

М.М. БЕЗЗУБЦЕВА, В.С. ВОЛКОВ

# НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

## УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Рекомендовано УМО РАЕ по классическому  
университетскому и техническому образованию  
в качестве учебного пособия для бакалавров  
высших учебных заведений, обучающихся  
по направлению подготовки: 110800.62-  
«Агроинженерия» (Профиль «Электрооборудование  
и электротехнологии в сельском хозяйстве»)*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2012

УДК 620.16(075.8)

ББК 3-01 я 73

К56

Составители: М.М. Беззубцева; В.С. Волков

Рецензенты: д.т.н., проф. С.А. Ракутько; д.т.н., проф. В.В.Орлов

Редактор: д.т.н., проф. В.В.Тишин

М.М. Беззубцева, В.С. Волков

К 56 : Нанотехнологии в энергетике. – СПб: СПбГАУ, 2012. –133с.

В учебном пособии представлены базовые определения и классификация нанотехнологий. Изложены физические основы нанотехнологии, приведены наиболее важные для энергетики виды наноматериалов, рассмотрены их свойства, принципы и методы моделирования нанообъектов. Проанализированы достижения и перспективы внедрения в энергетику технологий и производств с атомарной точностью.

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Нанотехнологии в энергетике» и предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению «Агроинженерия» профилю «Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве». Представляет интерес для инженеров и специалистов теплоэнергетиков и электроэнергетиков агропромышленного комплекса. Учебное пособие «Нанотехнологии в энергетике» может быть рекомендовано для заочного и дистанционного обучения.

УДК 620.16(075.8)

ББК 3-01 я 73

ISBN 978-85983-135-7

© М.М. Беззубцева

© В.С. Волков

## **ВВЕДЕНИЕ**

Интенсивное развитие, внедрение в производство и потребление нанотехнологий и связанные с этим риски (социальные, этические и экологические) обуславливают актуальность решения задач формирования системы структуры и динамики данного технологического направления и соответствующей ему сферы деятельности, в том числе и в энергетической отрасли.

Отсутствие необходимой для этого методологической базы и практического инструментария ведет к противоречивым представлениям о состоянии сферы нанотехнологий в энергетической отрасли, ее экономических и социальных эффектах.

В настоящее время нанотехнологии признаны наиболее перспективным направлением научно-технологического развития.

Практический аспект нанотехнологий включает в себя производство устройств и их компонентов, необходимых для создания, обработки и манипуляции атомами, молекулами и наночастицами. Подразумевается, что не обязательно объект должен обладать линейным размером менее 100 нм — это могут быть макрообъекты, атомарная структура которых создаётся с разрешением на уровне отдельных атомов, либо содержит в себе нанообъекты. В более широком смысле этот термин охватывает также методы диагностики и исследований таких объектов.

Нанотехнологии качественно отличаются от традиционных дисциплин, поскольку на таких масштабах привычные, макроскопические технологии обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежительно слабые на привычных масштабах, становятся намного значительнее: свойства и взаимодействия отдельных атомов и молекул или агрегатов молекул (например, силы Ван-дер-Ваальса), квантовые эффекты.

Нанотехнология и в особенности молекулярная технология — новые, мало исследованные дисциплины. Основные открытия, предсказываемые в этой области, пока не сделаны. Тем не менее, проводимые исследования уже дают практические результаты. Использование в нанотехнологии передовых научных достижений позволяет относить её к высоким технологиям.

Нанотехнологии, являясь объектом приоритетной поддержки во многих государствах мира, получили в последние годы значительные государственные инвестиции. Между тем, по замечанию А. Хульман, «вопрос о том, в какой степени «нано-шумиха» опирается на реальные экономические показатели, а в какой отражает лишь благие пожелания», остается открытым: оценки рынка товаров и услуг, связанных с нанотехнологиями, в зависимости от используемого в них определения последних и «степени оптимизма» их авторов варьируются от 150 млрд. долл. в 2010 г. до 3.1 трлн. долл. к 2015 г. Несмотря на несколько ажиотажный характер большинства прогнозов, многие эксперты сходятся в том, что нанотехнологии трансформированы в «технологии общего назначения» вслед за информационно-коммуникационными и биотехнологиями и относятся к общедисциплинарному направлению. Вместе с тем формирование понятийного аппарата, прежде всего определений и классификаций, здесь существенно отстаёт от динамики самого рассматриваемого явления. С учётом масштабов инвестиций в эту сферу и неизбежной в такой ситуации склонности к преувеличению нанотехнических и экономических эффектов в некоторых аналитических исследованиях и прогнозах, опирающихся на различную терминологию, подобное положение дел не может не вызывать озабоченности, поскольку способно оказывать

дезориентирующее воздействие на принятие обоснованных управленческих решений.

Разработка определений и классификаций в сфере нанотехнологий представляет собой довольно сложную задачу. В первую очередь, это связано с «универсальным» характером нанотехнологий — слабоструктурированной области, отличающейся высокой динамичностью развития и растущим многообразием практических приложений. Нельзя не учитывать также мультидисциплинарный характер этой сферы и ее адаптивность как к новым научно-технологическим достижениям, так и к потребностям экономики и общества.

Проблема единства понятий и стандартов в области нанотехнологий неоднократно обсуждалась в зарубежной и отечественной литературе. Этот вопрос имеет ключевое значение для выработки единого подхода к пониманию сущности и особенностей развития нанотехнологий. Общий понятийный аппарат позволит более четко обозначить границы исследуемой области и оценить порождаемые ею научно-технологические и социальноэкономические тенденции. На основе анализа международного опыта и практики в организации научных исследований, стандартизации и статистического учета разработаны базовые определения нанотехнологий и проект классификации их направлений. Принципиальное значение при этом придается гармонизации понятийного аппарата с международными подходами, что способствует усилению интеграции российской науки в мировое научно-технологическое пространство.

Согласно оценкам отраслевых экспертов и аналитиков компании Abercade, основными перспективными сферами применения нанотехнологий являются автомобильная промышленность, доля которой в структуре потребления нанопродуктов в ближайшее время составит порядка 25%, а также здравоохранение (22%) и аэрокосмические технологии (порядка 17%).

Однако особые надежды специалисты связывают с массовым использованием нанопродуктов в сфере энергетики. Ожидается, что уже в

ближайшей перспективе на энергетику будет приходиться порядка 13% мирового потребления нанопродуктов, а в обозримом будущем разработки в сфере нанотехнологий помогут совершить революционный скачок в развитии технологий получения и преобразования энергии. Одной из ключевых областей использования нанотехнологий в энергетике будет являться создание батарей нового поколения. Основные исследования в данной сфере сегодня сконцентрированы на решении задач повышения плотности энергетического потока, снижения продолжительности цикла зарядки батарей, уменьшения их габаритов и веса, а также повышения безопасности и стабильности работы.

Стратегической задачей является разработка батарей высокой емкости, которые позволят обеспечить пробег электромобилей на длительные дистанции, а также смогут гарантировать более экономичные режимы работы возобновляемых источников энергии, таких как солнечные батареи и ветроэнергетические установки путем аккумулирования избытков энергии.

Не менее перспективным направлением применения нанотехнологий в энергетике является создание суперконденсаторов, обладающих высокой электрической емкостью.

Основными видами нанопродуктов, которые в ближайшей перспективе найдут широкое применение для изготовления наноконденсаторов, будут являться углеродные нанотрубки и нанопорошки.

# Глава 1. ОБЩИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И МЕЖОТРАСЛЕВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

## 1.1. ОБЩИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

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 расхождение в терминологии. Противоречия начинаются уже в попытках обозначить область исследований в целом и дать определение понятия «нанотехнологии». В настоящее время 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. Такое разделение имеет методическую основу, когда речь идет об анализе научных публикаций (и тогда говорится о «нанонауке») либо патентов (в этом случае используется понятие «нанотехнологии»). На практике провести различие между нанонаукой и нанотехнологией оказывается практически невозможным. Поэтому исследователи предлагают ограничиться только одним термином — «нанотехнологии», объединив в нем обе составляющие. Принимая такой подход, необходимо иметь согласованное определение нанотехнологий, которое, в частности, призвано обозначить общие границы рассматриваемой области. Общие определения нанотехнологий представлены в табл. 1.1.

**Таблица 1.1. 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	<p>1) 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.</p> <p>2) 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.</p>
Европейское патентное ведомство (ЕРО)	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 1 до 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.



**Табл. 1.1 Продолжение**

Япония: Второй общий план по науке и технологиям	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) Организации 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. Предлагаемые международными либо национальными организациями определения носят характер рабочих, отражая специфику тех конкретных программ и проектов, применительно к которым они и сформулированы, и различаются в зависимости от сферы их применения, решаемых задач и уровня полномочий этих организаций. Например, в определении нанотехнологий в VII Рамочной программе ЕС подчеркивается их научно-технологическая составляющая. Подходы, принятые Европейским и Японским патентными ведомствами, нацелены на работу в сфере охраны интеллектуальной собственности. Формулировка из Национальной нанотехнологической инициативы США охватывает естественные, технические науки и технологии. Состав приведенного набора определений продиктован, прежде всего, их политической операциональностью (ориентацией на принятие политических решений) и принадлежностью к странам (регионам) с максимальными объемами государственного финансирования научно-технологической сферы (ЕС, США, Япония). Список дополняют так называемое «рамочное» определение ISO, составляющее основу документов РГН, и определение Европейского патентного ведомства (ЕРО) — пока еще

единственного источника международно-сопоставимой информации о нанотехнологиях.

Указанные определения объединяет ряд общих черт, относительно которых следует сделать несколько дополнительных замечаний:

- каждое из определений обращает внимание на масштаб рассматриваемого явления. Как правило, указывается диапазон от 1 до 100 нм, внутри которого могут быть зафиксированы уникальные молекулярные процессы;
- подчеркивается принципиальная возможность управления процессами, происходящими, как правило, в границах обозначенного диапазона.

Это позволяет отличить нанотехнологии от природных явлений подобного рода («случайных» нанотехнологий), а также обеспечить возможность придания создаваемым материалам и устройствам уникальных характеристик и функциональных возможностей, достижение которых в рамках предшествующей технологической волны было невозможно. В свою очередь это означает, что в средне- и долгосрочной перспективе нанотехнологии могут не только содействовать развитию существующих рынков, но и способствовать возникновению новых рынков (продуктов или услуг), способов организации производства, видов экономических и социальных отношений.

Характерной особенностью определений является их экономико-статистическая операциональность. Нанотехнологии представлены как явление, поддающееся количественной оценке, – это техника, инструменты, материалы, устройства, системы. Это делает их важным элементом цепочек создания стоимости, однако вопросы оценки вклада нанотехнологий в стоимость конечного продукта и пределов диверсификации существующих секторов производства при их применении требуют дополнительного рассмотрения.

В то же время обращают на себя внимание некоторые различия в указанных определениях. Прежде всего, они касаются степени конвергентности и целевого назначения нанотехнологий. Так, в европейском варианте отмечается как

интеграция различных технологий в границах наношкалы, так и их конвергенция с другими технологиями; выделяются отдельные сферы их применения. Японская версия подчеркивает инновационную природу нанотехнологии. К тому же европейское и японское определения со всей очевидностью отражают распространенное убеждение, что использование схожих «строительных элементов» (например, атомов и молекул) и инструментов анализа (микроскопы, компьютеры высокой мощности и др.) в различных научных дисциплинах может привести в будущем к синтезу информационных, био- и нанотехнологий.

Среди приведенных определений встречаются не только общие (базовые), но и так называемые «списочные», в том числе принятое в VII Рамочной программе ЕС. Обычно они формируются путем перечисления научно-технологических областей (направлений), которые относятся к соответствующей сфере. 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.

В официальной российской практике вплоть до последнего времени действовали два различных базовых определения нанотехнологий, которые представлены, соответственно, в «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий» и «Программе развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года» (табл. 1.2).

**Таблица 1.2. Российские определения нанотехнологий**

Документ	Определение
Концепция развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий	Нанотехнологии – это совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба; в более широком смысле этот термин охватывает также методы диагностики, характерологии и исследований таких объектов.
Программа развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года	Нанотехнологии – технологии, направленные на создание и эффективное практическое использование нанообъектов и наносистем с заданными свойствами и характеристиками.

Первая из этих двух версий фокусируется на изучении и создании объектов определенного (наноразмерного) масштаба, вторая – предлагает рассматривать процессы создания и использования нанотехнологий. В обоих случаях отсутствуют указания на особенности, связанные с уникальностью явлений и происходящие в пределах наношкалы. Кроме того, определение, представленное в Программе развития nanoиндустрии, не несет новой информации о характеризуемом явлении и формулируется исходя из свойств и признаков одного порядка. Это делает его максимально абстрактным и лишает какого бы то ни было уровня операциональности.

С целью преодоления отмеченных выше проблем и выработки такого определения нанотехнологий, которое позволило бы отразить их специфический характер и могло бы быть использовано в сфере статистического наблюдения, а также научно-технологической и инновационной политики, предпринята попытка синтеза эффективных элементов различных существующих подходов. Результатом соответствующих методических усилий стала новая версия базового определения нанотехнологий, которая прошла обсуждение в целом ряде представительных