



УТВЕРЖДАЮ

Ректор учреждения образования
«Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники»

В.А. Богуш

« 10 » 12 2024 г.

ОТЗЫВ

оппонирующей организации на диссертационную работу Багдюна Александра Андреевича «Метрологическое обеспечение измерений геометрических параметров твердых наноразмерных частиц», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение»

1. Соответствие содержания диссертации специальности и отрасли науки

Содержание диссертационной работы соответствует заявленной специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение» и отрасли технических наук. Диссертационная работа посвящена развитию системы обеспечения единства измерений путем создания эталонного оборудования для измерения геометрических параметров наночастиц, определения его метрологических характеристик и разработки схем метрологической прослеживаемости результатов измерений наночастиц находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе.

Работа по своему содержанию соответствует пункту 3 «Разработка эталонов и прецизионных средств и методов измерений, включая создание их теоретических и организационно-методических основ» и пункту 4 «Воспроизведение и передача размера единиц величин с помощью эталонов, обоснование и организация метрологической прослеживаемости (поверочные схемы и иерархии калибровки)» паспорта специальности 05.11.15.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Основные научные результаты диссертационной работы заключаются в установлении базовой модели наночастицы; классификации средств измерений и установлении базовых методов измерений размеров наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе; разработке методики теоретико-экспериментального расчета погрешности измерения размеров наночастиц и определения погрешности передачи размера единицы величины; разработке схем метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц.

Вх. № 11-52/164
от 11.12.2024

Научные результаты диссертации объективны и четко обоснованы, выводы аргументированы, следуют из содержания исследований и отражают научные положения работы.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

В диссертационной работе получены следующие основные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью:

1. Разработана классификационная схема, объединяющая методы и средства измерений, предназначенные для контроля как отдельных частиц, так и ансамблей частиц, что позволило выделить методы и разработать, на их основе, эталонные средства измерения размеров наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе.

2. Разработаны методики измерений размеров наночастиц при реализации интерферометрического метода измерений, метода динамического рассеяния света, метода анализа дифференциальной электрической подвижности частиц, что позволяет проводить измерения наночастиц находящихся на подложках, в жидкости и в воздухе с размерами от 50 нм до 50 мкм, от 50 нм до 2 мкм, от 20 нм до 1 мкм соответственно.

3. Разработана универсальная методика теоретико-экспериментального расчета погрешности измерения размеров наночастиц, что позволило определить метрологические характеристики эталонных средств измерений и рассчитать погрешность передачи единицы длины – метра для каждой из измерительных систем, входящих в состав эталонного комплекса.

4. Разработаны принципы построения и схемы метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц, находящихся на подложках, в воздухе и в жидкости.

Практическая значимость результатов, полученных Багдюном А.А. в рамках диссертационных исследований, заключается в разработке и внедрении на основе предложенных методов национального эталона единицы длины в нанометровом диапазоне, позволяющего производить испытания рабочих эталонов и метрологическую аттестацию на их основе различных средств измерений размеров наночастиц, что является важным с точки зрения обеспечения достоверности результатов измерений размеров наночастиц в промышленности и научных исследованиях.

4. Замечания по диссертационной работе

1. В главе 1 подробно рассмотрены современные подходы и методы измерений наноразмерных частиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе. При этом в главе 2 недостаточно обоснован дальнейший выбор трех методов, использованных в развитии диссертационных исследований: интерферометрического метода, метода динамического рассеяния света и метода анализа дифференциальной электрической подвижности частиц.

2. При проведении расчета неисключенной систематической погрешности измерительной системы, реализующей метод анализа дифференциальной электрической подвижности, недостаточно обосновано решение принять за погрешность измерения температуры дискретность представления температуры в анализаторе дифференциальной электрической подвижности.

3. На схеме метрологической прослеживаемости измерений линейного размера наночастиц для погрешности передачи размера единицы длины указано значение коэффициента $K=1,1$, используемого при суммировании составляющих неисключенной систематической погрешности. Рекомендуется дополнительно указать значение коэффициента охвата.

4. В тексте диссертационной работы применяются одинаковые сокращения для различных понятий, при этом зачастую сокращение в тексте вводится несколько раз для одного и того же понятия.

Пример:

Стр. 23: *Методы первого класса предполагают формирование распределения частиц по размерам из набора независимых измерений размера каждой отдельной частицы. Все методы, базирующиеся на анализе изображений объектов исследований полученных с использованием микроскопов различных конструкций, относятся к этому классу, в том числе: электронная микроскопия (ЭМ), атомно-силовая микроскопия (АСМ) и все их модификации.*

Стр. 24: *Электронная микроскопия (ЭМ) – это совокупность электронно-зондовых методов исследования микроструктуры твердых тел, в том числе нанообъектов, их локального состава и микрополей (электрических, магнитных и др.) с помощью электронных микроскопов (ЭМ). – приборов, в которых для наблюдения увеличенного изображения объекта вместо световых лучей используются пучки электронов, ускоренных до больших энергий в условиях глубокого вакуума.*

3. В формулах в обозначениях физических величин присутствуют опечатки, расшифровка некоторых физических величин не приведена в разделе «Перечень сокращений и обозначений» либо не соответствует тексту.

Примеры:

Стр. 97: Из уравнений (3.40) и (3.41) диаметр частицы равен:

$$D_p = \frac{eC(D_p)2VL}{q_{sh}3\mu \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}. \quad (3.42)$$

В формуле (3.41) для длины от входа аэрозоля до щели применялось сокращение Le .

Стр. 18:

Массово-эквивалентный диаметр:

$$d_m = \left(\frac{6}{\pi} \cdot \frac{m_q}{\rho_q} \right)^{1/3}, \quad (1.3)$$

В перечне сокращений отсутствует расшифровка физической величины d_m .

Стр. 49: ...Таким образом, если частица имеет, например объем, равный $10000\pi \text{ нм}^3$, то диаметр эквивалентной сферы, имеющей тот же объем равен:

$$d = 2 \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = 2 \sqrt[3]{\frac{30000\pi}{4\pi}} = 2 \sqrt[3]{7500} \approx 78.2 \text{ нм}, \quad (2.1)$$

В перечне сокращений d – *среднее арифметическое результатов наблюдений, нм.*

5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Научная квалификация автора диссертационной работы Багдюна Александра Андреевича соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Диссертационная работа Багдюна Александра Андреевича удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК Беларуси к кандидатским диссертационным работам по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение», является завершенным научным исследованием и содержит обоснованные научные результаты, использование которых обеспечивает решение важной прикладной задачи по разработке теоретических положений и практических рекомендаций, направленных на совершенствование системы обеспечения единства измерений в области измерений геометрических параметров наночастиц, обоснование и организацию метрологической прослеживаемости результатов измерений параметров наночастиц.

6. Выводы

Несмотря на отмеченные недостатки, автор диссертационной работы Багдюн Александр Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 – «Метрология и метрологическое обеспечение» за новые научно обоснованные результаты, включающие:

1. Разработку классификационной схемы методов и средств измерений размеров, применяемых для отдельных наночастиц и их ансамблей, позволившей выделить методы и средства, обеспечивающие наибольшую точность измерений для наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе, и создать на их основе эталонный комплекс средств измерений

размеров наночастиц, с диапазоном измерений размеров от 50 нм до 50 мкм для частиц, находящихся на подложке, от 50 нм до 2 мкм для частиц, находящихся в жидкости, и от 20 нм до 1 мкм для частиц, находящихся в воздухе.

2. Разработку унифицированной классификационной схемы источников погрешностей измерений размеров наночастиц и методики теоретико-экспериментальной оценки погрешности измерений размеров наночастиц, позволившей рассчитать погрешность передачи единицы длины – метра для каждого из средств измерений, входящих в состав эталонного комплекса, составившую 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.

3. Разработку схем метрологической прослеживаемости результатов измерений размеров наночастиц, находящихся на подложках, в воздухе и в жидкости.

Отзыв о диссертации обсужден и одобрен на научном семинаре кафедры Информационно-измерительных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», проведенном согласно приказу ректора университета № 223-о от 27.11.2024 г. (протокол № 6 от 05 декабря 2024 г.), на основе устного доклада соискателя, заключения эксперта и обсуждения диссертации.

На заседании присутствовали 16 человек, из них 1 доктор наук и 6 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» – 7 человек, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет. В голосовании принимали участие только остепененные члены научного собрания.

Председатель научного семинара
зав. кафедрой информационно-
измерительных систем, д.т.н., доц.



А.В. Гусинский

Эксперт
доцент кафедры информационно-
измерительных систем, к.т.н.



А.С. Волынец

Секретарь научного семинара
доцент кафедры информационно-
измерительных систем, к.т.н., доц.



Н.А. Певнева

Отзыв подготовлен 11.12.2024 г.  Н.Н. Ризниченко
С отзывом ознакомлен  А.А. Богдан 11.12.2024