

НАНОМАТЕРИАЛЫ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

© Ф. Г. Ишмуратов¹, М. П. Яковлева^{2*}¹Уфимский государственный авиационный технический университет
Россия, Республика Башкортостан, 450000 г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.²Институт органической химии Уфимского научного центра РАН
Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, 71.
Тел./факс +7 (347) 235 60 66.

E-mail: insect@anrb.ru

Обобщены материалы по современному состоянию и проблемам в области терминологии, классификации, метрологии и стандартизации наноматериалов в Российской Федерации. Сделан вывод о том, что известные мировые подходы и принципы позволяют создать систему оценки процедур и методов подтверждения соответствия наноматериалов и другой продукции наноиндустрии требованиям технических регламентов и стандартов. В то же время отмечены отсталость в современной России уровня исследований в области наноматериалов и необходимость активизации работ в данном направлении на основе международных стандартов ISO.

Ключевые слова: терминология, классификация, метрология и стандартизация наноматериалов в современной России.

В настоящее время большое внимание специалистов, занимающихся созданием и исследованием новых материалов, – физиков, материаловедов, механиков – привлекают наноструктурные материалы [1–6]. Эти материалы обладают уникальной структурой и свойствами, многие из которых имеют непосредственный практический интерес. Наноструктурным материалам часто соответствуют измененные, обычно структурно-нечувствительные характеристики, такие как упругие модули, температуры Кюри и Дебая, намагнитченность насыщения и др. Это открывает перспективы улучшения существующих и создания принципиально новых конструктивных и функциональных материалов.

Данный обзор посвящен освещению состояния и проблем в области терминологии, классификации, метрологии и стандартизации наноматериалов в современной России.

Анализ публикаций в научных журналах, касающихся нанотехнологий, показывает, что в зависимости от основного научного направления авторов (физика, химия, биология, электроника, медицина и т.д.) каждый из них понимает данный термин по-разному. По нашему мнению наиболее приемлемым является следующий смысл этого понятия: разработка, характеристика, производство и применение структур, устройств и систем посредством контроля формы и размеров в нанометровом (до 100 нм) диапазоне, где свойства существенно отличаются по сравнению с макроуровнем [7, 8].

Кроме того, очень часто в различных программах, проектах, публикациях термины «нанотехнология» и «наноматериалы» используются одновременно и наравне, что подтверждает важность и значимость проблемы наноматериалов в нанотехнологической тематике. Термин «наноматериалы» включает в себя большую группу различных материалов (наноструктурные, нанопазные, нанопори-

стые, нанокompозитные и т.д., а также нанопорошки, нанотрубки, нанокapsулы, нановолокна, наночастицы, нанопленки и т.д.), характерным признаком которых является наличие в них основных структурных элементов (кристаллитов, пор, волокон, слоев и т.д.), величина которых, по крайней мере, хотя бы в одном измерении, не превышает так называемого нанотехнологического предела – 100 нм [8, 9].

В настоящее время в развитых странах, в том числе и Российской Федерации, ведется активная работа [10–12] по созданию терминологии и номенклатуры наноматериалов, которые дают возможность идентифицировать наноматериалы или продукты, их содержащие. Усилия Первой рабочей группы Международной организации по стандартизации ISO были направлены на унификацию терминологии и классификации наноматериалов. Результаты этой работы получили признание в странах, стремящихся стать лидерами наноиндустрии (членство в ISO имеют более 45 стран). Первый международный словарь по нанообъектам за три года после издания получил статус национального в 28 странах. Впрочем, в ряде таких стран, как Китай, США, Иран, также стремящихся к унификации терминологии, упор делается на издание собственных нанотехнологических словарей, в которых широко используются международные подходы. Россия, к сожалению, в вопросах терминологии только догоняет другие страны, так как ее участие в международной и европейской стандартизации незначительно [9]. Первым шагом России в этих вопросах была публикация словаря [9], однако так и не ставшего национальным стандартом.

Событием мирового масштаба стала публикация в 2010 г. Технического отчета ISO TR11360:2010 «Нанотехнологии – методология классификации и категоризации наноматериалов»

* автор, ответственный за переписку

[13]. В отчете представлена система классификации, условно названная «**нанодрево**», в которой все отношения между различными наноматериалами представлены как ветви этого «дерева» и переходы от одной ветви к другой, на базе которой широкий диапазон наноматериалов различных размеров и разнообразных физических, химических, механических, оптических, магнитных и биологических свойств может быть разбит на категории. Предлагается системный иерархический подход, который может быть использован в научных исследованиях и промышленности. Согласно методологии, «**нанодрево**» состоит из четырех главных «**ветвей**». За классификацией наноматериалов **по размеру** следует их разделение на базе **внутренних/внешних структур**. Следующий шаг обеспечивает разделение наноматериалов по их **химической природе**, вызывающей различие в их **поведении и свойствах**, в частности, электронных, химических, механических, биологических. Предлагаемая в ISO система классификации «нанодрево» призвана обеспечивать пользователей структурированным представлением о нанотехнологиях, облегчать и продвигать общие понятия, используемые в этой области. Причем рассматриваемый документ уже получил статус национального стандарта в целом ряде стран: Дании, Великобритании, Франции, Нидерландах и др. Следует отметить, что будущие выгоды от реализации нанопроductии и глобализация мировой торговли все больше активизирует усилия по разработке именно международных стандартов, поскольку их применение обеспечивает пользователю неоценимую помощь и неоспоримое конкурентное преимущество.

Вместе с тем, современное состояние отечественной наностандартизации и замедленность принятия Российских ГОСТ(ов) по нанотехнологиям на основе международных стандартов ISO, делает проблематичным возможность российских пользователей контролировать рынок наноиндустрии в ближайшее время [14].

Страны, вступившие в нанотехнологический прорыв, отчетливо осознают необходимость опережающего развития метрологии в этой бурно развивающейся отрасли. Специфика нанотехнологий привела к необходимости зарождения и быстрого развития уникального направления в метрологии – нанометрологии, с которым связаны теоретические и практические аспекты «правильности» измерений, включая эталоны единиц величин; стандартные образцы состава, структуры, размера, свойств; методы и средства калибровки в нанометровом и субнанометровом диапазонах; реализацию наношкалы и многие другие аспекты обеспечения единства измерений. Особо важно то, что в нанотехнологиях приборно-аналитическая и технологическая составляющие работают на пределе возможностей. Это увеличивает вероятность ошибки, связанной, кроме того, с человеческим фактором [15].

В решении главной задачи метрологии – обеспечении единства измерений, т.е. достижении такого состояния измерительной инфраструктуры, при котором результаты измерений выражены в узаконенных единицах и их погрешности (неопределенности) известны с заданной вероятностью – нанометрология опирается на меры, стандартные образцы состава, структуры, размера, свойств в обеспечение практически каждой единицы оборудования необходимым набором средств, которые воспроизводят нужную шкалу и позволяют осуществлять калибровку средств измерений, в том числе непосредственно в процессе измерений, что позволяет контролировать результаты каждого из них и обеспечивать их прослеживаемость к эталону соответствующей величины. Создание таких стандартных образцов и мер сопровождается разработкой соответствующих методик поверки и калибровки их самих и средств измерений с их применением, а также методик измерений параметров и характеристик объектов и продукции нанотехнологий и наноиндустрии с использованием указанных средств измерений [16–19].

В России к настоящему времени создана основа метрологического обеспечения измерений длины в диапазоне 1–1000 нм, а именно разработаны:

- методология обеспечения единства измерений в данном диапазоне, включающая принципы электронной и зондовой микроскопии, лазерной интерферометрии и рентгеновской дифрактометрии;
- метрологический комплекс, обеспечивающий воспроизведение и передачу размера единицы длины в диапазоне 1–1000 нм вещественным мерам длины с погрешностью 0.5 нм.

Спектр разрабатываемых стандартов [20–22], предлагающих на базе существующих технологий унифицированные на международном уровне подходы к измерениям и характеристике свойств нанобъектов, достаточно широк. Эти стандарты (документы, устанавливающие для всеобщего и многократного использования правила, общие принципы и характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, и направленные на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области) призваны устранить барьеры на пути коммерциализации нанотехнологий и способствовать переводу созданных разработок на стадию массового изготовления новых объектов [23].

Стандартизация в области нанотехнологий включает [14, 24]:

- понимание и управление процессами и свойствами материалов в нанометровом диапазоне, как правило, для размеров менее 100 нанометров по одной или более координат, где учет размерных явлений обычно приводит к новым применениям;
- и/или использование свойств материалов нанометрового диапазона, которые отличаются от

свойств как отдельных атомов и молекул, так и от свойств объемных материалов, для создания более совершенных приборов, систем и материалов, реализующих эти новые свойства.

Одна из первоочередных задач стандартизации в нанотехнологиях – стандартизация параметров и свойств материалов, объектов, элементов и структур, подлежащих измерениям. Отсюда закономерное следствие – необходимость аттестованных и стандартизованных методик измерений, калибровки и поверки применяемых в нанотехнологиях средств измерений. России, к сожалению, в вопросах нанометрологии приходится догонять другие страны, так как ее участие в международной и европейской стандартизации по-прежнему незначительно. Остается надеяться, что представители России будут активно вовлечены в работы по международной стандартизации, а российские пользователи уже в скором времени смогут располагать новейшими стандартами ГОСТ Р серии «Нанотехнологии», подходы которых будут согласованы с международными [9].

Таким образом, российские ученые и специалисты, работающие в области нанотехнологий и наноматериалов, четко осознают необходимость активизации усилий в области создания терминологии, классификации, метрологии и стандартизации наноматериалов международного уровня, что несомненно, позволит контролировать мировой рынок наноиндустрии в ближайшее время.

Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н. И. В. Александрову и к.т.н. Э. В. Сафину за поддержку и консультации при написании данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А. И., Ремпель А. А. Нанокристаллические материалы. М.: Физматлит. 2000. 224 с.
2. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос. 2000. 272 с.
3. Валиев Р. З., Александров И. В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. М.: ИКЦ «Академкнига». 2007. 398 с.
4. Носкова Н. И., Мулюков Р. Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. Екатеринбург: Уральское отд-е РАН. 2003. 279 с.
5. Андриевский Р. А., Рагуля А. В. Наноструктурные материалы. М.: Academia. 2005. 192 с.
6. Мулюков Р. Р. Развитие принципов получения и исследования объемных наноструктурных материалов в ИПСМ РАН // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. №7–8. С. 38–53.
7. Удовицкий В. Г. О терминологии, стандартизации и классификации в области нанотехнологий и наноматериалов // ФИП PSE. 2008. Т. 6. №3–4. С. 193–201.
8. Алфимов М. В., Голберг Л. М., Фурсов К. С. Нанотехнологии: определения и классификация // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. №7–8. С. 8–15.
9. Нанотехнологии, метрология, стандартизация и сертификация в терминах и определениях / Под ред. М. В. Ковальчука, П. А. Тодуа. М.: Техносфера. 2010. 136 с.
10. Хохлявин С. А. Международный подход к нанометрологии // Наноиндустрия. 2011. №6. С. 88–91.
11. Хохлявин С. А. Нанотехнологические словари – шаг к достижению одинакового понимания // Наноиндустрия. 2010. №2. С. 42–44.
12. Хохлявин С. А. К единой терминологической базе нанотехнологий // Наноиндустрия. 2010. №5. С. 90–97.
13. Хохлявин С. А. Стандарты ИСО: от классификации наноматериалов до нанотоксикологии // Наноиндустрия. 2011. №1. С. 62–66.
14. Хохлявин С. А. Нанотехнологии и стандарты – неразрывный симбиоз // Наноиндустрия. 2010. №3. С. 32–36.
15. Тодуа П. А. Метрология в нанотехнологии // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. №1–2. С. 61–69.
16. Novikov Yu. A., Rakov A. V., Todua P. A. Metrology in linear measurements of nanoobject elements // Proceedings of SPIE. 2006. V. 6260. P. 626013-1-626013-8.
17. Данилова М. А., Митохляев В. Б., Новиков Ю. А., Озерин Ю. В., Раков А. В., Тодуа П. А. Тест-объект с шириной линии менее 10 нм для растровой электронной микроскопии // Измерительная техника. 2008. №8. С. 20–23.
18. Novikov Yu. A., Rakov A. V., Todua P. A. Linear sizes measurements of linear elements with the width less 100 nm on a SEM // Proceedings of SPIE. 2006. V. 6260. P. 626015-1-626015-6.
19. Новиков Ю. А., Раков А. В., Тодуа П. А. Точность измерения линейных размеров на растровых электронных микроскопах в микро- и нанотехнологиях // Измерительная техника. 2008. №6. С. 15–18.
20. Хохлявин С. А. Стандарты для измерений и характеристики свойств нанообъектов // Наноиндустрия. 2011. №8. С. 46–49.
21. Хохлявин С. А. Стандартизация в области нанотехнологий: от оценки риска до измерений в наномасштабе // Мир стандартов. 2008. №9 (30). С. 58–70.
22. Хохлявин С. А. Состояние и перспективы международной стандартизации в области нанотехнологий // Мир стандартов. 2009. №5 (36). С. 34–41.
23. Хохлявин С. А. Стандартизация в области нанотехнологий – устранение барьеров для коммерциализации // Мир стандартов. 2008. №6 (27). С. 21–28.
24. Гавриленко В. П., Лесновский Е. Н., Новиков Ю. А., Раков А. В., Тодуа П. А., Филиппов М. Н. Первые российские стандарты в нанотехнологиях // Известия АН. Сер. физич. 2009. Т. 73. №4. С. 454–462.

Поступила в редакцию 04.05.2013 г.

После доработки – 01.04.2013 г.