

Юрий Плескачевский

Николай Толочко

заведующий кафедрой микро- и нанотехники Белорусского национального технического университета, член-корреспондент

профессор кафедры технологии металлов Белорусского государственного аграрного технического университета, доктор физико-математических наук, профессор

Подготовка кадров для нанотехнологий

Стремительное развитие нанотехнологий, сопровождающееся целенаправленными исследованиями и эффективными проектами в этой области, невозможно без специалистов нанотехнологического профиля. Их подготовку следует рассматривать как составную часть инновационного образования, выпускающего кадры для экономики нового типа. При этом главными требованиями, предъявляемыми к будущим специалистам, являются высокий уровень профессиональных знаний и навыков и высокая инновационная активность.

Система инновационного образования должна формироваться в соответствии с рядом принципов, к важнейшим из которых относятся: непрерывность; опережение; многоступенчатость; преемственность; специализация; междисциплинарность; интеграция; селективность; потребность; конкурентоспособность; открытость [1—5].

Рассмотрим особенности этих принципов с учетом специфики формирования университетской системы подготовки специалистов в области нанотехнологий. Поскольку эта область науки развивается быстрыми темпами [6], нанотехнологическое образование в наивысшей степени отвечает принципу непрерывности, который предполагает постоянное обновление знаний. С каждым годом разрабатывается все больше новых наноматериалов, методов их получения и диагностики, открываются все более широкие возможности их практического применения. Соответственно, наблюдается резкий рост количества публикаций

на эту тему: если к 2002 г. в мире насчитывалось около 10 специализированных журналов, то в 2007 г. — уже около 50 [7, 8]. Кроме того, многие ведущие издания постоянно размещают статьи по нанотематике. В Беларуси исследования такого профиля печатаются в академических журналах «Материалы, технологии, инструменты», «Известия НАН Беларуси» (серии физико-технических, физико-математических и химических наук), «Трение и износ» и др. Очевидно, что назрела необходимость в отечественном специализированном научном журнале по нанотехнологиям. Кроме того, следует уделить внимание созданию и непрерывному совершенствованию учебно-методической базы (которая в белорусских вузах практически отсутствует), обеспечению высокого квалификационного уровня преподавателей в области нанотехнологий (которых у нас единицы) и соответствующей учебно-лабораторной техникой (что является главной по финансовым затратам проблемой).

Следует заметить, что постоянно возрастающий поток новых знаний в сфере нанотехнологий, нано- и микросистемной техники требует уточнения соответствующего понятийного аппарата, который пока еще находится в стадии становления, что создает дополнительные трудности в преподавании этих дисциплин [9]. Для их преодоления необходимо срочное издание соответствующих терминологических, в том числе многоязычных, словарей и справочников.

Принцип непрерывности находит свое продолжение в принципе опережения. Временной лаг между появлением новых знаний и их использованием в образовательном процессе должен быть минимальным, поэтому привлечение академических ученых — специалистов в области нанотехнологий к чтению лекций в вузах — актуальная задача, и существующие здесь законодательные ограничения на такое совмещение должны быть сняты. Более того, система образования должна формироваться на основе прогноза будущего, то есть приобретение знаний и освоение профессий следует осуществлять с учетом их перспективной значимости. Применительно к проблеме университетского нанотехнологического образования это означает, что необходимо готовить специалистов для работы не только в уже имеющихся нанотехнологических направлениях, но и в тех, которые пока еще зарождаются и могут появляться в

будущем. Понадобятся кадры не только для действующих организаций нанотехнологического профиля, но и для тех, которые планируется или обоснованно прогнозируется создать в будущем. Для этого требуется проводить постоянный мониторинг состояния нанотехнологических исследований и разработок, определять тенденции их развития, оценивать ожидаемые практические результаты. При этом крайне важно вовремя реагировать на изменения, которые намечаются в мире нанотехнологий, и вносить соответствующие корректировки и дополнения в учебные планы, программы, учебники, пособия так, чтобы их содержание носило опережающий, по меньшей мере на 3—5 лет, характер относительно уровня современных технологий. Представляется, что эту миссию планомерно должны выполнять профильные кафедры вузов, сотрудничая с НИИ и производственными фирмами. Задача последних — работать на развитие нанотехнологий, осваивая прорывные направления, а университетов — на опережающую подготовку специалистов в этой области нанотехнологий.

Непрерывное образование проходит через всю жизнь человека в виде последовательности следующих ступеней: средняя школа, вуз, магистратура, аспирантура, докторантура, система повышения квалификации и профессиональной переподготовки — в этом состоит суть принципа многоступенчатости, тесно связанного с принципом преемственности, который предполагает плавный переход от низшего образовательного уровня к высшему и обеспечивает в целом непрерывный качественный рост образованности человека. Преемственность подразумевает прежде всего согласованность учебных планов и программ всей цепочки, в которой лидирующая роль отводится университетам. С одной стороны, они, как правило, активно взаимодействуют со школами, уделяя значительное внимание профессиональной «наноориентации» учащихся, проведению школьных тематических конференций, популяризации знаний [7]. С другой

стороны, на базе университетов формируется система последиplomного нанотехнологического образования, включающая магистратуру и переподготовку. В частности, в рамках многоуровневой образовательной системы можно готовить кадры, владеющие базовыми нанотехнологическими знаниями, а затем, уже на уровне магистратуры, давать им специальную подготовку [10].

Нанотехнологии развиваются на стыке различных научно-технических направлений. Их фундамент строится на достижениях физики, химии и биологии, прежде всего тех разделов дисциплин, в которых изучаются объекты, состоящие из счетного числа атомов и молекул. Нанотехнологии имеют разнообразные практические приложения, которые, развиваясь самостоятельно, находятся в тесной взаимосвязи. Поэтому образование в этой сфере должно соответствовать, с одной стороны, принципу специализации, а с другой — междисциплинарности. Первый предполагает подготовку кадров по отдельным нанотехнологическим направлениям, второй — обладание базовыми знаниями, охватывающими довольно широкий по тематике спектр нанотехнологий. Следует заметить, что развитию междисциплинарного характера образовательного процесса мешает ряд препятствий, в частности традиционно сложившаяся административная автономия университетских факультетов и кафедр, узкая предметная ориентация, разрыв между учебными курсами [8, 11]. В связи с этим потребуются изменения в структуре вузов и целенаправленной подготовке преподавателей в области нанотехнологий, в частности при обучении студентов в рамках таких направлений, как наноэлектроника, наномедицина, нанобиотехнология и т.п. Например, в Московском государственном университете в октябре 2008 г. создан «надфакультетский» Научно-образовательный центр по наноматериалам и нанотехнологиям [8, 12]. Взаимосвязь специализированного и междисциплинарного подходов предполагает необходимость разработки принципиально

новых образовательных стандартов, планов и программ. При этом следует учитывать то обстоятельство, что по мере расширения спектра нанотехнологий все более будут востребованы специалисты нового типа, владеющие глубокими знаниями в одном из нанотехнологических сегментов и вместе с тем способные работать на стыке различных направлений.

Необходимое условие успешного развития нанотехнологического образования — реализация принципа интеграции, который предполагает укрепление взаимодействия образования, науки и производства (схема). Перспективная форма такой интеграции — учебно-научно-производственные нанотехнологические центры при ведущих вузах (на совместной базе университетов, НИИ и промышленных объектов), оснащенных современным регулярно обновляемым аналитическим и технологическим оборудованием, которым могут пользоваться и вузы, и научно-исследовательские институты, и фирмы [7, 10, 13]. В Белорусском национальном техническом университете начаты работы по созданию Научно-образовательного центра нанотехнологий: функционируют лаборатории нанодиагностики и самоорганизующихся моно- и мультимолекулярных пленок, завершаются проектные работы по созданию первой в стране лаборатории газовой наносенсорике.

Подготовка специалистов в означенной области должна осуществляться с учетом потребностей рынка труда. С одной стороны, спрос на них будет возрастать по мере развития нанотехнологий, а с другой — для обеспечения этого процесса необходимо заблаговременно готовить соответствующие кадры [7, 8]. В ведущих странах наноиндустрия достигла таких масштабов, что на ее основе осуществляется массовое открытие рабочих мест. С принципом потребности тесно связан принцип конкурентности, обусловленный острым соперничеством на рынке образовательных услуг, а также принцип селективности, предусмат-

ривающий использование селективного подхода к подготовке кадров [1]. Как правило, даже высокоразвитые государства не в состоянии вести в равной мере исследования по всем выкристаллизовавшимся и имеющим зримую перспективу нанотехнологическим направлениям, поэтому возникает необходимость сфокусировать финансовые ресурсы на приоритетных работах, учитывающих «точки роста», где уже имеются значительные заделы и в ближайшие годы просматривается возможность получения результатов, важных для коммерческих предложений [14]. Это потребует технологического прогнозирования развития nanoисследований и разработок.

Глобализационные процессы создают условия для реализации принципа открытости нанотехнологического образования, предполагающего прозрачность государственных границ в данной сфере. Сегодня нанотехнологиями занимается около 50 стран [15]. С каждым годом расширяется кооперация между различными учебными учреждениями, государственными и международными образовательными системами в области подготовки кадров для нанотехнологий. Белорусские вузы только начинают включаться в этот процесс.

Лидирующие позиции в развитии нанотехнологий занимают США, государства Западной Европы, Япония, Китай, Россия, где уделяется значительное внимание вопросам образования по этому профилю [16]. В разных странах практика подготовки кадров для нанотехнологий может иметь свои особенности [7]. В ряде европейских университетов реализуются узконаправленные образовательные программы по отдельным нанотехнологическим областям, в американских, наоборот, нанотехнологии рассматриваются как часть базового профессионального образования, которое получают выпускники различных профилей — инженеры, физики, химики, биологи и т.д. Подобный подход характерен и для России, где разработан ряд программ, ориентированных на получение комплексного образования исследователями, преподавателями, метрологами, специалистами по сертификации и аттестации систем менеджмента качества производства и продукции, патентоведомы и другими категориями работников nanoиндустрии с учетом специфических особенностей их деятельности [14].

Обычно подготовка кадров в области нанотехнологий осуществляется на базе создаваемых при университетах нанотехнологических научных центров [8].

Как правило, каждый из них имеет специфическую направленность научных исследований. Так, в США Центр при Калифорнийском университете в Санта-Барбаре занимается изысканиями в области квантовых структур и бионаноматериалов; Центр при Висконсинском университете изучает свойства нанополупроводников; Центр при Университете Нотр-Дам проводит фундаментальные работы по функциональным возможностям различных видов наносистем. Особой организационной структурой отличается центр, состоящий из научных групп нескольких университетов (Аризонского, Пардю, Стэндфордского, Иллинойского и др.), который разрабатывает проблемы моделирования в нанoeлектронике. Специфика научных исследований, осуществляемых в таких структурах, находит свое отражение в тематике учебных курсов по нанотехнологиям: «Нанотехнология» — Вирджинский университет, «Химия и физика наноматериалов» — Вашингтонский, «Наноразмерная физика», «Сканирующие зонды и исследование наноструктур» — Университет Клемсон, «Наноструктурные материалы» — Политехнический институт Ренселлера, «Перспективные квантовые устройства» — Университет Нотр-Дам, «Создание наночастиц и наноструктурных материалов методами коллоидной химии» — Университет Кларксона [8].

В России нанотехнологическое образование получило развитие в нескольких десятках высших учебных заведений, расположенных в Москве, Санкт-Петербурге и других регионах [13, 16–18]. Подготовка кадров ведется по специальностям: «Наноматериалы», «Нанотехнология в электронике», «Микросистемная техника», «Микро- и нанороботы», «Технологии получения и использования наноструктурированных материалов и покрытий», «Метрологическое обеспечение нанотехнологий», «Нанотехнологии в машино- и приборостроении», «Нанобиотехнологии» и др. Для организации образовательного процесса в университетах создаются специализированные кафедры нанотехнологического профиля или



же факультеты (например, факультет нанотехнологий и информатики МФТИ).

В российских вузах уделяется значительное внимание развитию различных форм связи нанотехнологического образования с наукой и практикой. Так, МИФИ заключил договор с Российским научным центром «Курчатовский институт» об организации научно-образовательного центра «Подготовка кадров для нанотехнологий, атомной науки и промышленности» [18]. В Уральском государственном университете действует Центр коллективного пользования «Современные нанотехнологии», созданный при поддержке областного правительства по межведомственному принципу. Его научно-технический совет включает представителей академических институтов и отраслевых вузов, производственных фирм [19]. Специализированный учебно-научный центр нанотехнологий работает при Новосибирском государственном университете [20]. В Санкт-Петербурге активную роль в развитии нанотехнологического образования играет Институт химии силикатов РАН, на базе которого созданы кафедры ряда вузов — СПбГУ, СПбТИ, СПбЭТУ, СПбИТМО, где ведется обучение студентов по различным нанотехнологическим направлениям [13].

В Беларуси образование в этой сфере делает пока первые шаги. С 2003 г. многие университеты включились в выполнение заданий государственной программы научных исследований по нанотехнологиям [22]. Это способствует повышению уровня квалификации работников НИИ и преподавателей вузов. В Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники в 2001 г. создан первый в республике научно-исследовательский центр нанозлектроники, на протяжении ряда последних лет преподается учебный курс по нанозлектронике для студентов специальности «Микроэлектроника». В 2007 г. в Белорусском национальном техническом университете на приборостроительном факультете

образована специализированная кафедра нанотехнологического профиля — микро- и нанотехники. На первом этапе в рамках существующей специальности «Технология материалов и компонентов электронной техники» открыта специализация «Технологии нано- и микросистемной техники». В прошлом году появилась новая специальность — «Микро- и наносистемная техника» — с тремя специализациями: «Микросистемная техника», «Нанозлектромеханические системы и машины», «Сенсорные микросистемы». По ним в БНТУ на 2009—2010 учебный год принято 57 первокурсников. Среди новых дисциплин — физика нано- и микросистем, конструирование и расчет компонентов микросистемной техники, микросистемные устройства в механизмах и машинах, технология наносборки, индустриальные нанотехнологии, физические основы сенсорики, технология производства сенсоров и др. К чтению лекций привлечены ведущие отечественные ученые в области микро- и наносистемной техники из институтов НАН Беларуси, специалисты профильных производственных структур. Различные виды практик, лабораторных работ, курсовые и дипломные проекты выполняются в созданных филиалах кафедры в ИТМО НАН Беларуси и НИИ радиоматериалов Госкомвоенпрома. По принципу взаимной дополнителности учебный процесс и его наполнение координируется (пока, точнее, самоорганизуется) с соответствующими кафедрами Белгосуниверситета и БГУИРа.

Белорусской системе нанотехнологического образования еще предстоит пройти путь становления. Предстоит большая совместная работа науки, образования, бизнеса и органов управления страны для насыщения развивающегося нанотехнологического рынка квалифицированными специалистами, способными создавать отечественное производство широкой номенклатуры нанотехнологической продукции, остро востребованной и пока импортируемой.

Литература

1. Инновационная деятельность и научно-технологическое развитие: В.М. Анищик, А.В. Русецкий, Н.К. Толочко. — Мн., 2005.
2. Русецкий А.В., Толочко Н.К. Инновационные подходы к триаде «образование — наука — производство» // Матер. межд. форума «Инновационные технологии и системы». — Мн., 2006. С. 124—126.
3. Урсул А. Опережающее образование как методология, теория и механизм национальной безопасности России в XXI веке // Безопасность Евразии. 2005, №4. С. 41—90.
4. Карпов С. Реализация концепции непрерывного обучения в отраслевой системе образования Росатома // ВВШ. 2005, №11. С. 19—24.
5. Акули М. Глобализация и образование // Безопасность Евразии, 2006, №2. С. 146—160.
6. Наноматериалы и нанотехнологии / В.М. Линсик [и др.]. — Мн., 2008.
7. Весна нанотехнологического образования // Ректор вуза. 2007, №6. С. 24—29.
8. Андриевский Р.А., Хачоян А.В. Послесловие к кн.: Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований: Пер. с англ. — М., 2002.
9. Шевченко В.Я. О терминологии: наночастицы, наносистемы, нанокомпозиты, нанотехнологии // В кн. Нано- и микросистемная техника. От исследования к разработке. Сб. ст. под ред. П.П. Малышева. — М., 2005. С. 47—50.
10. Доклад министра образования и науки Российской Федерации А.А. Фурсенко на заседании Правительства по нанотехнологиям 21 июня 2007 г. // <http://eng.mon.gov.ru>.
11. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию: Пер. с японск. — М., 2005.
12. Научно-образовательный центр по нанотехнологиям МГУ // <http://www.nano.msu.ru/education/courses/basics>.
13. Шевченко В.Я. Подготовка кадров в области наукоемких технологий неорганического материаловедения // Дистанционное и виртуальное обучение. 2007, №8.
14. Фурсенко А.О развитии нанотехнологий в Российской Федерации. Из выступления на заседании Правительства Российской Федерации 07.09.2006 г. // Народное образование. 2006, №9. С. 17—20.
15. Подготовка кадров для nanoиндустрии // <http://www.ideg.ru/>.
16. На заседании Правительства Российской Федерации 17.01.2008 г. О научном и организационном обеспечении развития nanoиндустрии в Российской Федерации // <http://www.government.ru/>.
17. Основы прикладной нанотехнологии // <http://www.m-press.ru/>.
18. Курчатовский институт и МИФИ готовят кадры для нанотехнологий // <http://www.vz.ru/>.
19. Нанообъединение // <http://www.rg.ru/>.
20. Нанотехнологии в России и мире // <http://www.metodolog.ru/>.
21. Томские вузы активно готовят специалистов в сфере нанотехнологий // <http://www.osvic.ru/>.
22. Витязь П., Урбанович В. Наноматериалы в Беларуси и их применение // Наука и инновации. 2006, №7. С. 14—18.