерительные. Методика калибровки»; МРП МК 41 01.682-2021 «Микроскопы электронные растровые измерительные. Методика калибровки»; МРП МК 41 01.684 -2021 «Меры высоты ступени. Методика калибровки»; МРП МК 41 01.683 -2021 «Меры ширины шага. Методика калибровки»; МРП МК 41 09.668-2021 «Анализаторы пыли. Методика калибровки»; МРП МК 41 01.666-2021 «Счетчики аэрозольных частиц. Методика калибровки».

В процессе выполнения диссертационной работы соискатель получил 2 патента Республики Беларусь на полезную модель.

Экономический эффект проведенной работы достигнут за счет импортозамещения зарубежных услуг по поверке и калибровке средств измерений, используемых предприятиями страны, при введении в эксплуатацию отечественного эталонного оборудования, а также использовании технических возможностей измерительного комплекса при разработке методик поверки или калибровки на применяемые средства измерений.

Социальный эффект заключается в демонстрации научного потенциала и значимости полученных прикладных результатов в области измерения наночастиц. Результаты исследований также могут быть использованы при подготовке кадров на первой и второй ступенях высшего образования, при подготовке и повышении квалификации инженерных и научных кадров в сферах нанометрологии и нанотехнологии, методах и средствах измерений, метрологии и метрологического обеспечения, что является фактором активного внедрения современных технологий в повседневную жизнь общества.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Результаты диссертационных исследований, представлены в 18 научных публикациях, в том числе 9 статьях в академических и отраслевых рецензируемых научных журналах, 6 статьях в сборниках материалов конференций, 3 тезисах докладов. Опубликованные работы в полной мере отражают основные положения диссертации. Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 5,18 авторских листа.

Требования ВАК Беларуси к соискателям ученых званий в части опубликованности результатов диссертационных исследований выполнены.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и 3 приложений. Полный объем диссертации составляет 139 страниц. Библиографический список включает 106 позиций, включая 20 публикаций соискателя.

Оформление диссертации соответствует требованиям Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата, публикаций по теме диссертации.

Диссертационная работа хорошо структурирована и иллюстрирована, изложена грамотным инженерным языком, принятом при оформлении научно-технических публикаций, в логической последовательности.

Качество оформления хорошее.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. В автореферате отсутствуют материалы, не вошедшие в диссертационную работу.

Общая характеристика работы и заключение, приведенные в автореферате и тексте диссертации – идентичны.

На все публикации, в которых отражены положения, выносимые на защиту, имеются ссылки в диссертационной работе и автореферате.

Замечания и предложения по диссертации

1. Можно было бы сократить объем первой главы диссертации, не включив в текст определений известных терминов из теории вероятностей и стандартов (стр. 41-42, 52 и др.).

2. Не ясно, с какой целью во вторую главу работы включены 2 типа генераторов аэрозолей, если они выполняют одинаковую функцию (стр. 60-62).

3. Целесообразно классификационную схему источников погрешности для различных типов средств измерений (глава 3) развить, выделив источники несоответствий, формирующие инструментальную и методическую погрешности, а также погрешности, возникающей из-за отклонения условий измерений нормированным.

4. Гидродинамический диаметр частицы в формуле 1.6 имеет обозначение d_H , а в формуле 2.2 – d .

5. Для терминов электронная микроскопия и электронный микроскоп приводится одинаковое сокращение – ЭМ (стр. 24).

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Изучение диссертационной работы и научных публикаций Багдюна А.А. свидетельствуют о том, что соискатель обладает высокой научной и профессиональной квалификацией в вопросах теоретической и прикладной метрологии, применительно к проблеме измерений наноразмерных частиц. Круг сформулированных задач и уровень их решения, что соискатель является сложившимся исследователем и готов к самостоятельной научной деятельности.

Квалификация соискателя соответствует требованиям, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата технических наук.

Заключение

Высказанные замечания и предложения не снижают теоретическую и практическую значимость выполненной работы.

Считаю, что рассматриваемая работа соответствует пунктам 20 и 21 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», а ее автор Багдюн Александр Андреевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение» за новые теоретические и прикладные результаты в области метрологического обеспечения измерений размеров наночастиц, включающие:

- классификацию методов и средств измерений размеров единичных нанообъектов и ансамблей частиц по параметрам точности, что позволило на ее основе создать измерительный комплекс, включенный в состав «Национального эталона единицы длины – метра в нанометровом диапазоне» и «Эталонного комплекса метрологического обеспечения средств измерений параметров дисперсных сред» и обеспечивающий измерение размеров частиц находящихся на подложке в диапазоне от 50 нм до 50 мкм, в жидкости и воздухе от 50 нм до 2 мкм и от 20 нм до 1 мкм соответственно;

- систематизацию источников погрешностей измерений размеров наночастиц, позволившую разработать универсальный алгоритм и частные методики теоретико-экспериментальной оценки погрешности измерений размеров наночастиц, на основании которых рассчитаны погрешности измерительных систем, входящих в состав эталонного комплекса составившие 2,0 % при измерении частиц в вертикальной плоскости и 0,6 % при измерении частиц в латеральной плоскости для измерительной системы, реализующей интерферометрический метод измерения, 1,1 % для измерительной системы, реализующей метод динамического рассеяния света, и 2,4 % для измерительной системы, реализующей метод анализа дифференциальной электрической подвижности;

- принципы построения и схемы прослеживаемости результатов измерений линейного размера наночастиц, размеров наночастиц, находящихся в воздухе и в жидкостях, необходимые для подтверждения и международного признания полученных результатов, что в совокупности позволяет развить действующую в стране Систему обеспечения единства измерений, включив в нее нанометровый диапазон размеров.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент



Жагора Николай Адамович

Принято
в исследование

Жагора Н.А.

Наз. упр. подготовлен
кадров высшей
школы

Министерство образования Республики Беларусь
национальный технический университет
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
Минск



отзыв поступил в совет 10.12.2024

С отзывом ознакомились А.А. Багдас 10.12.2024