

## НАНОТЕХНОЛОГИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

*Силаков К.И., студент; Силакова Т.Т., к.ф.-м.н., доцент  
Национальный технический университет Украины  
"Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина*

Интенсивное развитие нанотехнологий, их быстрое проникновение в производство и потребление и связанные с этим риски — социальные, этические, экологические — обуславливают актуальность скорейшего решения задачи формирования системы экономико-статистических измерений масштабов, структуры и динамики данного технологического направления и соответствующей ему сферы деятельности. Отсутствие необходимой для этого методологической базы и практического инструментария ведет к весьма расплывчатым, а часто и противоречивым представлениям о состоянии сферы нанотехнологий, ее экономических и социальных эффектах.

Обретя широкое признание в качестве одного из наиболее перспективных направлений научно-технологического развития, нанотехнологии стали объектом приоритетной поддержки во многих государствах мира. По имеющимся оценкам, едва ли найдется другая область науки, получившая в глобальном масштабе столь значительные государственные инвестиции за столь короткий период времени

### **Определение нанотехнологий**

Как показывает обзор литературы, нанотехнологии рассматриваются сегодня и как область исследований, и как направление технологического развития. С одной стороны, это отражает современные тенденции взаимосвязи науки и технологии, а с другой — порождает серьезную терминологическую путаницу. Противоречия начинаются уже в попытках обозначить область исследований в целом и дать определение понятия «нанотехнологии». Так, некоторые авторы выделяют «нанонауку» (nanoscience), занимающуюся познанием свойств наноразмерных объектов и анализом их влияния на свойства материалов, и «нанотехнологию» (nanotechnology), имеющую своей целью развитие этих свойств для производства структур, устройств и систем с характеристиками, заданными на молекулярном уровне. Иногда такое разделение имеет под собой сугубо методическую основу, когда речь идет об анализе научных публикаций (и тогда говорится о «нанонауке») либо патентов (в этом случае используется понятие «нанотехнологии»). На практике же провести различие между нанонаукой и нанотехнологией оказывается практически невозможным, поэтому, во избежание путаницы, отдельные исследователи предлагают ограничиться

только одним термином — «нанотехнологии», объединив в нем обе составляющие.

Принимая такой подход, важно предложить согласованное определение нанотехнологий, которое, в частности, призвано обозначить общие границы рассматриваемой области, исключив из нее лишнее.

Заметим, что, несмотря на наличие различных определений нанотехнологий, единого согласованного варианта, причем такого, который образовывал бы основания для построения соответствующих классификаций, пока не существует.

На международном уровне из всего многообразия подходов, встречающихся в научных публикациях, аналитических обзорах и политических документах разных стран, выделяются пять определений, пользующихся наибольшим влиянием (табл.1).

Таблица 1. Общие определения нанотехнологий

Организация-автор	Определение
VII Рамочная программа ЕС (2007-2013)	Получение новых знаний о феноменах, свойства которых зависят от интерфейса и размера. Управление свойствами материалов на наноуровне для получения новых возможностей их практического применения. Интеграция технологий на наноуровне; способность к самосборке. Наномоторы, машины и системы; методы и инструменты для описания и манипулирования на наноуровне. Химические технологии нанометровой точности для производства базовых материалов и компонентов. Эффект в отношении безопасности человека, здравоохранения и охраны окружающей среды. Метрология, мониторинг и считывание, номенклатура и стандарты. Исследование новых концепций и подходов для практического применения в различных отраслях, включая интеграцию и конвергенцию с новыми технологиями.
Рабочий план Международной организации по стандартизации (ISO) от 23/04/2007	Понимание механизмов управления материей и процессами на наношкале (как правило, но не исключительно, менее 100 нанометров по одному или нескольким измерениям), где феномены, связанные со столь малыми размерами, обычно открывают новые возможности практического применения. Использование свойств материалов, проявляющихся на наношкале и отличных от свойств отдельных атомов, молекул и объемных веществ, для создания улучшенных материалов, устройств и систем, основанных на этих новых свойствах.

Таблица 1. Общие определения нанотехнологий (продолжение)

Организация-автор	Определение
Европейское патентное ведомство (ЕПО)	Термин «нанотехнология» покрывает объекты, контролируемый геометрический размер хотя бы одного из функциональных компонентов которых в одном или нескольких измерениях не превышает 100 нанометров, сохраняя присущие им на этом уровне физические, химические, биологические эффекты. Он покрывает также оборудование и методы контролируемого анализа, манипуляции, обработки, производства или измерения с точностью менее 100 нанометров.
США: Национальная нанотехнологическая инициатива (2001- н.в.)	Нанотехнология - это понимание и управление материей на уровне примерно от 1до 100 нанометров, когда уникальные явления создают возможности для необычного применения. Нанотехнология охватывает естественные, технические науки и технологию нанометровой шкалы, включая получение изображений, измерение, моделирование и манипулирование материей на этом уровне.
Япония: Второй общий план по науке и технологиям (2001-2005)	Нанотехнология - междисциплинарная область науки и техники, включающая информационные технологии, науки об окружающей среде, о жизни, материалах и др. Она служит для управления и использования атомов и молекул размером порядка нанометра (1/1.000.000.000), что дает возможность обнаруживать новые функции благодаря уникальным свойствам материалов, проявляющимся на наноуровне. В результате появляется возможность создания технологических инноваций в различных областях.

Все эти определения были идентифицированы Рабочей группой по нанотехнологиям (РГН), Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) в качестве базы для создания унифицированной методологической рамки, необходимой для организации гармонизированной в международном масштабе системы сбора и анализа статистической информации о сфере нанотехнологий. Определение фокусируется на отличительных особенностях нанотехнологий как научно-исследовательской, технологической и производственной сферы.

Как показывает случай с биотехнологиями, использование общего и списочного определений способствует эффективному решению различных задач в области статистики, анализа, научно-технической и инновационной политики. Так, базовые определения хорошо подходят для научных дискуссий, достижения консенсуса по общим вопросам, принятия рамочных политических решений. Списочные определения позволяют наладить коммуникацию с технологическими и производственными областями, где новые технологии могут иметь прикладное значение (например, для исследования рынков и компаний), а также обеспечить создание более строгой системы отбора и экспертизы проектов. В конечном итоге это позволяет повысить точность и достоверность получаемой информации.

**Классификация направлений нанотехнологий**

Как и в случае с определениями, классификации направлений нанотехнологий в настоящее время находятся в процессе формирования. Прежде всего, это связано с отсутствием международных терминологических стандартов в сфере нанотехнологий. Большинство материалов Рабочей группы ISO по стандартизации наноразмерных объектов и процессов носят предварительный характер, а российские стандарты, согласно проекту Программы стандартизации в наноиндустрии, предложенному ГК «Роснано-тех», должны быть разработаны в период с 2010 по 2014 гг., в зависимости от направления.

Как было отмечено выше, формированию классификационных группировок предшествует выработка общего (базового) определения нанотехнологий. Затем предстоит идентифицировать ключевые области анализа, которые должны быть описаны с помощью ограниченного набора основных определений, и структурировать их с выделением самостоятельных подгрупп, описывающих выбранную область. Подобного рода подходы к группировке направлений нанотехнологий уже представлены в нормативных документах международных организаций, а также в материалах национальных органов научно-технической политики и статистических служб (табл. 2). В табл. 2 жирным шрифтом выделены направления, названия которых совпадают во всех рассматриваемых примерах, курсивом - направления, близкие по содержанию. При этом количество заполненных клеток соответствует числу направлений.

Таблица 2. Направления нанотехнологий

Статистическая служба Канады	Европейское патентное ведомство (EPO)	Международная организация по стандартизации (ISO)	Статистическая служба Австралии	Федеральная целевая программа РФ на 2008-2010 гг.
Нанопотоника	<b>Нано биотехнологии</b>	<b>Нано биотехнологии</b>	Нанотехнологии для окружающей среды	<b>Наноэлектроника</b>
<b>Наноэлектроника</b>	Нанотехнологии для обработки, хранения и передачи информации	<b>Нано электроника</b>	Молекулярная и органическая электроника	Наноинженерия
<b>Нанобиотехнологии</b>	<i>Нанотехнологии для материалов и науки о земле</i>	<b>Нано медицина</b>	<b>Нано биотехнологии</b>	<i>Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества</i>

Таблица 2. Направления нанотехнологий (продолжение)

Статистическая служба Канады	Европейское патентное ведомство (ЕРО)	Международная организация по стандартизации (ISO)	Статистическая служба Австралии	Федеральная целевая программа РФ на 2008-2010 гг.
Нано медицина	Нанотехнологии для распознавания, взаимодействия и манипулирования	Нано метрология	Нанoeлектро-механические системы	Функциональные наноматериалы для энергетики
Нано материалы	Нанооптика	Нанооптика	Нанoeлектро-ника	Функциональные наноматериалы для космической техники
Квантовые вычисления	Наномагнетизм	Нано-фотоника	Выращивание, самосборка и производство наноструктур	Нанобио-технологии
Самосборка		Нано-материалы	Производство нанопродукции	Конструкционные наноматериалы
Инструменты			Наномедицина	Композитные наноматериалы
Нано токсикология			Нанометрология	Нанотехнологии для систем безопасности
			Нанофотоника	
			Нано диагностика	
			Нанотоксикология, здоровье и безопасность	

Работа ISO по формированию терминологии и стандартов в сфере нанотехнологий сосредоточена на определении базовых понятий, установлении критериев различия технологических и производственных нанопроцессов, выявлении подходов и требований к измерению, построению классификации наноматериалов, устройств и других «нанотехнологических» приложений. К настоящему моменту опубликованы проекты трех основных стандартов: терминология и определения нанообъектов в части наночастиц, нановолокон и нанопластин (ШО/Т8 27687:2008), принципы безопасности и защиты здоровья при использовании нанотехнологий в профессиональной деятельности (ШО/ТЯ 12885:2008), определения углеродных нанообъектов (ШО/Т8 80004-3:2010). Практически завершена работа

---

над проектом методологии классификации и категоризации наноматериалов (ШО/ТЯ 11360:2010).

Статистические службы Канады и Австралии решают задачи сбора данных о состоянии сферы науки и технологий в своих странах, включая развитие системы индикаторов для охвата соответствующих возникающих областей знания. Наконец, патентные службы с помощью классификационных группировок осуществляют регистрацию новых и маркировку уже зарегистрированных объектов интеллектуальной собственности, имеющих отношение к нанотехнологиям. Каждая из перечисленных задач требует специальных усилий по кодификации и классификации часто очень разных процессов и объектов, связанных с нанотехнологической волной.

Независимо от целей деятельности организаций, работающих в области стандартизации, классификации и статистики, объектом их внимания являются направления применения либо использования нанотехнологий, среди которых можно выделить ряд общих позиций. Так, ISO предусматривает на верхнем уровне семь направлений, тогда как в классификациях статистических служб Канады и Австралии их, соответственно, девять и двенадцать. Варианты, предложенные ЕРО и Центром исследований нанотехнологий Японии (NRNC), — причем последний стал базовым для отбора патентных классов, связанных с нанотехнологиями, в Международной патентной классификации, — включают по шесть направлений. В России ключевым документом, охватывающим собирательную группировку тематических направлений деятельности в сфере нанотехнологий, является ФЦП «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008—2010 годы». Она предусматривает девять позиций, пять из которых можно объединить в категорию наноматериалов, представленную в том или ином виде в каждом из рассматриваемых примеров. Кажущееся исключение составляет вариант ISO, однако при более детальном знакомстве с рабочими документами организации выясняется, что наноматериалы выделены в них в качестве самостоятельного подраздела, который является сквозным для всей классификации. К числу обязательных для всех рассматриваемых подходов направлений относятся также наноэлектроника, нанофотоника (в ряде случаев она связана с нанооптикой), нанобиотехнологии и наномедицина. Отдельно рассматриваются технологические процессы и инструменты, ориентированные на создание, измерение, стандартизацию и производство в сфере нанотехнологий. В некоторых случаях в качестве самостоятельных групп представлены нанотехнологии выращивания и самосборки наноматериалов и наноструктур, методы диагностики и манипулирования нанообъектами, обеспечения безопасности здоровья и окружающей среды.

Для построения проекта российской классификации направлений нанотехнологий (КНН) была предпринята попытка обобщить указанные

подходы и сформировать систему, открытую для дальнейшего расширения и детализации. Назначением такой классификации является, прежде всего, решение задач в области учета, анализа и стандартизации научной, научно-технической, инновационной и производственной деятельности в сфере нанотехнологий. Классификация может быть также использована для отбора и экспертизы проектов, оценки деятельности в области защиты прав интеллектуальной собственности, проведения статистических исследований, унификации научно-технической или иной информации в этой области. Все это должно обеспечить структурированное описание нанотехнологий как научно-технологической и экономической сферы, способствовать выработке приоритетов, формированию и реализации политики, основанной на фактах.

В результате работы были выделены семь основных направлений нанотехнологий: наноматериалы, наноэлектроника, нанофотоника, нанобиотехнологии, наномедицина, наноинструменты (нанодиагностика), технологии и специальное оборудование для создания и производства наноматериалов и наноустройств. Классификация, описывающая семь основных направлений нанотехнологий, сформирована на базе опыта ведущих международных организаций в области стандартизации и статистики и может служить инструментом для описания сферы нанотехнологий, формирования государственных информационных ресурсов и получения достоверной статистической информации о состоянии и развитии научных исследований и разработок в сфере нанотехнологий.

В заключение следует подчеркнуть, что предложенные общие определения нанотехнологий и проект классификации направлений нанотехнологий призваны дать ответ на ключевые вызовы, обозначив границы и внутреннюю структуру этой слабо структурированной междисциплинарной области, обладающей высокой динамикой развития и неочевидными социально-экономическими последствиями.

### Литература

1. Игами М., Оказаки Т. Современное состояние сферы нанотехнологий: анализ патентов // Форсайт. 2008. № 3 (7), с. 32-43.
2. PCAST. The national nanotechnology initiative at five years: Assessment and recommendations of the National Nanotechnology Advisory Board. 2005.
3. Roco M.C. National nanotechnology initiative: Past, present and future / Handbook on nanoscience, engineering and technology. Ed. Goddard, W.A et al. CRC, Taylor and Francis, Boca Raton and London, 2007. P. 3.1-3.26.
4. Хульман А. Экономическое развитие нанотехнологий: обзор индикаторов // Форсайт. 2009. № 1 (9), с. 31-32.
5. Kamei S. Promoting Japanese style nanotechnology enterprises. Mitsubishi Research Institute, 2002. Lux Research. The Nanotech Report. Lux Research Inc. 2006.
6. Lipsey R., Carlaw K., Bekar C. Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long-Term Economic Growth. Oxford University Press, 2005. P. 87, 110, 131,

212-218.

7. Youtie J., Iacopetta M., Graham S. Assessing the nature of nanotechnology: can we uncover an emerging general purpose technology? // Journal of Technology Transfer. 2008. Vol. 33. P. 315-329.
8. Тодуа П.А. Метрология в нанотехнологии // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2, № 1-2. P. 61-69.
9. RAS/ RAE. Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. The Royal Society and The Royal Academy of Engineering. 2004.
10. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи. / Пер. с англ. - М.: Вильямс, 2004. С. 20-22.
11. Игами М. Библиометрические индикаторы: исследования в области нанонауки // Форсайт. 2008. № 2 (6), с. 36-45.
12. Kearnes M. Chaos and Control: Nanotechnology and the Politics of Emergence // Paragraph. 2006. № 29. P. 57-80.
13. Huang C., Notten A., Rasters N. Nanoscience and technology publications and patents: A review of social sciences and strategies. Working Paper Series 2008058. MERIT, 2008.
14. Miyazaki K., Islam N. Nanotechnology systems of innovation — An analysis of industry and academia research activities // Technovation. 2007. № 27. P. 661-675.
15. OECD. Working Party on Nanotechnology. Nanotechnology at a glance: Part I «Market for ecasts, R&D, patents and innovations». Project A «Indicators and statistics\*». OECD. Paris. 2009.
16. Форсайт, дорожные карты и индикаторы в области наноиндустрии // Форсайт. 2009. № 1(9). С. 69-77.
17. ISO. Business plan ISO/TC 229. Nanotechnologies. Draft. 23.04.2007.

*Сілаков К. І., Сілакова Т. Т. Нанотехнології. Визначення та класифікація. Представлено стислий огляд літератури в галузі визначення і класифікації напрямлень нанотехнологій, які вданий час знаходяться в процесі формування. Відзначено, що єдиного узгодженого варіанту, який утворював би підставу для побудови відповідних класифікацій, поки не існує. Виділено сім основних напрямків нанотехнологій: наноматеріали, наноелектроніка, нанофотоніка, нанобіотехнології, наномедицина, наноінструменти (нанодіагностіка), технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів та нанопристроїв*

*Ключові слова:* нанонаука, нанотехнології, наноелектроніка, наноматеріали, нанофотоніка, нанобіотехнології, наномедицина, нанодіагностіка

*Силаков К.И., Силакова Т. Т. Нанотехнологии. Определения и классификация. Представлен краткий обзор литературы в области определения и классификации направлений нанотехнологий, которые в настоящее время находятся в процессе формирования. Отмечено, что единого согласованного варианта, который образовывал бы основание для построения соответствующих классификаций, пока не существует. Выделены семь основных направлений нанотехнологий: наноматериалы, нанoeлектроника, нанофотоника, нанобиотехнологии, наномедицина, наноинструменты (нанодиагностика), технологии и специальное оборудование для создания и производства наноматериалов и наноприборов*

*Ключевые слова:* нанонаука, нанотехнологии, нанoeлектроника, наноматериалы, нанофотоника, нанобиотехнологии, наномедицина, нанодиагностика

*Silakov K. I., Silakova T. T. Nanotechnology. Definitions and classification. A brief literature review to identify and classify areas of nanotechnology that are currently in the process of formation. It is noted that, a single coherent alternative that would form the basis for constructing classifications, does not exist yet. Identified seven key areas of nanotechnology: nanomaterials, nanoelectronics, nanophotonics, nanobiotechnology, nanomedicine, nanoinstrumenty (nanodiagnostics), technology and special equipment for the creation and production of nanomaterials and nanodevices*

**Keywords:** nanoscience, nanotechnology, nanoelectronics, nanomaterials, nanophotonics, nanobiotechnology, nanomedicine, nanodiagnostics