

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ

Соломахо В.Л.<sup>1</sup>, Багдюн А.А.<sup>2</sup>

1. Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь;
2. Белорусский государственный институт метрологии  
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в машиностроении широко используются наночастицы. Их широко применяют, в частности, при напылении материалов на различные поверхности с целью увеличения износостойкости, придания каких-либо особых физико-химических свойств, например, создания гидрофобных покрытия и др. Это обусловлено тем, что при достижении определенного размера в наночастицах начинают проявляться их уникальные размерно-зависимые физико-химические свойства, которые существенно влияют на функциональные характеристики конечных продуктов и устройств. Так как размер наночастиц является базовым параметром, определяющим физико-химические свойства конечного продукта, важно оперативно и точно контролировать их размерные параметры, что невозможно без обеспечения метрологической прослеживаемости измерений геометрических размеров наночастиц.

Однако, прежде чем осуществлять контроль и обеспечивать прослеживаемость, важно разобраться что собой представляет размер наночастиц. Термин наночастица опирается на два ключевых понятия: нанодиапазон и нанообъект. Нанодиапазоном принято считать интервал линейных размеров от 1 до 100 мкм. Нанообъект – дискретная часть материала, линейные размеры которой по одному, двум или трем измерениям находятся в нанодиапазоне. Существуют три основных вида нанообъекта: наночастица, нановолокно и нанопластина. Наночастица – это нанообъект, линейные размеры которого по всем трем измерениям находятся в нанодиапазоне, а соотношение размеров длин в направлении самой короткой и самой длинной из осей, как правило, не более чем один к трем. Нановолокно – это нанообъект, линейные размеры которого по двум измерениям находятся в нанодиапазоне, а по третьему измерению значительно больше (наибольший размер может находиться вне нанодиапазона). Нанопластина – это нанообъект, линейные размеры которого по одному измерению находятся в нанодиапазоне, размеры по двум другим измерениям значительно больше.

Ввиду того, что наночастицы имеют разнообразную форму, от сферы до многоугольного элемента, для их анализа принята модель в виде сферы, а для определения размера вводится понятие эквивалентного диаметра сферического

объекта. Эквивалентный диаметр присущ сферическому объекту, имеющему такие же физические свойства, что и измеряемая частица. К физическим свойствам частиц, например, относят скорость осаждения частиц или размеры частиц (объем и площадь поверхности), определенные по проекциям частиц.

При анализе наночастицы, например, под микроскопом, визуализируется ее плоская проекция, и в этом случае охарактеризовать частицу можно посредством ряда различных размерных параметров. Это могут быть максимальный и минимальный диаметр (линейный размер), каждый из которых дает значение «размера» частицы. Важно понимать, что каждый метод основан на измерении различных физических характеристик частиц, и, как следствие, размеры, полученные разными методами, будут различаться. В таблице 1 приведены различные варианты определения размеров частиц. При этом ошибочных вариантов нет – каждый пример субъективно корректен – он отражает физически измеряемую характеристику.

На практике корректно сравнивать только результаты тех измерений, в которых один и тот же материал анализировался одним и тем же методом. Ввиду того, что размеры наночастиц являются случайными величинами, принято отображать информацию о них в виде распределения.

Проведенный анализ показывает, что для обеспечения метрологической прослеживаемости измерений размеров наночастиц к единицам международной системы СИ, необходимо использовать стандартные образцы сферической формы с нормальным распределением частиц по размерам.

Таблица 1 – Варианты размеров частиц

Обозначение диаметра	Наименование диаметра	Зависимость от природы вещества	
		Зависит	Не зависит
$d_{\max}$	Диаметр сферы равен максимальной длине		+
$d_{\min}$	Диаметр сферы равен минимальной длине		+
$d_w$	Сфера эквивалентного объема	+	
$d_v$	Сфера эквивалентной массы	+	
$d_s$	Сфера с эквивалентной площадью поверхности	+	
$d_{\text{sieve}}$	Сфера, проходящая в такую же апертуру сита		+
$d_{\text{sed}}$	Сфера, имеющая такую же скорость седиментации	+	