

УДК 101:001.891.34

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ «НАНОТЕХНОЛОГИЙ»

Сергеева М.С., Маслов В.М.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
Нижегород, e-mail: [Sergeeva.m.s@rambler.ru](mailto:Sergeeva.m.s@rambler.ru)

В статье обосновывается проблема определения нанотехнологий в связи с тем, что существующие в настоящее время определения предельно формальны. На основе проведенного анализа нанотехнологий представлено формально-содержательное определение нанотехнологий. Использование данного определения с самого начала гарантирует, что нанотехнологии правильно понимаются в их современной сложности и проблематичности. Цель статьи – дополнение базового определения нанотехнологий исторической, системной и футурологической содержательной информацией. Исследование проводится на основе методов анализа существующих определений нанотехнологий. Результаты заключаются в представлении нового, формально-содержательного определения нанотехнологий. В статье исследуются базовые определения нанотехнологий и выявляется формальность существующих определений нанотехнологий. Подчеркивается, что базовое, начальное определение нанотехнологий должно включать в себя общие данные об истории, системном месте, вытекающих из всего этого объективных представлений о будущем нанотехнологий. Делаются выводы о том, что формально-содержательное определение нанотехнологий более обширное и сложное чем простое, формальное определение, но только так с самого начала гарантируется, что нанотехнологии правильно понимаются в их современной сложности и проблематичности. Авторами отмечается, что само выведение специфики нанотехнологий показало конкретную ценность полученного определения.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, формально-содержательное определение, миниатюризация, минитехнологии, нанообъекты, наносистемы, нанонаука

## PROSPECTS OF DEFINITION OF «NANOTECHNOLOGIES»

Sergeeva M.S., Maslov V.M.

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: [Sergeeva.m.s@rambler.ru](mailto:Sergeeva.m.s@rambler.ru)*

The article proves the problem of definition of nanotechnologies due to the fact that the currently existing definitions are extremely formal. Based on the analysis of nanotechnology, a formal definition of nanotechnology is presented. Using this definition from the very beginning guarantees that nanotechnologies are correctly understood in their modern complexity and problematics. The purpose of the article is to supplement the basic definition of nanotechnology with historical, systemic and futurological content. The research is carried out on the basis of methods for analyzing existing definitions of nanotechnologies. The results are the presentation of a new, formally-meaningful definition of nanotechnology. The article explores the basic definitions of nanotechnology and reveals the formality of the existing definitions of nanotechnology. It is emphasized that the basic, initial definition of nanotechnology should include general data on the history, the system place, arising from all this objective ideas about the future nanotechnology. Conclusions are drawn that the formal and meaningful definition of nanotechnologies is more extensive and complex than a simple, formal definition, but only from the very beginning is it guaranteed that nanotechnologies are correctly understood in their contemporary complexity and problematic. The authors note that the very derivation of the specifics of nanotechnology has shown the specific value of the definition obtained.

**Keywords:** nanotechnology, formal-meaningful definition, miniaturization, mini-technologies, nanoobjects, nanosystems, nanoscience

Любое серьезное, значительное исследование нанотехнологий (НТ) указывает на существующую проблему определения НТ [1, с. 36]. Также отмечается, что в настоящее время научные сообщества склоняются к определению НТ через какое-либо отношение к наноразмеру или к наноуровню, например, указывается на то, что в ядро множества определений НТ входит «возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, в которых по крайней мере один из параметров лежит в области 1–100 нм» [2, с. 83]. Правомерность подобных выводов можно видеть при анализе следующих определений НТ: «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 большого масштаба; в более широком смысле этот термин охватывает также методы диагностики, характерологии и исследований таких объектов» (Концепции развития в РФ работ в области нанотехнологий на период до 2010 г.); «нанотехнологии – технологии, направленные на создание и эффективное практическое использование нанобъектов и наносистем с заданными свойствами и характеристиками» (Программа развития nanoиндустрии в РФ до 2015 г.); «нанотех-

нологии как конструирование, характеристика, производство и применение структур, приборов и систем, свойства которых определяются их формой и размером на нанометровом уровне» (Л.Б. Пиотровский) и др. В дальнейшем, соответственно, указанное определение НТ служит основой для решения всех других теоретических проблем НТ, в частности классификации, выделения специфических групп, направлений развития НТ [3].

Проведенный анализ определений указывает на то, что указанное, становящееся общезначимым определение НТ является предельно формальным. Данное определение – обозначим его как «формальное определение» – тяготеет к следующей тавтологии: нанотехнологии определяются, что они именно технологии-нано, то есть вся ситуация не входит за пределы указания на определенный размер –  $10^{-9}$  м. Без дополнительных разъяснений или исследований, на основе подобного определения нельзя разъяснить напрямую множество существующих в настоящее время критических высказываний относительно НТ. Следовательно, вызывают сомнения любые теоретические положения, в которых берется за основу данное определение НТ.

Начальное, базовое определение НТ должно включать в себя следующие общие данные: данные об истории, системном месте НТ, а также вытекающих из этого объективных представлений о будущем НТ. Исходя из этого, приходим к выводу, что только подобная основа позволит детальнее и перспективнее разрабатывать теорию НТ, следовательно, и положительно влиять на практику НТ. В плане соотношения с формальным определением НТ речь должна идти о дополнении его новой (исторической, системной, футурологической) содержательной информацией. Поставленной нами задачей является получение обоснованного формально-содержательного определения НТ.

Общие требования исторического, системного, и на основе этого футурологического дополнения/разъяснения/обогащения исходного формального определения НТ конкретизируются следующим образом. В историческом плане необходимо отразить историю становления НТ общеизвестным культурным феноменом. Ключевой в данном случае является идея технологий «снизу вверх». В системном плане нужно увидеть НТ в контексте всех других технологий. Ключевой в данном случае оказывается общетехническая тенденция к миниатюризации. Результаты историко-системного взгляда на НТ должны послужить объектив-

ной основой обозначения возможных футурологических перспектив НТ.

Ключевыми для истории нанотехнологий можно считать две даты – 1959 и 2001 годы, и трех ученых – Р. Фейнмана, Э. Дрекслера, Р. Смолли. В целом, можно говорить о двух исторических периодах отношения к НТ. Первый период – от 1959 до 2001 года: в это время стали известны НТ и с ними связывали самые радужные надежды. Второй период – от 2001 года по настоящее время: когда к НТ складывается более взвешенное, нередко критическое отношение.

В 1959 Р. Фейнман в своей речи «Там внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики» [4] обращает внимание ученых и инженеров на существование огромной области «вещества малых размеров». По Р. Фейнману, эта область в недалеком будущем привлечет самое пристальное научно-техническое внимание, например, работа в данной области необходима в ходе дальнейшего развития компьютерных технологий, позволит создавать вещества с заранее заданным атомным составом и т.п. В вышедшей в 1986 г. книге Э. Дрекслера «Машины созидания: Грядущая эра нанотехнологий» [5] вводится фундаментальное разделение всех человеческих технологий на две группы – «технологии сверху вниз» (это все существовавшие и существующие человеческие технологии) и новые нанотехнологические, «технологии снизу вверх». Суть последних в том, что появившиеся молекулярные ассемблеры смогут создавать любой объект, если будет известна его поатомная опись и в наличии будет необходимое количество соответствующих атомов. После принятия в 2001 г. американской National Nanotechnology Initiative (NNI), стоимостью около 5 млрд долл. можно считать общезначимым признание фундаментальной перспективности НТ. Прямом заявлением об этом можно взять следующие строки: «Нанотехнологии – символ XXI в., третья научно-техническая революция», согласно оптимистическому прогнозу, из-за ненужности исчезнет промышленность и сельское хозяйство, а также недавнее изобретение человечества – работа. После этого последует взрывное развитие образования, развлечений, искусства» [6, с. 3, 235].

Идеи Э. Дрекслера в 2001 году резко раскритиковал Нобелевский лауреат Р. Смолли, который указал на принципиальные для молекулярных ассемблеров проблемы «толстых и жирных пальцев». Согласно высказыванию, наноробот не способен манипулировать отдельными атома-

ми, а также строить из отдельных атомов при помощи манипуляторов определенные молекулы, которые также должны будут состоять из атомов. Между манипулятором робота и атомами, строительным материалом, существует неизбежное взаимодействие. Последователи Э. Дрекслера считают, что после данной критики «изменилось общее направление государственного финансирования НИИ США, финансирование в значительной степени было направлено на уже существующие проекты в области химии» [7, с. 120]; но не согласны, что речь идет о непреодолимых проблемах [8].

Идеи Р. Смолли в общем виде могут восприниматься как пример достаточно распространенного сегодня критического отношения как к перспективам НТ, так и к сегодняшней практике все мелкоразмерные технологии идентифицировать именно как НТ. Последнее вполне объясняет то, что сегодняшнее отношение к НТ может доходить до «насмешливо-скептического» [9, с. 81].

Представленная история НТ еще раз подчеркивает, что формальное определение НТ – не дающее подобное историческое содержательное знание – слишком формально. Представленная история НТ должна быть в поле зрения мысли при самом общем, начальном определении НТ. Попробуем сделать это следующим образом. Нанотехнологии – это технологии нанообъектов и наносистем; начальный период становления НТ (1959–2001), в рамках которых была выдвинута фундаментальная идея технологий снизу вверх, озаменован широкой известностью и очень большими ожиданиями от развития НТ, последнее сегодня не очень очевидно, что объективно порождает достаточно разные отношения к НТ.

Широкий, системный взгляд на НТ можно получить при обращении к феномену миниатюризации, которую выделяли до и вне НТ. Миниатюризацию можно определить как общетехническое стремление сделать технический объект меньше, без потери или даже при улучшении его качества. В контексте миниатюризации НТ выглядят одним из множества элементов, этапов, примеров более общего процесса, который начался задолго до и в принципе, должен продолжаться после НТ на более глубоком, чем наноуровне. Последующие за наноуровнем миниатюризации можно отражать на основе такого же наноделения/шага: перед наноуровнем человечество освоило микроуровень ( $10^{-6}$  м), после и наряду с наноуровнем начинается работа с пикоуровнем ( $10^{-12}$  м), по мере необходимости, научно-техническое развитие будет осваивать

фемтоуровень ( $10^{-15}$  м) и далее – но лучше считать, что представленная градация только один из множества вариантов, способных отразить процесс технологического движения вглубь вещества.

Миниатюризация, с одной стороны, позволяет непредвзято, как бы со стороны увидеть НТ в контексте родственных феноменов. С другой стороны, на основе миниатюризации очень хорошо высвечивается специфика НТ. По мнению Н.Ю. Ютанова, в период с 2010 по 2025 год нанотехнологии и решения на их основе станут ключевым элементом обеспечения конкурентоспособности промышленности [10, с. 31]. Суть своеобразия наноуровня в том, что это уровень отдельных атомов, из которых – на основе развитых снизу вверх технологий – предполагается создавать в массовом порядке любые макрообъекты. При осуществлении подобного сценария, согласно Э. Дрекслеру, человечеству вряд ли будут очень интересны дальнейшие погружения вглубь материи. Последнее выглядит вполне логично, соответственно, исключительная роль НТ в процессе миниатюризации может заключаться в том, что НТ в целом завершат этот процесс. Эта идея достаточно своеобразно развивается/преломляется в связи с появлением и развитием 3D-принтеров, так как 3D-принтеры близки молекулярным ассемблерам Э. Дрекслера, но объектами 3D-принтеров являются не отдельные атомы, а гораздо более крупные молекулярные физические объекты: углеводы, белки, стволовые клетки, красители и т.п. Если аналогично молекулярным ассемблерам Э. Дрекслера, 3D-принтеры будут претендовать создавать в массовом порядке любые макрообъекты, то процесс миниатюризации в данном направлении как бы пойдет вспять.

Вряд ли сегодня можно получить надежное знание, касающееся будущей роли НТ в продолжающемся общетехническом процессе миниатюризации. Но общее понимание возможных в данном случае сценариев развития считаем важным знанием для теории НТ. В частности, на основе этого знания можно вести мониторинг того, как быстро развиваются пикотехнологии и фемтотехнологии. А в случае их интенсивного развития фиксировать момент перехода от всеобщности НТ к всеобщности пикотехнологий или фемтотехнологий. Этот переход может привести к введению общего для всего процесса миниатюризации, для всех возможных технологий (нанотехнологий, пикотехнологий, фемтотехнологий и др.) понятия, к примеру, «мини-технологии».

Все эти темы/проблемы никак не отражаются в формальном определении НТ, все они очень значимы и должны быть в поле зрения мысли при самом общем, начальном определении НТ. Попробуем сделать это следующим образом. Нанотехнологии представляют собой момент, этап общетехнического процесса миниатюризации, будущее покажет, какую роль сыграют НТ в этом процессе: принципиально ограничат на основе развития молекулярных ассемблеров (3D-принтеров) или окажутся обычным элементом наряду с множеством других технологий: пико-, фемто- и т.п.

Итоговое формально-содержательное определение НТ следующее: «Нанотехнологии – это технологии нанообъектов и наносистем; начальный период становления НТ (1959–2001), в рамках которых была выдвинута фундаментальная идея технологий снизу вверх, ознаменован широкой известностью и очень большими ожиданиями от развития НТ, последнее сегодня не очень очевидно, что объективно порождает достаточно разные отношения к НТ; НТ представляют собой момент, этап общетехнического процесса миниатюризации, будущее покажет, какую роль сыграют НТ в этом процессе: принципиально ограничат на основе развития молекулярных ассемблеров или окажутся обычным элементом наряду с множеством других технологий: пико-, фемто- и т.п.».

Полученное формально-содержательное определение НТ обширнее и сложнее, чем существующие формальные определения. Но только при использовании формально-содержательного определения НТ изначально можно гарантировать, что НТ правильно понимаются в их современной сложности и проблематичности. Считаем, что выведение специфики НТ показало конкретную ценность полученного нами определения. Так мы расцениваем проанализированную нами возможность того, что современное фундаментальное место НТ будут занимать другие, являющиеся более мелкоразмерными технологии. В результате целенаправленного и всестороннего анализа возможного сценария развития НТ получено много ценной информации применительно к теории НТ. Считаем, что такой же положительный эффект будет получен применительно ко всем другим проблемам теории НТ, например, при решении проблемы классификации НТ, а также тесно примыкающей к данной проблеме – проблемы определения нанонауки (НН) [11]. Коснемся в самом первом приближении этой проблематики.

Формальное определение НТ сразу же относит к НТ все большее множество технологий, которые так или иначе связаны с  $10^{-9}$  размером/величиной/уровнем. Соответственно, остро встает вопрос о дальнейшей классификации НТ. При решении этого вопроса формальное определение НТ не помогает. Необходимо искать специфические критерии, аргументы, на основе которых выделяются вообще и считаются определяющими те или иные группы НТ. Специфические группы НТ могут формироваться, например, на основе того, как часто ведущие государственные, профессиональные учреждения, организации развитых стран мира указывают на эти группы НТ. В результате выделяются следующие восемь групп направлений НТ: наноматериалы; наноэлектроника; наноптоника; нанобиотехнологии; наномедицина; методы и инструменты исследования и сертификации наноматериалов и наноустройств; технологии и специальное оборудование для создания и производства наноматериалов и наноустройств; прочие неучтенные направления и процессы [3, с. 12]. С точки зрения формально-содержательного определения НТ в этой классификации уже сразу обнаруживается серьезный пропуск. Отдельно не выделены технологии «снизу вверх», которые являются фундаментальными для НТ, для утверждения исключительной значимости НТ в современном научно-техническом развитии.

Формальное определение НТ прямо ведет к такому же формальному краткому определению НН, к примеру НН – это «знание о фундаментальных свойствах нанометровых объектов и явлений» [12, с. 15]. Формально-содержательное определение НТ сразу же ставит под сомнение и это определение НН, и складывающийся из такого определения НН некий проблемный образ единой НН. Новое, формально-содержательное определение НТ сразу нацеливает на критическое отношение к слишком быстрым решениям в области НН. В данном случае очевидно, что во многих случаях речь будет идти не об общей НН, а о специфических НН, научных теориях, которые будут связаны только со специфическими группами выделяемых НТ. К примеру, фундаментальная для наноэлектроники теория туннельного эффекта не является таковой для наномедицины. Отсюда можно предположить очень интересную теоретическую работу в области конкретного формирования того блока знаний, который будет представлять собой настоящую НН, которая, соответственно, потом и будет точно определена.

Список литературы

1. Горохов В.Г. Нанотехнология – новая парадигма научно-технической мысли // Высшее образование сегодня. – 2008. – № 5. – С. 36–41.
2. Алферов Ж.И. Новое направление подготовки – «нанотехнология» / Ж. Алферов, Ю.М. Таиров, М.В. Астахов, Ю.А. Чаплыгин, А.А. Горбачевич // Высшее образование в России. – 2004. – № 6. – С. 82–89.
3. Алфимов М.В. Нанотехнологии: определения и классификация / М.В. Алфимов, Л.М. Гохберг, К.С. Фурсов // Российские нанотехнологии. – 2010. – Т. 5, № 7–8. – С. 8–15.
4. Фейнман Р.Ф. Там внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики / Р. Ф. Фейнман // Российский химический журн. – 2002. – Т. 46, № 5. – С. 4–6.
5. Drexler K.E. Engines of creation 2.0: The coming era of nanotechnology. Updated and expanded [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.appstate.edu/dept/physics/nanotech/EnginesofCreation2\\_8803267.pdf](http://www.appstate.edu/dept/physics/nanotech/EnginesofCreation2_8803267.pdf) (дата обращения: 02.09.17).
6. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.
7. Медведев Д.А. Молекулярные машины Эрика Дрекслера: Настоящее будущее нанотехнологий / Д.А. Медведев, А.А. Попов // Философские науки. – 2008. – № 1. – С. 117–126.
8. Drexler K.E. On physics, fundamentals, and nanorobots: A rebuttal to smalley's assertion that self-replicating mechanical nanorobots are simply not possible [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imm.org/publications/sciamdebate2/smally> (дата обращения: 05.09.17).
9. Смирнов А.И. Определение и классификация нанотехнологий и не только // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 81–89.
10. Юганов Н.Ю. Сценарии научно-технологического развития России // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т. 4, № 5–6. – С. 26–32.
11. Сборник материалов XVI Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nntu.ru/sites/default/files/file/btn/sborniki/sbornik-materialov-btn-2017.pdf> (дата обращения: 05.09.17).
12. Роко М.К. Нанотехнология в ближайшем десятилетии: Прогноз направлений исследований; [под ред. М.К. Роко и др.]. – М.: Мир, 2002. – 292 с.