

УДК 006.915.1-531.715.1

КЛАССИФИКАЦИОННАЯ СХЕМА ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ НАНОЧАСТИЦ, НАХОДЯЩИХСЯ НА ПОДЛОЖКЕ, В ЖИДКОСТИ И В ВОЗДУХЕ

Багдюн А. А.¹, Соломахо В. Л.²

¹Белорусский государственный институт метрологии

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе были проанализированы источники погрешностей средств измерений, используемых для определения размеров наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе. На основании проведенного анализа была сформирована классификационная схема источников погрешностей, позволяющая проводить валидацию метрологических моделей не исключенной систематической погрешности измерений размеров наночастиц.

Ключевые слова: размер наночастиц, погрешность, метрологическая модель.

CLASSIFICATION SCHEME OF ERRORS IN MEASURING INSTRUMENTS USED FOR NANOPARTICLES ON A SUBSTRATE, IN LIQUID AND IN AIR

Bagdun A. A.¹, Solomakho V. L.²

¹Belarusian State Institute of Metrology

²Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper analyzes sources of errors in measuring instruments used to determine the sizes of nanoparticles on a substrate, in liquid, and in air. Based on the analysis, a classification scheme of error sources was formed. This allows validation of metrological models of non-excluded systematic error in measuring the sizes of nanoparticles.

Key words: nanoparticle size, error, metrological model.

Адрес для переписки: Багдюн А. А., Старовиленский тракт, 93, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: bagdun.ne@gmail.com

Ключевым фактором метрологического обеспечения измерений размеров наночастиц является обеспечение их прослеживаемости, которая невозможна без теоретико-экспериментальной оценки точности измерений. Для решения этой задачи необходимо комплексно проанализировать источники погрешностей и провести их оценку.

Оценивать точность измерений наночастиц эталонным оборудованием необходимо по методике, принятой для всех национальных эталонов Республики Беларусь, т.е. в соответствии с «Правилами разработки, утверждения, модернизации и содержания национальных эталонов единиц величин».

Для национальных эталонов устанавливаются следующие характеристики точности:

- неисключенная систематическая погрешность эталона θ_{sist} ;
- случайная погрешность эталона S ;
- погрешность передачи размера единицы величины S_{Σ} .

Для расчета неисключенной систематической погрешности средств измерений, используемых для наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе, необходимо установить источники погрешностей, оказывающие на нее влияние. Зачастую, это – трудоемкая задача, требующая внимательного анализа и исследований, направленных на их установление и последующий расчет. Для оптимизации этого процесса и недопущения неучтенных

источников, была поставлена задача разработать классификационную схему, объединяющую источники погрешностей средств измерений, используемых для наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и в воздухе.

В [1] была разработана классификационная схема методов, используемых для измерений наночастиц. В соответствии с данной схемой методы измерений наночастиц подразделяются на два класса: индивидуальные, предназначенные для контроля отдельных частиц, и интегральные, или аналитические комплексные методы измерений, дающие информацию об ансамблях частиц.

Методы первого класса предполагают формирование распределения частиц по размерам из набора независимых измерений размера каждой отдельной частицы.

Ко второму классу относятся средства измерений, построенные на различных физических принципах как. Для методов данного класса, как правило, применяется принцип аддитивности сигналов отклика от отдельных частиц в предположении отсутствия их взаимного влияния. Интегральный сигнал от ансамбля частиц является основой для восстановления распределения частиц по размерам при опоре на определенные физические принципы.

В результате анализа, можно сформулировать, что комплексные методы измерений определяют

размер частиц путем расчета диаметра в соответствии с физическим принципом, используемым оборудованием, поэтому источники погрешностей, влияющие на неисключенную систематическую погрешность, заложены в уравнении расчета. Проанализировав уравнения, мы выделили следующие классы погрешностей:

- погрешности, обусловленные конструкцией применяемых средств измерений;
- погрешности, обусловленные точностью определения констант;
- погрешности, обусловленные точностью определения справочных данных.

Класс погрешности, обусловленной конструкцией применяемого средства измерения, состоит из источников, присущих конкретному средству измерения, и не может быть унифицирован для всех методов, однако его необходимо обозначить для облегчения поиска источников.

Индивидуальные методы измерений определяют размер наночастиц непосредственно измерением каждой отдельной частицы, поэтому добавляются дополнительные источники погрешностей. К ним относятся погрешности, обусловленные свойствами измеряемого объекта (наночастицы). Однако, все вышеперечисленные классы, также присущи индивидуальным методам.

Также отдельно стоит упомянуть погрешности, обусловленные измерением условий окружающей среды (температура, влажность, давление и т. д.). Эти источники относятся к классу погрешностей, обусловленных конструкцией применяемых средств измерений, и присущи каждому методу измерения.

В результате классификации была разработана классификационная схема источников погрешностей для различных типов средств измерений, используемых для наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и воздухе, представленная на рисунке 1.

После создания классификационной схемы, были проанализированы источники погрешностей, выявленные в работах [2–4]. По результатам анализа выяснилось, что классификационная

схема также является отличным валидационным инструментом анализа метрологических моделей источников погрешностей измерения размеров наночастиц, позволяющая оптимизировать данный процесс.



Рисунок 1 – Классификационная схема источников погрешностей для различных типов средств измерений, используемых для наночастиц, находящихся на подложке, в жидкости и воздухе

Литература

1. Соломахо, В. Л. Методы измерений наноразмерных частиц / В. Л. Соломахо, А. А. Багдюн // Приборостроение–2019: материалы 12-й Международной научно-технической конференции, 13–15 ноября 2019 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 246–248.
2. Solomakho, V. L. Determination of the Error in Transferring of Length Unit's Size when Measuring the Nanoparticles' Diameter Using an Analyzer of Particles' Differential Electrical Mobility / V. L. Solomakho, A. A. Bagdun // Приборы и методы измерений. – 2021. – Т. 12, № 3. – С. 194–201.
3. Багдюн, А. А. Определение погрешности измерения диаметра наночастиц методом динамического рассеяния света / А. А. Багдюн, В. Л. Соломахо // Не разрушающий контроль и диагностика. – 2021. – № 4. – С. 32–37.
4. Багдюн, А. А. Расчет погрешности измерения диаметра наночастиц при использовании в качестве средства измерений наноизмерительной машины NMM-1 / А. А. Багдюн, В. Л. Соломахо // Метрология и приборостроение. – 2023. – № 2. – С. 21–28.