

И.В. Жихарев,
кандидат физико-математических наук, г. Луганск
В.И. Ляшенко,
кандидат экономических наук, г. Донецк

НАНОТЕХНОЛОГИИ В МИРЕ И УКРАИНЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В обозримом будущем нанотехнологии способны совершить без преувеличения переворот в обществе, превышающий по своим масштабам последствия широкого распространения компьютеров. Это четко осознали США, Япония, Германия и Китай. Украина пока не определилась, но еще может сказать свое веское слово. История развития бизнеса, связанного с разработкой и применением новых материалов, свидетельствует о цикличности этого процесса, с периодом приблизительно в 50 лет. Например, начало 20-го века ознаменовалось прорывом в промышленности, связанным с применением полимеров и легких сплавов. Бурное развитие индустрии после Второй мировой войны было вызвано разработками в области полупроводников и радиоактивных материалов. Это привело к возникновению и формированию компьютерных, ядерных и космических технологий. Однако приблизительно с 80-х годов прошлого века в этих отраслях наметился определенный спад. Другими словами, начался так называемый период исчерпания идей. Начиная с 2000 года в сфере высоких технологий наступила новая эра. Многие мировые и украинские ученые связывают грядущий скачок в промышленности и других высокотехнологических сферах деятельности человека с нанотехнологиями.

За последние несколько лет в мировое сознание быстро вошло короткое слово с большим потенциалом — «нано-». Оно будит в воображении догадки о сильнейших сдвигах во всех аспектах науки и техники, имеет последствия для экономики, международных отношений и повседневной жизни. Многие видят в нанотехнологиях панацею от всех бед, многие — новый этап химических и биологических войн, а нередко и создание нового биологического типа, который заменит человечество. Инновационное развитие экономики предполагает первоочередное инвестирование в наукоемкие отрасли промышленности. Одним из приоритетных направлений для государственных и частных капиталовложений являются молекулярные технологии (нанотехнологии).

Так что же такое нанотехнология? Нанотехноло-

гия — это область прикладной науки, занимающаяся производством материалов и изделий сверхмалых размеров и изучающая свойства различных веществ на атомарном и молекулярном уровнях. Приставка «нано-» в термине «нанотехнология» произошла от слова «нанометр» (табл. 1), то бишь миллимикрон — единица измерения длины, равная одной миллиардной метра, или 10^{-9} (для сравнения: толщина человеческого волоса в среднем равна 50 000 нм) [16—18].

Таблица 1

Международная система единиц

Частица		Обозначение	
		Украинское	Международное
10^{-1}	деци-	д	d
10^{-2}	санти-	с	c
10^{-3}	милли-	м	m
10^{-6}	микро-	мк	μ
10^{-9}	нано-	н	n
10^{-12}	пико-	п	p
10^{-15}	фемто-	ф	f
10^{-18}	атто-	а	a

В работе [11] отмечается, что наиболее распространенным определением нанотехнологий является следующее: нанотехнологии — это технологии «исследования, измерения и манипуляции с объектами на уровне атомов и молекул размером не более 100 нанометров (т.е. 10^{-7} м) и использования новых свойств этих объектов» [11, с. 58].

Исчерпывающего определения понятия «нанотехнология» пока не существует. По аналогии с микротехнологиями можно сказать, что нанотехнологии оперируют величинами порядка нанометра, т.е. одной миллиардной доли метра. Это ничтожно малая величина, в сотни раз меньше длины волны видимого света и сопоставимая с размерами атомов. Поэтому пере-

ход от «микро-» к «нано-» — не количественный, а качественный, означающий скачок от манипуляции с веществом к манипуляции отдельными атомами [1]. Приведем некоторые определения, используемые ниже в статье.

Нанотехнологии — совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты размером менее 100 нм хотя бы в одном измерении и в результате этого получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба; в более широком смысле этот термин охватывает также методы диагностики, характерологии и исследования таких объектов.

Наноматериал — материал, содержащий структурные элементы, геометрический размер которых хотя бы в одном измерении не превышает 100 нм, и благодаря этому обладающий качественно новыми свойствами, в том числе заданными функциональными и эксплуатационными характеристиками.

Наносистемная техника — созданные полностью или частично на основе наноматериалов и нанотехнологий функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинальным образом отличаются от характеристик систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям.

Наноиндустрия — вид деятельности по созданию продукции на основе нанотехнологий, наноматериалов и наносистемной техники.

При упоминании о наноматериалах и нанотехнологиях имеется в виду широчайший спектр не всегда напрямую связанных между собой проблем в различных областях науки и техники, где уже используются соответствующие технологии и методы. Поэтому целесообразно рассматривать нанотехнологии не как единое целое, а как обобщенное понятие, конкретизируемое применительно к решению соответствующих задач. Например, в соответствии со сложившейся в России практикой применения перечней критических технологий федерального и ведомственного уровней [19] этот термин охватывает наноматериалы, элементы наноэлектроники и другие технические решения в данной области. Нанотехнологии и наноматериалы оказывают революционизирующее воздействие на развитие информационных и телекоммуникационных технологий, биотехнологий, средств безопасности и борьбы с терроризмом и на многие другие аспекты деятельности человечества.

Развитию нанотехнологии — научно-технологического направления, сформировавшегося на стыке

физики, химии, биологии, медицины и материаловедения, — придается огромное значение во всех развитых в техническом отношении странах. Ожидаемое к 2015 г. широкое промышленное применение нанотехнологий внесет серьезные экономические и социальные изменения в жизнь всего человечества.

За рубежом работы в этой области стремительно развиваются в течение последних лет в рамках ряда приоритетных программ правительств Японии, США, Германии, Франции, Китая и других стран. За последние годы десятки стран приняли национальные программы развития нанотехнологий как высший, национальный приоритет. По данным консалтинговой компании «Lux research», в 2004 г. правительства, корпорации и частные предприниматели по всему миру потратили около 9 млрд долл. на научно-исследовательские работы в области нанотехнологий, число зарегистрированных патентов приближается к 90 тыс. Ежегодное государственное финансирование исследований и разработок в этой области, по оценкам некоторых экспертов, составляет в Европейском союзе около 800 млн евро, в США — около 800 млн долл., в Японии — до 500 млн долл., в Китае — более 100 млн долл. По прогнозу Национального фонда науки США (National science foundation), к 2015 г. годового оборот рынка нанотехнологий достигнет 1 трлн долл. [16].

История открытия

Для примирения различных точек зрения праотцом нанотехнологий признан древнегреческий философ Демокрит, который в 400 году до н. э. ввел термин «атом» в значении неделимой частицы материи.

Отцами нанотехнологий сегодня величают нескольких ученых.

Еще 70 лет назад советский физик-теоретик Георгий Гамов впервые получил решение уравнений Шредингера, описывающее возможность преодоления частицей энергетического барьера в случае, когда ее энергия меньше его высоты. Новое явление, называемое туннелированием, позволило объяснить многие экспериментально наблюдавшиеся процессы. Найденное решение было применено для описания процессов, происходящих при вылете частицы из ядра, составляющих основу атомной науки и техники, в том числе нанотехнологии. По мнению многих ученых, грандиозные результаты работ Г.Гамова, ставших основополагающими для многих наук, следовало бы отметить несколькими Нобелевскими премиями.

Развитие электроники привело к использованию процессов туннелирования лишь почти 30 лет спустя, в середине 50-х годов, когда появились туннельные диоды, открытые японским ученым Л.Есаки, ставшим Нобелевским лауреатом. Еще через 5 лет Юрий Ти-

ходеев, руководитель сектора физико-теоретических исследований в московском НИИ «Пульсар», предложил первые расчеты параметров и варианты применения приборов на основе многослойных туннельных структур, позволяющих достичь рекордных по быстрдействию результатов. В середине 70-х годов XX в. они были успешно реализованы.

Однако отцом нанотехнологий считают американского физика Ричарда Фейнмана, высказавшего в 1959 г. мысль, что «принципы физики... не говорят о невозможности манипулирования веществом на уровне атомов». Он 29 декабря 1959 года поставил перед собранием Американского общества физиков вопрос: «Почему мы не можем написать все 24 тома энциклопедии Britannica на кончике шпильки?» Фейнман теоретически обосновал возможность использования атомов в качестве строительных частиц. Впрочем, до практического воплощения прошло не одно десятилетие. Конечно, подобные идеи существовали и ранее, но среди ученых такого уровня (в 1965 г. Р.Фейнману присуждена Нобелевская премия) он был первым, кто указал на это. Лекция, в которой прозвучала приведенная цитата, посвящалась миру тонких материй и называлась «Там внизу много места» [2]. В ней говорилось о таких во многом и сегодня фантастических применениях нанотехнологий, как изготовление веществ физиком по заказу химика с помощью перемещения отдельных атомов на «нужные» позиции. Однако уровень развития науки и техники 50-х годов не позволял обсуждать всерьез возможное целенаправленное влияние на отдельные атомы.

Среди корпораций «первой нанотехнологической» считает себя IBM. В 1981 г. двое физиков — Герд Бинниг и Генрих Рорер — в лаборатории корпорации изобрели микроскоп, который позволял сканировать и видеть атомы. Дальнейшая модернизация устройства дала возможность Биннигу не только наблюдать за частицами, но и манипулировать ими. То есть перелом наступил после изобретения в 1981 г. Г.Биннигом и Г.Рорером, учеными из швейцарского отделения IBM, сканирующего туннельного микроскопа — прибора, дающего возможность воздействовать на вещество на атомарном уровне. В 1986 г. был создан атомно-силовой микроскоп, позволяющий в отличие от туннельного осуществлять взаимодействие не только с проводящими, но и с любыми материалами [3]. При помощи туннельного микроскопа стало возможным «подцепить» атом и поместить его в нужное место, т.е. манипулировать атомами, а следовательно, непосредственно собирать из них любой предмет, любое вещество. Изобретатели получили Нобелевскую премию. В 1990 году также в лаборатории IBM другие ученые — Дон Айглер и Эрхард Швейцер — представили

нанофотографию, на которой присутствующие увидели логотип IBM, выложенный атомами ксенона на поверхности никелевого монокристалла.

Параллельно со специалистами IBM работали и отцы теории «серой слизи» — Эрик Деркслер, высказавший свои предостережения по поводу возможных последствий использования нанотехнологий в 1986 году, и американский ученый Ричард Смолли, представивший в 1985-м так называемый бакиболл — конструкцию из 60 атомов углерода, составленных в форме футбольного мяча.

Стремительное развитие науки и техники, осуществляемое на основе развития нанотехнологий, называют наноиндустриальной революцией.

В Японии ежегодно ведутся работы примерно по 12 нанотехнологическим проектам. Крупнейшим в 1992 г. был «Angstrom Technology Project» — самый значительный из серии проектов, направленных на разработку приборов нанометрового размера (стоимость 185 млн долл., рассчитан на 10 лет). В его реализации участвовали 50—80 фирм. Проведена реорганизация четырех министерских лабораторий в исследовательском центре «Цукуба», а также создан новый междисциплинарный центр по исследованиям в данной области.

Можно отметить также проект «Atom Craft Project», связанный с атомной сборкой, проект квантовых функциональных приборов и др. По словам их руководителей, они формируют технологию XXI в. и планируют заложить основу для технологии терабитных кристаллов. С 1994 г. начинается применение нанотехнологических методов в промышленности.

Из пяти направлений научных программ с 1995 г. главным является создание функциональных приборов на основе наноструктур. В ряде специализированных журналов опубликовано большое число новых работ, посвященных нанотехнологическим комплексам, применению их для конструирования нанороботов и использованию не только на Земле, но и в космосе.

Во Франции открыт клуб нанотехнологов, объединяющий ученых и промышленников различных отраслей. В Великобритании издаются журналы «Нанотехнология» и «Нанобиология», а в 1998 г. состоялась V Международная конференция по данным проблемам.

Менее фантастическими выглядят сценарии будущих нановойн — все развитые страны сейчас выделяют немалые бюджеты на оборонные разработки именно в этой сфере. Сверхточные системы наведения и контроля, новейшие материалы — все эти наработки имеют осязаемый милитаристский подтекст. В Китае сегодня работает около 800 компаний, занимающихся

внедрением нанотехнологий, и более 100 профильных научно-исследовательских институтов — абсолютное большинство из них ориентировано на удовлетворение нужд оборонно-промышленного комплекса КНР.

Будущее нанотехнологий в значительной мере зависит от того, насколько эффективной будет PR-поддержка этих разработок в ближайшее время. Ответственные кампании против применения фреона в холодильниках и асбеста в строительстве в Европе полностью заблокировали использование этих материалов. Подобные угрозы ожидают и фирмы, которые сейчас занимаются коммерциализацией нанотехнологий. Они не могут пожаловаться на недостаток внимания к своим разработкам: по исследованиям Lux Research, количество публикаций о новейших технологиях в середине 90-х измерялось несколькими сотнями в год, сейчас их количество превышает 10 тыс. в год. Вопрос только в том, что далеко не каждое упоминание о наноразработках идет на пользу адептам молекулярных технологий.

Одной из наиболее распространенных и пригодных к конвейерному производству технологий является так называемая нанотрубка — конструкция из атомов углерода, которая может выполнять множество функций в электронике. Она может быть проводником или полупроводником электрического тока, заменить транзисторы — многие ведущие компании уже начали использовать такие трубки в своих устройствах. Ни один из существующих до сих пор материалов не имеет такого набора механических, электромагнитных и оптических свойств, как нанотрубка толщиной в волос. Впрочем, у этого ноу-хау уже сейчас есть критики. Сначала появилась информация о том, что нанотрубка имеет структуру, подобную асбесту, представляющему потенциальную угрозу распространения легочных болезней. В США был обнародован отчет NASA, в котором говорилось об эксперименте, в ходе которого было установлено, что нанотрубки вызывают воспаление легких у контактирующих с ними лиц.

Подобные инциденты ставят под сомнение безоблачное и сверхприбыльное будущее нанотехнологий. Если в Японии применение нанотрубок и подобных разработок уже сегодня является реальностью, то в США и Европе, которые в данный момент кое в чем уступают японцам на нанорынке, успех этих продуктов не гарантирован. Во-первых, тамошние корпорации заинтересованы в том, чтобы оградить национальные рынки от «самураев». Во-вторых, давление экологических организаций на Западе является довольно ощутимым фактором экономической политики.

На Востоке наноконпании ожидают препятствия иного плана. В патерналистских азиатских общинах

едва ли найдут широкое распространение такие разновидности нанотехнологий, как клонирование, имплантаты, вживляемые в человеческое тело, косметические ноу-хау по омоложению кожи и других органов. Отдельные технологии могут столкнуться с организованным сопротивлением глобального уровня. Одно из направлений развития нанотехнологий — разработка новых видов топлива. На атомно-молекулярном уровне в будущем, возможно, смоделируют новые разновидности энергоносителей, которые могут составить конкуренцию традиционным. Определенные наработки по системам, работающим на водороде, имеются уже сегодня. Если нанотехнологии позволяют создавать системы безопасного хранения водорода, то создание автомобилей, работающих на водородных элементах, станет реальностью. Новые топливные элементы позволяют ноутбуку работать без подзарядки месяц, а мобильному телефону — год. Такие перспективы едва ли по душе нефтяным корпорациям и производителям традиционных элементов питания. К тому же эти компании имеют немалый финансовый потенциал, который позволит им в случае необходимости развернуть в СМИ массивное наступление на неприемлемые для них нанотехнологии.

Ощутимый удар нанотехнологиям могут нанести индустрии производства моющих средств. Сегодня мировой «рынок чистоты» имеет объем \$36 млрд. Появление новых устойчивых к загрязнению и повреждению материалов уменьшает потребность в моющих средствах. Так называемая «наноодежда» (когда ткань имеет соответствующее стойкое покрытие) на 25% устойчивее к загрязнению, чем обычная, так что и средств на ее стирку, по предварительным подсчетам, понадобится на четверть меньше (рис. 1).

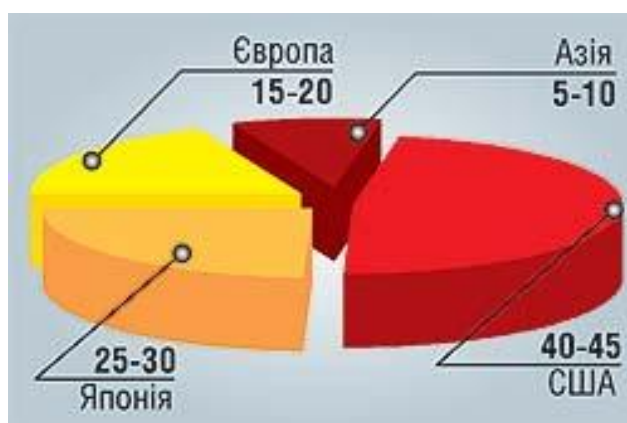


Рис. 1. Раздел рынка нанотехнологий, % [28]

В настоящее время известно свыше 16 000 нанотехнологических компаний, они наиболее активны в следующих областях (рис. 2):



Рис. 2. Сферы использования нанотехнологий, % [28]

Ведь что такое нанотехнология? Нанотехнология — создание новых веществ с запрограммированными человеком свойствами. Поэтому активное применение нанотехнологий изменит само понятие о веществе, как компьютеры и сети изменили само понятие об информации. Уделом nanoиндустрии является не создание принципиально новых вещей, а вывод за счет использования новых материалов на принципиально новый уровень вещей, уже имеющихся. Компьютеры и сетевые технологии подготовили почву для нанотехнологической волны. Она изменит мир, но нельзя сказать, что нанотехнологичный мир будет лучше или хуже — просто он будет совсем другим.

Развитие нанотехнологий в России

Что касается России, то по масштабам фундаментальных и прикладных исследований в области нанотехнологий она отстает от ведущих стран. Тем не менее в ряде институтов Российской академии наук проводятся серьезные работы в этой сфере. Так, в Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе под руководством Нобелевского лауреата Ж.Алферова осуществляются передовые разработки наногетероструктур, получившие международное признание (об этом свидетельствует проведение в институте в июне 2001 г. X Международной конференции «Наноструктуры: физика и технологии»). Значительные результаты нанотехнологических исследований достигнуты в Институте проблем технологии и макроэлектроники под руководством В.Аристова, а также в ФИАНе под руководством Ю.Коваева.

Фундаментальные исследования в области хими-

ческих технологий позволили получить нанокристаллические (НК) и сверхмикрорекристаллические (СМК) материалы с размером зерен менее 1 микрометра, обладающие комплексом особых физико-химических и механических свойств. Они могут успешно использоваться в экстремальных условиях эксплуатации — при низких температурах, в зоне интенсивного радиационного излучения, в высоконагруженных конструкциях и агрессивных средах. На основе НК- и СМК-структур можно создать металлические и интерметаллические материалы с высокими демпфирующими свойствами, высокопрочные и сверхлегкие металл-полимерные композиты для применения в высокоэцетивных постоянных магнитах, высоковольтных контактах, катализаторах и фильтрующих элементах, а также в медицине для изготовления сверхпрочных, сверхлегких, коррозионно-стойких имплантатов.

В области прикладных нанотехнологических исследований можно отметить работы, проводимые корпорацией МДТ (Molecular Device Tools for Nanotechnology), которая была создана в 1991 г. в Зеленограде группой выпускников Московского физико-технического института. Основные направления бизнеса корпорации — молекулярные технологии.

Дочерняя компания корпорации НТ-МДТ специализируется на оборудовании для молекулярной технологии — сканирующих зондовых микроскопах (СЗМ), изделиях кремниевой микромеханики для нанотехнологий, установках для исследования и формирования пленок Ленгмюра-Блоджетт. В настоящее время корпорацией производится СЗМ третьего поколения: СОЛВЕР-Р4, высоковакуумный СОЛВЕР-37-UHV, широкопольный зондовый микроскоп СОЛВЕР-34-SPMLS-MDT для контроля качества матриц, применяющихся при производстве компакт-дисков и др. Будучи не только измерительными приборами, но и инструментами, с помощью которых можно формировать и исследовать наноструктуры, зондовые микроскопы призваны стать базовыми физическими метрологическими инструментами XXI в.

В России целевое бюджетное финансирование работ в области наноматериалов и нанотехнологий осуществляется с начала 90-х годов прошлого века в рамках нескольких программ, которые входят как соответствующие разделы в ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники», ФЦП «Национальная технологическая база» и в ряд других программ. Государственная поддержка этих работ, хотя и несоизмеримая по масштабу с финансированием в развитых странах, способствовала развитию этого перспективного направления, позволила сохранить научный потенци-

ал, довольно высокий уровень исследований и лидирующие позиции в некоторых областях нанонауки.

Хотя работы в области нанотехнологий в России проводятся начиная с 70-х годов прошлого века, системность в их организации появилась только в последнее время, когда по инициативе еще Минпромнауки была разработана и принята Правительством Российской Федерации Концепция развития работ в области нанотехнологий до 2010 года. Федеральная целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники» на 2002—2006 годы (ФЦНТП) — была одним из главных источников финансирования работ в области нанотехнологий. Из шести приоритетных направлений этой программы *индустрия нанотехнологий и материалы* являлась самой приоритетной, если судить по количеству направляемых сюда средств — на ее долю приходится почти треть (31,4%) всех средств ФЦНТП. Следует отметить, что наряду с бюджетным финансированием привлекаются и существенные внебюджетные средства (всего 890 млн руб. в 2005 г.) [20]. В этом направлении сконцентрировано большинство (24 из 36) мероприятий программы. Структурно направление состоит из двух крупных блоков — научно-исследовательского и инфраструктурного, направленных на обеспечение инновационного пути создания и подготовки к освоению нанотехнологий. Это свидетельствует о системном подходе к решению этих задач, начиная от проведения проблемно ориентированных исследований и заканчивая получением коммерчески значимых результатов.

Особое значение имеют комплексные и важнейшие инновационные проекты, выполняемые по проблеме нанотехнологий. По направлению *индустрия нанотехнологий и материалы* в составе ФЦНТП выполняются четыре важнейших инновационных проекта государственного значения: 1) разработка и освоение производства приборов и оборудования для нанотехнологий (исполнитель — ЗАО «НТ-МДТ», Москва, г. Зеленоград, срок — 2003—2006 гг.); 2) разработка технологий и организация производства полимерных композиционных материалов на основе нанонаполнителей с повышенным в 1,5—2 раза сроком эксплуатации (исполнитель — ООО «ХайТек Консалтинг», г. Казань, срок — 2004 — 2007 гг.); 3) создание технологий и освоение промышленного производства металлических материалов с двукратным повышением важнейших эксплуатационных свойств (исполнитель — ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов “Прометей”», г. Санкт-Петербург, срок — 2003—2006 гг.); 4) разработка базовой ресурсо- и энергосберегающей технологии и конструкции реакторов с нанопористыми каталитически-

ми мембранами для переработки легкого углеводородного сырья (исполнитель — Ассоциация делового сотрудничества в области передовых комплексных технологий «Аспект», г. Москва, срок — 2005—2007 гг.).

Если основываться на экспертных оценках объема средств, выделяемых на исследования и разработки по нанотехнологиям, то оказывается, что этот объем примерно соответствует тому, что расходуется на это направление в развитых странах. Сохранение и поддержание статуса любой страны во многом зависит от уровня развития науки и технологий, который в новых геополитических и социально-экономических условиях стал одним из ключевых факторов обеспечения как лидерства государств на мировой арене, так и их национальной безопасности. Однако внимание со стороны государства к проблемам, связанным с работами по наноматериалам и нанотехнологиям, следует признать недостаточным, если учесть, что уже в недалеком будущем развитие высокотехнологичных отраслей экономики (электроника, связь и др.) и социальной сферы (медицина, охрана окружающей среды и др.), определяющее уровень развития страны, ее обороноспособность и национальную безопасность, будет в значительной степени обусловлено достижениями в рассматриваемой области.

Участниками круглого стола 31 марта 2005 г., организованного в России комитетом Совета Федерации по науке, культуре образованию и экологии на тему «Проблемы законодательного регулирования и государственной политики по развитию нанотехнологий в Российской Федерации» [17], были сформулированы рекомендации Федеральному собранию, правительству и министерствам, в числе которых: 1) разработка концепции государственной поддержки приоритетного развития нанотехнологий в России с финансовой поддержкой из средств Стабилизационного фонда; 2) целевое финансирование работ по развитию нанотехнологий из федерального бюджета начиная с 2006 г.; 3) внесение изменений в Налоговый и Таможенный кодексы с целью освобождения организаций, занятых в индустрии нанотехнологий, от налога на имущество, земельного налога, налога на прибыль в части, направляемой на приобретение оборудования и приборов, и др.; 4) организация центров коллективного пользования по развитию нанотехнологий, исследованию наночастиц, наноструктур и нанокомпозитов с приданием им статуса федеральных (в числе предлагаемых центров указана Сибирская ассоциация центров коллективного пользования); 5) целевая подготовка специалистов в области нанотехнологий; подготовка нормативно-правовых актов, регулирующих инвестиционные отношения в сфере наноиндустрии; 6) расширение возможностей меж-

дународного сотрудничества на уровне научных и производственных структур, занятых в сфере нанотехнологий.

О шансах России на лидерство в области нанотехнологий и необходимости разработать программу научных исследований в этой области говорил, выступая с ежегодным посланием Федеральному собранию 10 мая 2006 г., Президент Российской Федерации Владимир Путин: *«Россия может стать и одним из лидеров в нанотехнологиях. Это одно из самых перспективных направлений и путь развития энергосбережения, элементной базы, медицины, робототехники. Считаю необходимым в ближайшее время разроботать и принять действенную программу в этой области... Нам нужна в целом сегодня такая инновационная среда, которая поставит производство новых знаний на поток. Для этого нужно создать и необходимую инфраструктуру: технико-внедренческие зоны, технопарки, венчурные фонды, инвестиционный фонд»*. Федеральным агентством по науке и инновациям разработана Концепция развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий до 2010 года, одобренная правительством страны (18 ноября 2004 г.) [21]. Эта концепция и меры по ее реализации будут положены в основу разработки государственной технологической политики в области формирования основ нанотехнологий как вида экономической деятельности государственных и негосударственных научных и научно-производственных организаций с целью создания высокотехнологичных производств, опирающихся на полученные результаты исследований и разработок в области наносистем.

В мае 2006 г. в Правительство России был представлен проект национальной программы развития работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 года [22], разработанной специалистами Министерства образования и науки совместно с учеными Российской академии наук. Координацией исследований в области нанотехнологий должна заниматься специально созданная национальная лаборатория, которая будет не только координировать саму научную работу, но и заниматься распределением средств на эти исследования.

Проект новой федеральной целевой программы направлен на формирование инфраструктуры для нанотехнологических исследований. Это оснащение оборудованием передовых научных организаций, университетов, поддержка патентования. Бюджет этой программы должен быть значительным — от 10 млрд руб. в год. Специализированный фонд в рамках программы развития нанотехнологий обеспечит развитие среднего бизнеса в этой сфере, в том числе приобретение

этим компаниями необходимого технологического и производственного оборудования, как российского, так и импортного.

В целом программа развития нанотехнологий исходит из следующих принципов: 1) финансирование должно быть направлено на поддержку научно-производственных структур, занимающихся удовлетворением спроса на нанотехнологическую продукцию, а не на поддержку научных исследований и разработок; 2) финансирование должно осуществляться на проектной основе, результат проектов — внедрение новых технологий и создание новой коммерчески реализуемой продукции; 3) финансирование должно стимулировать коммерциализацию наиболее перспективных разработок в сфере нанотехнологий в соответствии с потенциальным спросом; 4) должно быть обеспечено софинансирование на основе разделения рисков.

Нобелевский лауреат по физике Жорес Алферов заявил, что *«отсутствие четкого государственного регулирования в области нанотехнологий в России приведет к полному провалу самой перспективной отрасли, которая к 2015 г. окажет решающее влияние на развитие экономики, техники и науки России, в том случае если уже сейчас работа в нанотехнологической области будет жестко регулироваться»* [16, с. 44].

Вместе с тем, несмотря на отсутствие в России в настоящее время действующей федеральной государственной программы развития нанотехнологий, в научно-технологических программах различного уровня имеются важные компоненты программных мероприятий в данной отрасли (табл. 1).

Так, распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 июля 2006 г. № 977-р утверждена Концепция федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 — 2012 годы» [23]. В соответствии с принципом преемственности этой программы по отношению к ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002—2006 годы предлагается перечень пяти приоритетных направлений, и в том числе «индустрия наносистем и материалы».

В соответствии с Основами политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу, утвержденными Президентом России 30 марта 2002 г., в Перечень критических технологий Российской Федерации включен ряд направлений, связанных с наноматериалами и нанотехнологиями [19]. Большинство критических технологий перечня носит обобща-

Основные действующие в России программы развития наноматериалов, наносистем и нанотехнологий [16, с. 44]

Ведомство	Направление работ			
Российская академия наук	нанoeлектроника и приборная база для нанотехнологий	наноматериалы	микро- и наносистемная техника	нанохимические, нанобиологические исследования и разработки
Министерство образования и науки России	подпрограмма «Электроника»	подпрограмма «Новые материалы»	Подпрограмма «Производственные технологии»	подпрограмма «Химические технологии»
	научно-техническая программа «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники»			
	федеральная целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники»			
Министерство промышленности и энергетики России	федеральная целевая программа «Национальная технологическая база»; инновационный проект «Разработка и освоение производства приборов и оборудования для нанотехнологий»			
Российский фонд фундаментальных исследований	работы в области нанокластеров и наноструктур, металлических наноструктур, органических (углеводородных) материалов, полупроводниковых структур			

ющий характер, своей тематикой охватывают несколько разделов Государственного рубрикатора научно-технической информации (ГРНТИ), но не имеют конкретного отражения ни в одном из разделов, что затрудняет привязку критической технологии к конкретному разделу рубрикатора. К тому же в нем отсутствует само понятие «нанотехнология» [24].

В связи с принятием в России Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [25], регулирующего отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации; разработке, принятии, применении и исполнении на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг; оценке соответствия, необходима разработка классификации нанотехнологий.

Решение проблем технического регулирования требует тщательной проработки, учитывая, что нанотехнологии являются новым направлением науки, техники и технологий. В. Ю. Корчак [18] предлагает классификацию нанотехнологий, обобщающую накопленную за последние годы информацию о данной пред-

метной области и учитывающую прогноз развития нанотехнологий на перспективу. Предлагаемая классификация учитывает признаки, специфические для технологий в целом и нанотехнологий в частности, ее структура позволяет делить классификационные признаки на более мелкие подразделения и вносить дополнения по мере выявления новых свойств технологий.

Основными целями предлагаемой классификации являются: 1) установление классификационных группировок, обеспечивающих упорядоченное отображение информации о нанотехнологиях; 2) установление номенклатуры технических характеристик и параметров технологий; 3) подготовка исходных данных для технического регулирования развития нанотехнологий.

Для нанотехнологий наиболее общими признаками (рис. 3) являются: 1) научно-технологическое направление (нанoeлектроника, наномеханика, наноматериалы и нанохимия); 2) принадлежность к критической технологии (материалы для микро- и нанoeлектроники; прецизионные и нанометрические технологии обработки, сборки, контроля: микросистемная техника; синтетические сверхтвердые материалы; элементная база микроэлектроники и квантовых компьютеров; базовые и критические военные и специ-

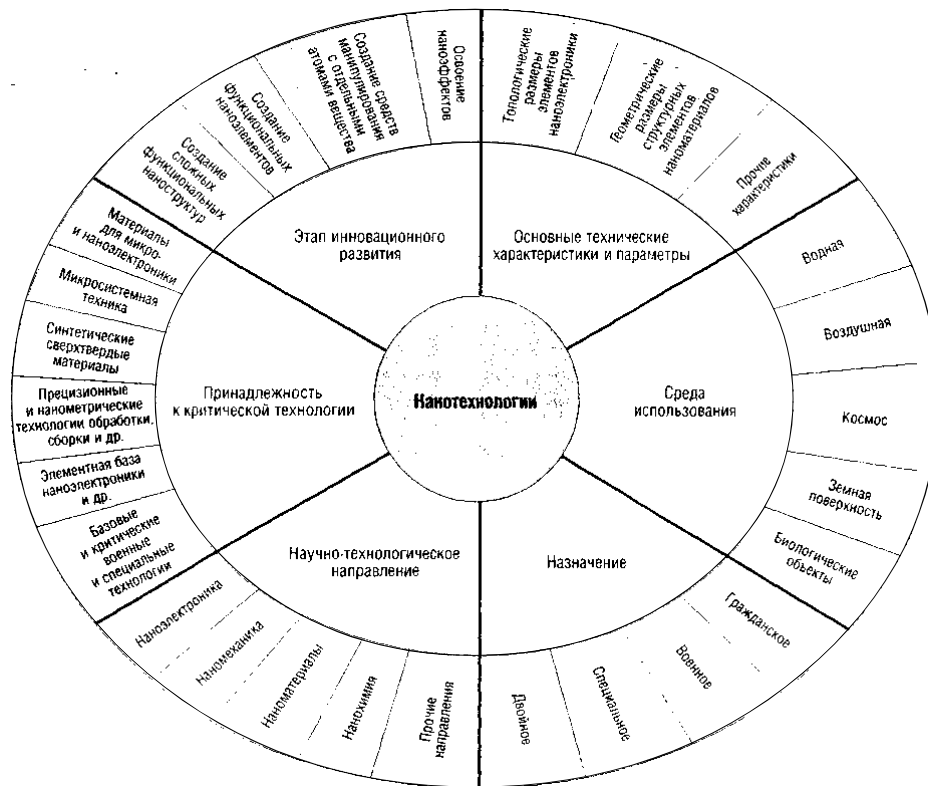


Рис. 3. Структура предлагаемой классификации нанотехнологий [16, с. 45]

альные технологии); 3) назначение (гражданское, военное, специальное, двойное); 4) среда использования (водная, воздушная, космос, земная поверхность, биологические объекты); 5) основные технические характеристики и параметры (топологические размеры элементов нанозлектроники, геометрические размеры структурных элементов наноматериалов, параметры нанобработки поверхности: высоты, неровности, шероховатости, точность формы и др.); 6) этап инновационного развития (освоение нанозффектов, создание средств манипулирования с отдельными атомами вещества, создание функциональных наноэлементов сложных технических систем, создание сложных функциональных наноструктур и др.).

Принятые классификационные признаки, в свою очередь, имеют более подробное деление. Например, базовые военные и специальные технологии включают базовые военные технологии, под которыми понимаются типовые формы (способы) военной деятельности, и специальные технологии, отражающие специфику деятельности других силовых министерств и ведомств. Далее базовые военные (специальные) технологии разбиваются на определенное количество критических военных (специальных) технологий, в той или иной степени связанных с нанотехнологиями. Эти технологии прежде всего направлены на снижение за-

метности вооружения, военной и специальной техники (ВВС), обнаружение «невидимых» ВВСТ противника, снижение энергопотребления, создание самовосстанавливающихся систем (например, позволяющих автоматически восстанавливать поврежденную поверхность танка или самолета), систем связи, а также устройств обнаружения химического и биологического загрязнения.

Нанотехнологии гражданского назначения подразделяются на технологии промышленного, сельскохозяйственного и бытового назначения, технологии для решения медицинских, экологических и других задач.

Такая классификация сможет обеспечить упорядоченное отображение информации о нанотехнологиях и позволит осуществлять ее периодическую актуализацию. Кроме того, она представляет собой массив исходных данных для корректировки перечней критических технологий, разработки нормативно-технических документов, каталогизации нанотехнологий, наноматериалов и наноустройств, а также программно-целевого планирования их развития. Одним из последующих шагов явится разработка технического регламента, регулирующего отношения в области нанотехнологий.

Государственная научно-техническая и инноваци-

онная политика в области нанотехнологий должна иметь прежде всего технологическую направленность, включая анализ рынка наукоемкой продукции и определение государственных технологических нужд в этой области, прогнозирование возможного развития отдельных технологических направлений в области создания наносистем и целевую поддержку тех из них, которые наиболее близки к введению в хозяйственный оборот (элементы наноэлектроники, нанодатчики и пр.), формирование новых технологических укладов в научно-технической и производственной сферах.

Роль государства в обеспечении поэтапного перехода от исследований к использованию их результатов для развития основ наноиндустрии заключается в создании благоприятных условий для поддержки проведения работ, включая информационную поддержку, формирование механизмов введения в хозяйственный оборот результатов исследований и разработок, созданных за счет бюджета, а также организацию системы учета и регистрации сделок, совершаемых с ними.

Основные направления развития нанотехнологий

Можно выделить три направления, тесно связанные между собой: 1) изготовление электронных схем (в том числе объемных) с активными элементами, чьи размеры сравнимы с размерами единичных молекул или атомов; 2) разработка и изготовление наномашин, т.е. механизмов-роботов величиной с молекулу, использование которых открывает перед человечеством невиданные перспективы; 3) непосредственная манипуляция атомами и молекулами и сборка из них всевозможных материалов (как здание собирается из кирпичей). Эта задача, в свою очередь, распадается на две концепции. Первая — перестройка имеющихся структур (например, перестроив порядок атомов в угле, можно изготовить алмаз). Вторая — сборка большего из меньшего (так, используя молекулы воды и углекислого газа, можно изготовить из них сахар или крахмал, как это делают растения).

Все это постепенно входит в жизнь. В некоторых областях промышленности нанотехнологический контроль изделий и материалов (буквально на уровне единичных атомов) стал обыденным. Реальный пример — DVD-диски, производство которых было бы невозможно без нанотехнологического контроля матриц.

В ближайшей перспективе нанотехнологии начнут, по-видимому, применяться и в производстве интегральных схем. Существующие способы осаждения примесей в полупроводник (эпитаксии) по литографическим шаблонам практически приблизились к своему технологическому пределу. Дело не только в

размерах элементов — определенная возможность их уменьшения еще существует, а в том, что нынешние технологии фотолитографии позволяют изготавливать только планарные структуры (когда все элементы и проводники расположены в одной плоскости). Это накладывает существенные ограничения на схемотехнику — наиболее прогрессивные схемные решения не могут быть осуществлены по подобной технологии (в частности, таким образом невозможно воспроизвести нейронные схемы, на которые возлагаются большие надежды). В то же время активно развиваются нанотехнологические методы, дающие возможность создавать активные элементы (транзисторы, диоды) размером с молекулу и формировать из них многослойные (трехмерные) схемы. Очевидно, именно микроэлектроника станет первой отраслью, где «атомная сборка» осуществится в промышленных масштабах.

Что касается наномашин, то они способны коренным образом изменить среду обитания человека. В 1992 г. Эрик Дрекслер [4], один из идеологов нанотехнологии, нарисовал картину обозримого будущего. Будут ликвидированы голод, болезни, загрязнение окружающей среды и многие другие стоящие перед человечеством глобальные проблемы. Ключом к этому станут крошечные машины размером с молекулу, обладающие способностью к самовоспроизведению. Используя в качестве строительного материала атомы, они смогут производить все необходимое с недостижимой ранее эффективностью.

В основе разработки наномашин лежит простая идея. Хотя средства для манипуляций отдельными атомами имеются и сейчас, вряд ли их можно «напрямую» применить для того, чтобы собрать что-то конкретное для практического использования, хотя бы из-за количества атомов, которые придется «монтировать». Однако возможностей существующих технологий уже достаточно, чтобы соорудить из нескольких молекул некие простейшие механизмы, способные при помощи управляющих сигналов извне (акустических, электромагнитных и пр.) манипулировать другими молекулами и создавать себе подобные устройства или более сложные механизмы. Те в свою очередь смогут изготовить еще более сложные устройства и т.д. В конечном итоге этот экспоненциальный процесс приведет к проектированию молекулярных роботов — механизмов, сравнимых по размерам с крупной молекулой и обладающих собственным встроенным компьютером. В разработке таких нанокomпьютеров нет ничего фантастического, активные электронные элементы подобных размеров уже получены в лабораторных условиях.

В результате мир коренным образом преобразит-

ся. Практически все необходимое для жизнедеятельности человека может быть изготовлено молекулярными роботами непосредственно из атомов и молекул окружающей среды (продукты питания — из почвы и воздуха, как их производят растения, кремниевые микросхемы — из песка). Очевидно, что подобное производство будет значительно более рентабельным и экологичным, чем нынешние промышленность и сельское хозяйство. Необходимо лишь снабдить наномашину сырьем и энергией, а все остальное они сделают сами (хотя в принципе ничто не мешает наномашинам самим добывать и сырье, и энергию). Человечество получит исключительно комфортную среду обитания, где не будет места ни голоду, ни болезням, ни изнурительному физическому труду.

Сложность изготовления наномашин отнюдь не является основным фактором, сдерживающим их развитие. Ученые уже умеют собирать атомы и молекулы в некие конструкции. Главная трудность в том, что для сборки такой машины надо сначала ее сконструировать, разработать. Расчет такой конструкции настолько трудоемок и сложен, что для его осуществления не хватает даже мощности современных суперкомпьютеров. Однако, учитывая темпы развития вычислительной техники, очевидно, что появление молекулярных роботов — вопрос лишь десятилетий.

Оптимисты и пессимисты, предсказывая, когда при помощи молекулярных роботов удастся поставить барьер на пути болезней и старения человека, расходятся в своих оценках незначительно. По разным прогнозам, это произойдет во второй или третьей четверти XXI в. Возможные последствия развития нанотехнологий — коренное преобразование практически всех отраслей науки и техники.

В электронике ожидается создание сверхбыстродействующих компьютеров не только с обычными архитектурами, но и нейрокомпьютеров, сверхбыстродействующих функциональных устройств с рекордной производительностью. В оптоэлектронике будут синтезированы давно ожидаемые излучатели с перестраиваемым спектром и широкополосные фотоприемники с высокими КПД. Кардинальные изменения произойдут в медицине с реализацией возможностей генной инженерии, созданием эффективных молекулярных диагностических устройств и соответствующих биосинтезаторов. Радикально преобразуется химическая индустрия, предприятия которой превратятся из гигантов в практически персональные синтезаторы.

Что касается точных сроков начала реализации нанотехнологий в повседневной практике, то в ведущих лабораториях мира отдельные наноэлектронные элементы существуют уже сейчас, а более широкое

применение, по оценкам специалистов, придется уже на первую четверть XXI в. [5]. Нанотехнология станет основой значительных эволюционных изменений, многие из которых будут настолько качественно отличаться от сегодняшнего мира, что в настоящее время их просто невозможно описать.

В работе [11] инженер-советник «X Telecom» Дж. Бланк анализирует доклад о состоянии и перспективах развития нанотехнологий, искусственного интеллекта и робототехники, подготовленный сотрудником Лондонского университета А. Арноллом по заказу «Greenpeace». Перспективное значение этих направлений научно-технического прогресса определяется такими их важнейшими характеристиками, как разнообразие применений, возможность творчества, междисциплинарность. Наибольший интерес, отмечает автор, представляет собой раздел доклада, посвященный нанотехнологиям, поскольку эта область исследована еще мало. Различают два способа производства наноструктур: «сверху вниз», т.е. создание нанометрических структур с помощью обработки и дробления, дезинтеграции (получившее в настоящее время наиболее широкое распространение); «снизу вверх», или молекулярная нанотехнология, создание структур от атома к атому или от молекулы к молекуле (широко обсуждается, но носит в основном теоретический характер).

Можно предположить, что в ближайшие два-три года в области нанотехнологий будет преобладать исследовательская деятельность, ведущаяся примерно в 30 странах. Однако 70% всех ежегодных публикаций по нанотехнологиям приходится на США, Японию, Китай, Великобританию и Россию [11, с. 58]. При этом только в Японии существует государственная программа исследований в области нанотехнологий, объем финансирования которой составлял в 2002 г. 750 млн долл. Второе место занимают США с объемом финансирования в 604 млн долл. в том же году. Треть этого бюджета приходится на две организации: Национальный научный фонд (NSF) и Министерство обороны, которое рассматривает нанотехнологии как ключевой стратегический элемент, обеспечивающий мировое превосходство США. Европейские страны тратят на исследования нанотехнологий значительно меньше: 184 млн евро в 2000 г. и предполагают в 2002—2006 гг. направить на эти цели 1,3 млрд евро. По оценкам А. Арнолла, нанотехнологиями в мире занимается 470 предприятий, в том числе 230 в США, 130 в Европе и 75 в Азиатско-Тихоокеанском регионе, среди которых присутствует ряд мультинациональных компаний (IBM, «Motorola», HP, NEC, «Hitachi» и др.).

Нанотехнологии предназначены, прежде всего, для создания инновационных продуктов. Наибольшая

часть их возможных применений подсказана рынком и ориентирована на уже идентифицированный потенциальный рынок. По оценкам, рынок применений нанотехнологий в 2005 г. превысил 100 млрд долл., причем первыми потребителями наноструктур, приносящими отрасли прибыль, будут информатика и фармацевтика. Первые продукты, разработанные с помощью нанотехнологий, должны появиться в отрасли по производству полупроводников, что позволит увеличить плотность полупроводников в микропроцессорах. По оценкам экспертов, к 2012 г. от нанотехнологий будет зависеть весь рынок микроэлектроники. Однако, несмотря на достигнутые успехи, маловероятно, что к этому времени появится молекулярный и тем более квантовый компьютер. В области медицины и фармацевтики нанометрические системы могут найти применение в производстве медикаментов и культивирования тканей. Хотя потенциальные области применения нанотехнологий в медицине многочисленны, наиболее вероятными направлениями их использования в краткосрочном плане являются исследования и диагностика. В энергетике возможно использование нанотехнологий в фотогальванических элементах. Но они смогут стать конкурентоспособными не менее чем через 20 лет. Однако в основном нанотехнологии найдут применение в военной области: слежение, «умные» боеприпасы, наведение ракет и т.д., что в определенной степени объясняется тем, что первые исследования в области нанотехнологий были выполнены в военных атомных лабораториях.

Рассматривая последствия использования нанотехнологий, А. Арнолл отмечает, что в настоящее время особого внимания требует изучение взаимодействия нанотехнологий с окружающей средой и живыми организмами, а также их воздействия на здоровье человека. Некоторые из них могут оказаться новыми загрязнителями, хотя и не оказывающими деградирующего воздействия на биологические объекты. Ученые пока плохо понимают механизм взаимодействия нанотехнологий с окружающим миром, отсутствуют какие-либо данные об их влиянии на окружающую среду или токсикологических эффектах. В то же время прошлый опыт свидетельствует о необходимости серьезного изучения взаимодействия наночастиц и метаболизма млекопитающих в процессе дыхания или соприкосновения с кожей.

Развитие нанотехнологий ставит серьезные вопросы в области законодательства, в этической, социальной и экономической сферах. В частности, если за некоторыми предприятиями будет признано право собственности на новые молекулы, возникнут проблемы регулирования интеллектуальной собственности. Кроме того, возможен риск «нанотехнологического разрыва».

Нанотехнологии породили чрезмерные увлечения и предсказания. Эксперты Национального научного фонда сделали прогноз, что рынок нанотехнологии через 10 лет достигнет 1 трлн долл. [11, с. 60], что способствовало притоку инвестиций в нанотехнологии. Однако, по мнению А. Арнолла, несмотря на свой огромный долгосрочный потенциал, нанотехнологии не найдут применения в среднесрочном плане. Например, лишь по меньшей мере через 25 лет может начаться производство аппаратов по очистке артерий от жировых отложений. Не скоро появятся такие футуристические продукты применения нанотехнологий, как самокопирующиеся роботы, так как для их создания необходимо решить множество проблем в области химической инженерии, управления информацией и т.д. По мнению А. Арнолла, нанотехнологии предоставляют прекрасную возможность для научного сообщества продемонстрировать свою способность определять приоритеты развития.

Часть доклада, посвященная искусственному интеллекту и робототехнике, по оценке Дж. Бланка, менее оригинальна. Эти области пользовались значительно большим вниманием, чем нанотехнологии, в силу их вероятного воздействия на социальную и этическую сферы и порождаемых их развитием философских вопросов. В то же время А. Арнолл указывает на определенную неравномерность развития искусственного интеллекта. С одной стороны, в продуктах и услугах уже довольно широко применяется так называемая «слабая» форма искусственного интеллекта. С другой — представляется, что создание искусственного интеллекта, способного воспринимать, мыслить, распознавать буквенные образы, понимать устную речь и т.д., с помощью так называемой «сильной» формы, основывающейся на технике искусственных нейронов или генетических алгоритмах, — дело будущего.

В отличие от нанотехнологий искусственный интеллект поднимает в основном проблемы этического или философского характера, связанные с отношением человека и машины (вопросы доверия, ответственности, личных свобод, частной жизни и риска захвата власти машинами). А. Арнолл утверждает, что эти технологии, скорее всего, не дадут конкретных результатов при жизни нашего поколения, что ни в коей мере не снижает риски, с которыми могут столкнуться наши потомки. Пытаясь уточнить границу между близкими и некоторыми фантастическими перспективами применениями нанотехнологий и искусственного интеллекта, А. Арнолл указывает на трудности прогнозирования последствий их использования в течение ближайших 10 лет. Воздействие нанотехнологий, возможно, будет ограничено несколькими продуктами и услугами, за

которые потребители готовы платить больше для получения более высокой производительности.

Кажущаяся, на первый взгляд, фантастичность многих сценариев развития нанотехнологий — не повод относить эти разработки к научной фантастике. Одно из доказательств тому — \$10 млрд, которые ежегодно тратят технологически развитые страны на разработки в этой области. \$8 млрд из этой суммы приходится на долю США, Японии, Китая и Германии. Именно этим странам на сегодняшний день принадлежит первенство. В таких странах, как Япония и США, инвестиции из бюджета и частных компаний составляют существенную долю общих расходов на подобные разработки. Например, в США за 2005 год на исследование нанотехнологий было потрачено около \$3 млрд. Обозреватели отмечают, что в последнее время на рынке нанотехнологий заметно активизировались Южная Корея, Сингапур, Индия и Тайвань. По различным оценкам, объем этого рынка уже составляет \$100—150 млрд [26].

В России в декабре 2005 г. под эгидой департамента науки и промышленной политики Москвы и Московского комитета по науке и технологиям была проведена специализированная выставка нанотехнологий и материалов, обзор деятельности которой дан в статье Л.Раткина [12]. Руководители ряда ведущих предприятий и организаций, научных школ и направлений нанотехнологических исследований приняли участие в деловой программе выставки, в рамках которой помимо пленарного заседания состоялись тематические круглые столы по вопросам современных проблем развития отрасли.

В частности, круглый стол «Химическая технология наноматериалов» открылся выступлением заведующего лабораторией ИФХЭ РАН Б. В. Спицына о современных перспективах разработок в сфере модификации детонационного наноалмаза — инновационного высокотехнологичного продукта, к преимуществам которого следует отнести повышенную стойкость (до 1000°C) при промышленном производстве. Монофункционализация поверхности наноалмаза и процессы его высокотемпературной очистки дают возможность провести фундаментальные исследования физических свойств алмаза в наноразмерном состоянии. Для определения оптимального режима работы оборудования и состава суспензий, позволяющих довести разработку до стадии промышленных продуктов, используемых соответственно в качестве полировальных и режущих инструментов, а также добавок к маслам, необходимо дальнейшее финансирование научных исследований.

Доклад В. М. Шкинева, заместителя заведующего лабораторией ГЕОХИ РАН имени В. И. Вернадско-

го, был посвящен комплексным методам экомониторинга миграции загрязняющих веществ с микро- и наночастицами в воде и почве Москвы на основе новых фильтрационных наноматериалов. В ходе проведенных научных исследований с применением капиллярного электрофореза, мембранной фильтрации, непрерывных многоступенчатых и мембранных проточных фракционаторов, центрифугирования и использования армированных фильтрующих элементов на основе трековых мембран с диаметром пор от 5 до 0,02 мкм удалось получить существенные результаты функционирования фильтрационных приборов. Например, для увеличения производительности процесса мембранной фильтрации без потерь определяемых компонентов предлагается ламинировать трековые мембраны, что значительно облегчает работу с ними на различных стадиях эксплуатации аппаратуры.

Темой выступления Г. Г. Каграманова, заведующего кафедрой РХТУ имени Д. И. Менделеева, была разработка нанофильтрационных керамических мембран и процесса разделения и концентрирования нанодисперсных систем. Сфера применения нанофильтрационных мембран — не только очистка и концентрирование нанодисперсных систем и технологических растворов, каталитические мембранные процессы, опреснение и деминерализация воды, но и высокотемпературное разделение и очистка газов и получение наноэмульсий. Развитием темы стал доклад М. Ю. Королевой (кафедра нанотехнологий и наноматериалов РХТУ имени Д. И. Менделеева), в котором рассматривались способы получения, свойства и области применения наноэмульсий. Среди способов получения наноэмульсий были выделены гомогенизация под давлением, метод инверсии фаз, метод мембранного эмульгирования и эмульгирование при диффузии через границу раздела фаз. Одной из наиболее значимых областей применения наноэмульсий является медицина, где метод позволяет осуществлять доставку лекарственных препаратов непосредственно до больных клеток и безболезненный вывод токсинов из организма. Ограниченность патентов и публикаций об обратных наноэмульсиях (5%) по сравнению с прямыми наноэмульсиями (95%) делает их объектом пристального внимания научной общественности и предполагает проведение дополнительных фундаментальных исследований, в том числе за счет бюджетных средств (например, в рамках приоритетного национального проекта «Здравоохранение»).

Современная наука о нанотехнологиях (т. наз. нанонаука) активно развивается на пересечении физических и химических дисциплин. Междисциплинарный характер образования в сфере нанотехнологий и материалов предполагает особую, более глубокую под-

готовку специалистов в данной области, при этом под термином «нанообразование» следует понимать всю совокупность теоретических исследований и практических разработок, разностороннее изучение которых должно помочь глубже понять механизм взаимодействия скрытых свойств веществ. Примером такого подхода является выступление А. А. Ревинной (ИФХЭ РАН) по вопросам получения наночастиц металлов в обратных мицеллах и нанокомпозитов на их основе. На основе изучения свойств стабильных наночастиц металлов в жидкой фазе и выявления композиционных материалов с полнофункциональной активностью возможно получение стабильных наночастиц серебра с противомикробными свойствами, применяемых в лакокрасочной промышленности, и модифицированных наночастиц серебра для фильтровальных элементов промышленных систем водоподготовки и бытовых устройств из пористого полиэтилена. Аэрокосмическим применением стабильных наночастиц металлов является создание инновационных бактерицидных систем, нейтрализующих влияние космических микроорганизмов, — обычные бактерицидные системы неприменимы, космические микроорганизмы мутируют под воздействием радиации, что затрудняет их идентификацию и классификацию при защите обычными способами.

Докладом заведующего кафедрой МИСиС М.В. Астахова открылся круглый стол «Многofункциональные наноматериалы и нанотехнологии. Транспорт. Строительство. Экология. Здравоохранение. Биология. Правовопорядок и безопасность». Докладчиком была представлена серия инновационных разработок, среди которых Ni-Ti сплавы с памятью формы; аморфный ферромагнитный микропровод для изготовления чехлов, поглощающих излучение ПК, мобильных телефонов и других устройств; высокопрочный крепеж из наноструктурного титана ВТ1-0; высокопроизводительный автоматизированный прибор капиллярного электрофореза «Капелла-400»; износостойкие пленочные магнитомягкие сплавы с нанокристаллической структурой; катализаторы для разложения оксидов азота; катализаторы для снижения содержания количества радикалов в табачном дыму; корректор функции клапанов магистральных вен; металлоплакирующие присадки к моторным маслам; наноквазикристаллические наполнители для композиционных материалов; нанокристаллические антифрикционные присадки к трансмиссионным маслам; наноструктурный медицинский материал (в том числе биосовместимый); образец интегрального СВЧ-устройства для систем подповерхностной локации и дефектоскопии для применения в строительстве, археологии и других областях; сверхтвердые наноструктурные покрытия

— изделия с нанесенными алмазоподобными покрытиями; термомеханическое соединение трубопроводов и цилиндрических деталей с помощью сплавов Ti-Ni-Fe, обладающих памятью формы. Также была представлена методика направленной нано-технологической (на молекулярном уровне) доставки лекарств к пораженным органам и тканям.

Технологий нанесения керамических покрытий на изделия из алюминиевых и магниевых сплавов методом микродугового оксидирования касалось выступление профессора МИСиС А. Г. Ракоча. Нетоксичность применяемых электролитов обеспечивает экологическую безопасность этого метода, используемого в автотранспортной и аэрокосмической отраслях, жилищно-коммунальной сфере, пищевой промышленности, в нефтегазопроводных системах и химии. Микродуговое оксидирование экологически чисто и бесшумно, оно позволяет активно использовать в промышленном производстве магниевые сплавы вместо алюминия для изготовления деталей транспортных средств (например, самолетов и автомобилей).

Доклад заведующего лабораторией высокотемпературных материалов МИСиС Н. И. Полушина был посвящен проблемам эксплуатации и разработки в строительной индустрии новых сверхтвердых материалов. Российские образцы алмазных поликристаллов превосходят зарубежные аналоги по ряду характеристик, например, по уровню износостойкости. Они могут использоваться для резки и очистки поверхности различных материалов — от цветных металлов до высокопрочных кремниевых сплавов (струеформируемые сопла), при реставрационно-строительных работах по восстановлению облика архитектурных памятников (в частности, пескоструйное оборудование) и в медицинских целях (например, стоматологические установки). С помощью инновационной продукции можно осуществлять очистку трубо- и продуктопроводов в ЖКХ и ТЭК, повышать дебит скважин и консервировать их, очищать территорию вокруг скважин от фракций углеводородов, чистить в аэропортах взлетно-посадочные полосы от остатков резины с колес шасси, шлифовать и повышать чистоту обработанной поверхности деталей. Наноматериалы могут также использоваться для повышения экономической эффективности реставрационных работ на архитектурных памятниках. В частности, обработка строительного камня (например, мрамора) модифицированной водопоглощающей смолой ЭД-20 снижает его растрескивание в несколько раз, что достигается благодаря технологии микромодификации композиционных материалов углеродными наномодификаторами фуллероидного типа, представленной в выступлении генерального директора компании «Астрин-хол-

динг» А. Н. Пономарева. Нанодобавки способны также увеличивать прочность цементных бетонов на растяжение и сгиб (по оценкам экспертов, от 12 до 15%) благодаря синергетическому эффекту и обеспечить подавление роста бактерий в стройматериалах.

Доклад заведующего кафедрой МАТИ В.В. Слепцова касался ионно-плазменных методов синтеза объемно-интегрированных нанокompозитных структур. Неоднородность на поверхности материала возникает вследствие сканирования ионным пучком, что приводит к формированию пор фиксированного размера (например, 1 микрон). Данная технология находит применение для нанесения полимеров на металлические материалы (например, тефлона на алюминий — получаемый продукт имеет прочность алюминия и коэффициент трения тефлона, или тефлона на медь — труднореализуемый в обычных технологических условиях процесс), для получения основы микроэлектронных печатных плат, а также в конденсаторных структурах.

В выступлении старшего научного сотрудника МИСиС А. А. Мятлева было рассмотрено современное состояние и перспектива развития технологии жидкой керамики — металлоорганических растворов, переводимых в порошки, нанопленки и другие формы. Жидкая керамика может использоваться в топливных элементах нового поколения, она значительно увеличивает ресурс работы электроприборов, например, портативных компьютеров (ноутбуков) — от нескольких часов до нескольких суток. Высокий КПД генерирования электроэнергии при использовании газообразного топлива, долговечность, доступность и удобство потребления топливных элементов, надежность и универсальность в использовании, а также экологичность и экономичность разработок выгодно отличают изделия из жидкой керамики от аналогичной продукции из других материалов. Создание конкурентоспособной технологии получения пленочных топливных элементов стоимостью от 120 до 150 долл. за 1 кВт является стратегическим инвестиционным проектом, целевое финансирование которого поможет России выйти на лидирующие позиции в данной области разработки альтернативных энергетических систем. Другим проектом являются мультикомпонентные электрохимические нанокатализаторы (ЭН) очистки выхлопных газов автомобильного двигателя. В числе достоинств современных электрохимических нанокатализаторов — рост их эффективности на сотовой металлической матрице и на сотовом кордиерите и увеличение удельной поверхности носителя.

Стабильный государственный заказ и корректировка действующего законодательства являются неотъемлемыми условиями реализации рассмотрен-

ных инвестиционных проектов. Созвучным было выступление заведующего лабораторией ИТЭС ОИВТ РАН кандидата физико-математических наук А.Ю. Башарина о новых углеродных структурах, синтезированных из жидкого углерода, с возможностью получения нанопроволоки и других наночастиц для применения в строительных материалах, наномеханике и нанoeлектронике.

Доклад А. П. Каплуна, профессора кафедры биотехнологии МИТХТ имени М.В. Ломоносова, затрагивал современные фармацевтические нанотехнологии, среди которых можно выделить не только лекарственные препараты, но и средства визуализации и нанороботы (например, наномоторы или «шагающая ДНК»). Пролонгирование оздоровительного эффекта достигается путем активного и пассивного нацеливания медикаментозных средств на больной орган и увеличения времени циркуляции лекарства в крови пациента. Молекулярный адрес используется для прикрепления лекарства к клетке-мишени. Моделирование вирусных частиц также является перспективным направлением конструирования нанопрепаратов.

Отдельная тема применения нанотехнологий — квантовые вычисления. В рамках круглого стола «Нанoeлектроника и твердотельные квантовые компьютеры» состоялась серия выступлений, каждое из которых дополняло и иллюстрировало общую картину разработок, проводимых российскими учеными в данном направлении. Открыл круглый стол доклад академика РАН, научного руководителя ФТИАН К.А. Валиева. Поскольку атомным пределом закона Мура является хранение одного бита информации одним атомом (одним электроном), смена парадигмы наноприборов предполагает переход от функционирования по законам классической физики к работе по квантовым законам, в которых заряд, энергия, координаты и спиновый момент частицы являются квантовыми переменными. На элементной базе квантовой информатики (построенной на когерентных волновых функциях квантовой электроники) возможно построение квантового компьютера, который может практически использоваться в классическом суперкомпьютере в качестве специального процессора, включаемого для расчета медленно решаемых обычными процессорами задач. Технология многоядерной обработки данных предполагает использование метода распределенных вычислений, при котором спецпроцессоры взаимодействуют друг с другом по специальным высокоскоростным каналам связи, многократно увеличивая суммарную скорость расчета.

Выступление директора Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН профессора В. А. Тулина позволило ознако-

миться с уровнем развития современной наноэлектронной базы и ее возможным применением при создании квантового компьютера. Среди представленных разработок — изучение интерференционных квантовых и баллистических свойств в металлических, сверхпроводниковых и полупроводниковых структурах (существующие технологии позволяют изготавливать квантовый кубит путем n -кратного напыления по маске под разными углами); исследования электронных свойств графена (монослоя графита) и изделий из него (например, транзисторов); квантовый эффект Холла в графене (целочисленный эффект Холла наблюдается при полуцелом факторе заполнения); модель двумерного газа безмассовых фермионов в графене; наноимпринтинг (технологии нанесения сверхмелких узоров сверхострой иглой); сканирующая электронная микроскопия (для просмотра микросхем), углеродная электроника (в том числе нанотрубки, обладающие эффектом сверхпроводимости) и фотонные кристаллы (материалы, обладающие пространственной симметрией с дисперсией в оптическом диапазоне электромагнитного излучения).

Проблемы и перспективы квантового описания нанотранзисторов были темой доклада заместителя директора физико-технического института РАН профессора В. Ф. Лукичева. В связи с уменьшением размеров транзистора на кристалле работа с мезоскопическими наноструктурами является одним из приоритетных направлений в сфере нанотехнологий и материалов. Наблюдаемые квантовые эффекты, не только статические и динамические, но и связанные с напряжением (например, неоднородный сдвиг, встроенное напряжение, сдвиг минимального логического напряжения), предполагают подходы, связанные с согласованным решением уравнений Шредингера и Пуассона.

Выступление заведующего кафедрой квантовой электроники МГУ имени М. В. Ломоносова профессора В. И. Панова затрагивало перспективы развития современной сканирующей зондовой микроскопии в диагностике нанотехнологий и наноструктур. В числе представленных разработок — диагностика поверхностных атомных структур (в том числе наноструктурированных поверхностей) методами сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и сканирующей туннельной спектроскопии (СТС), диффузия атомов на поверхности полупроводника (с возможностью построения туннельного диода на основе примеси в наноструктуре), диагностика локальных магнитооптических эффектов методом оптической микроскопии ближнего поля (с помощью ближнепольной микроскопии можно создать оптические диски емкостью до 50 Тб на кв. дюйм, в числе возможных проблем — «сня-

тие» сигнала с диска), оптическая микроскопия и поляриметрия ближнего поля, а также локальная диагностика пространственного распределения светового поля вблизи наноструктур с помощью оптической микроскопии ближнего поля.

Помимо перечисленных исследований проводятся научные работы в области создания комплексной установки оптической микроскопии и поляриметрии ближнего поля; низкотемпературного микроскопа и установки сканирующей зондовой микроскопии для диагностики поверхностных наноструктур. Кроме того, возможно изучение методами СТС зарядовых эффектов на поверхности и атомарных кластерах, реверсивных изменений структуры и проводимости молекул под воздействием света и диагностика атомных примесей на поверхности полупроводника GaAs+Te и GaAs + SiZn. Синтез методов СТМ и СТС может использоваться для исследования наноструктур на поверхности полупроводников, для изготовления и диагностики наноструктур (состоящих из единичных молекул фуллерена C_{60}) и для идентификации единичных атомов примесей в полупроводнике GaAs. В ходе НИР с использованием СТМ был обнаружен новый эффект неравновесного взаимодействия двух атомов примеси кремния на поверхности полупроводника GaAs (каждый атом «включается» и «выключается» дважды), который может быть применен при создании новой элементной базы, использующей отдельные атомы для атомного компьютера.

Доклад заведующего кафедрой квантовой физики и наноэлектроники МИЭТ профессора А. А. Горбачевича касался наноэлектроники на базе полупроводниковых гетероструктур. В связи с прогнозируемым в микроэлектронике пределом масштабирования транзисторов (от 22 нм по оптимистическим оценкам до 45 нм — по пессимистическим) необходимость разработки новых технических и технологических решений предполагает интенсивное использование волноводной наноэлектроники, элементами которой являются квантовые интерференционные приборы, полупроводниковые гетероструктуры и квантовые волноводы с переменным сечением. В роли энергетического пространства выступают квантовые ямы и квантовые барьеры в гетероструктурном потенциале. В числе рассмотренных докладчиком вопросов — выбор ширины подводящего волновода, резонанс Фано в Т-образном волноводном транзисторе, роль «окна» в барьере волноводного «кубита» и фундаментальные проблемы физики низкоразмерных систем.

Выступление Э. Г. Ракова, профессора кафедры нанотехнологий и наноматериалов РХТУ имени Д. И. Менделеева, было посвящено истории и перспективам производства однослойных и многослойных уг-

леродных нанотрубок, позволяющих улучшить качество изготовленных на их основе изделий и получить продукцию нового поколения, имеющую повышенные прочностные свойства. С завершающим докладом на круглом столе выступил заместитель руководителя наноцентра МЭИ профессор Л. Н. Патрикеев, в выступлении которого получили широкое освещение вопросы изменения государственного стандарта по нанообразованию. Тесная взаимосвязь трех базовых специальностей в области молекулярных технологий (наносистемы, нанотехнологический менеджмент и наноэнергетика) предполагает совершенствование учебного процесса и внесение существенных изменений в образовательные программы с целью более глубокого изучения предметов.

Состоявшиеся в рамках выставки другие круглые столы были посвящены вопросам поведения ансамбля нанодисперсных частиц и особенностям применения нанотехнологий в электронике. Оптимальный график работы выставки, насыщенный разноплановыми мероприятиями, позволил участникам и посетителям получить подробную информацию обо всех представленных разработках.

В долгосрочном плане перспективы реализации наиболее смелых предположений противоречивы. Мала вероятность появления новых фундаментальных революционных прорывов в течение ближайших 15 лет. Существенные изменения на производстве, транспорте, в сфере услуг и домашних хозяйствах могут произойти через 30—50 лет, но они будут постепенными, как и любые технологические изменения [11, с. 62].

Становление нанотехнологий в Украине

На фоне приведенных выше цифр расходов на проблематику нанотехнологий в зарубежных странах затраты Украины на исследования в данной области выглядят более чем скромными. Так, за 2005 год финансирование Программы НАН Украины «Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии» составило около 1,45 млн евро — это менее 1% общего бюджета НАН Украины. Приблизительно такую же сумму украинские ученые получают от международных грантодателей. Но чаще всего этих денег хватает лишь на капитальные вестииции — приобретение нового научного и технологического оборудования, создание «чистых лабораторий»; средства расходуются, главным образом, на поддержание более-менее достойной оплаты труда ученых. Отечественные разработчики нанотехнологий считают, что промедление государства и бизнеса с инвестированием этой сферы науки и техники может попросту оставить Украину аутсайдером во всех тех отраслях, где, как ожидается, нанотехнологии скажут свое веское слово в ближайшем будущем. Это относится и к сфере обороны и безопасности страны.

Тем не менее вице-президент НАН Украины академик А.Наумовец считает: «Отечественная наука довольно естественно вошла в наноотрасль. Первые исследования на наноуровне украинские ученые вели еще в довоенные годы — работали с коллоидными растворами, изучали свойства нанопленок и наночастиц. И сейчас в некоторых областях нанознаний у нас имеются оригинальные разработки. Так, например, в Донецком физико-техническом институте им. А. А. Галкина НАН Украины предложен метод винтовой гидроэкструзии — винтовой деформации металлов под давлением, благодаря чему образуются новые материалы с нанокристаллическими зернами и улучшенными механическими характеристиками. В частности, прочность таких материалов возрастает вдвое.

Мы бы выделили две самые перспективные области применения украинских нанотехнологий — электронику и материаловедение. Однако для успешной работы на наноуровне необходимо современное дорогое оборудование, на приобретение которого Украине часто не хватает денег. Развитию украинских нанотехнологий содействует международное сотрудничество — у нас общая с россиянами программа в области нанофизики и наноэлектроники и подобная украинско-немецкая программа. Есть также договоренности с другими государствами. Это сотрудничество обеспечивает украинским ученым доступ к самому современному оборудованию, без которого невозможны полноценные исследования. Конечно, нужна программа национального масштаба, которая позволила бы развить те направления украинских нанотехнологий, которые сегодня конкурентоспособны на мировых рынках. Нам очень важно не утратить темпы развития нанонауки. Если Украина потеряет свой потенциал в области нанотехнологий, она будет обречена на роль поставщика сырья для мировой экономики. Ведь в будущем даже успешное развитие медицины и сельского хозяйства будет едва ли возможным без внедрения наноразработок» [28].

Дефицит квалифицированных научных кадров и научных разработок мирового уровня уже ощущается, поскольку спад интереса государства и бизнеса к науке совпадает со сменой поколений в сферах образования и науки. Проблема состоит еще в том, что результаты работы ученых некому внедрять — в стране мало предприятий, как крупных, так и малых и средних, которые технически способны воспринять нанотехнологии и нанопродукты. «Для Украины одна из ключевых проблем — отсутствие подготовленных специалистов в сфере «нано», способных идти на риск, организовать свое дело, и понимающих, что их призвание — этот быстроразвивающийся сегмент рынка» [26, с. 89].

Специфика инноваций современного мира состоит в том, что научные разработки за предельно короткие сроки (в ведущих странах 3—4 года) должны внедряться в массовое производство, чтобы быть экономически оправданными. При существующем порядке вещей нашим ученым выгоднее продавать их за рубежом, чтобы не потерять навсегда, нежели искать инвестора внутри страны. Лишь одним из многих примеров высокого потенциала украинских разработок нанотехнологий являются исследования, связанные с устройствами для альтернативной энергетики — суперконденсаторами, литиевыми батареями, топливными ячейками (устройства, которые преобразуют химическую энергию непосредственно в электрическую). Их коэффициент полезного действия составляет около 60%, тогда как КПД современных преобразователей энергии (например, двигателей внутреннего сгорания) обычно не превышает 35%. В качестве топлива они могут использовать, например, водород.

К этой идее сегодня приковано внимание всего развитого мира. Предполагается, что на топливных ячейках будут ездить автомобили завтрашнего дня. В Японии уже строятся стационарные электростанции с использованием подобных элементов. Украина может сделать существенный рывок, потому что у нас есть свое месторождение циркония, а именно оксид циркония составляет основу топливных ячеек. И как раз в этом ключе работают сотрудники Института проблем материаловедения НАН Украины, создавая наноструктурную керамику, которая является их ядром. Было бы хорошо, если бы наша страна сконцентрировала усилия в этом направлении. Иначе нам придется покупать чужие разработки.

«Многие говорят, что «нано» — дань моде. Но на самом деле это огромный технологический прорыв, — убежден Михаил Нищенко, заведующий отделом электронной структуры и электронных свойств Института металлофизики НАН Украины. — С наноструктурами, наноматериалами и нанотехнологиями можно связывать будущее. Это позволит решить многие задачи в области энергетики, наноэлектроники и других сферах» [26]. Большие надежды связывают с этой технологией медицина, охрана окружающей среды, а также военно-промышленный комплекс, собственно, как и многие другие.

Как уже отмечалось выше, приставка «нано-» означает «одна миллиардная доля». В случае с термином «нанотехнологии» подразумевается одна миллиардная доля метра или одна миллионная доля миллиметра. Нанометрами обычно измеряют размеры отдельных атомов, молекул или их комплексов. Именно с такими объектами и масштабами сталкиваются профильные ученые и технологи. При столь малых раз-

мерах вещества и состоящие из них объекты приобретают другие, непривычные для макромасштабов свойства и характеристики. Точнее будет сказать, что на первый план выходят силы взаимодействия между отдельными атомами и молекулами, которыми обычно пренебрегают в привычных макротехнологиях.

Знание физических законов этого микромира и умение применять их на практике открывают огромные перспективы в создании материалов с уникальными свойствами. Создание технологий, которые будут манипулировать материей на уровне отдельных атомов или молекул, позволяет решить массу задач, которые в большинстве случаев являются невозможными с точки зрения традиционных технических подходов.

Десятилетие на рубеже XXI столетия знаменовалось созданием технологических основ изготовления наноразмерных систем и получением фундаментальных знаний об их свойствах. Наноструктурным материалам и нанотехнологиям отведена значительная роль. В мире сотни научных фондов и компаний на фундаментальные исследования и создание технологий наноструктурных материалов тратят более \$2 млрд в год. Инвестиции в научные исследования и технологии возросли приблизительно в 5 раз за последние 5 лет. Сейчас по меньшей мере 30 стран начали программы в этой области, где уже сделано много открытий в физическом, биологическом и техническом направлениях. Промышленность обрела уверенность в том, что нанотехнологии и наноструктурные материалы помогут давать конкурентоспособную продукцию. Компании, которые используют наноэффекты в своих технологиях, получили существенный выигрыш в катализе, функциональных покрытиях, медицинской диагностике, оптической связи и т.п.

В Украине фундаментальные и прикладные исследования, направленные на получение, изучение свойств и применение наноструктурных материалов, осуществляются на протяжении последних 15 лет в пределах тем ведомственного заказа НАН Украины, грантов Министерства образования и науки, грантов международных научных фондов, прямых контрактов с промышленностью. Совокупный опыт украинских академических лабораторий весом, в мире большинство их разработок признаны в качестве передовых. Вместе с тем большинство усилий имеют разрозненный характер, тогда как мировое нанотехнологическое направление развивается через мультидисциплинарные программы и консорциумы.

Украинская наука до 2003 года не имела собственной полномасштабной программы развития этой области высоких технологий, поэтому основной целью соответствующей программы стало достижение

Украиной мирового уровня в одной из наиболее перспективных высокотехнологических областей, участие в глобальных экономических и технологических процессах и решение важных социальных, экологических проблем.

Концептуально программа предусматривает объединение научных коллективов в пределах приоритетных направлений для создания: нанокмозитов, нанокерамик и нанокластеров для энергетики; нанобиотехнологий для здравоохранения и окружающей среды; новых материалов для лазеров, систем хранения информации и т.п.; защитных покрытий на основе нанокмозитов и нанокерамик для авиационной и космической техники; эффективных поколений катализаторов.

Концепция программы предусматривает также: анализ, моделирование и оптимизацию технологических процессов получения наносистем; экспериментальные работы по поиску новых физических эффектов, перспективных для создания приборов нового поколения; развитие новых теоретических подходов к описанию физических явлений в наноразмерных структурах, которые влияют на работу наноприборов при их сверхвысокой интеграции; теоретические и экспериментальные исследования электрических, магнитных, оптических и других характеристик в наноразмерных структурах металл-металл, металл-диэлектрик, металл-полупроводник; развитие новых физических методов для изучения наноструктур с использованием туннельной и атомно-силовой микроскопии, спектральных методов; постоянный мониторинг мировых достижений, публикаций, создание и развитие базы данных достижений в области наносистем, наноструктурных материалов и нанотехнологий; публикацию результатов выполнения программы в виде отчетов, периодических изданий и т.п., как печатных, так и в сети Internet; информационное сопровождение симпозиумов, конференций, семинаров и т.п., которые проходят в рамках программы и по сопредельной тематике; создание и методическое обеспечение отдельных учебных курсов по наносистемам, наноструктурным материалам и нанотехнологиям для существующих специальностей высших учебных заведений Украины, формирование электронных учебников [27; 28].

В качестве ожидаемых результатов предполагаются следующие.

1. Фундаментальные работы расширят физическое представление о природе образования атомных кластеров, фрактальных агрегатов, наносистем, самоорганизацию их структуры на разных уровнях, дадут новую информацию о специфике физических явлений и квантоворазмерных эффектов в нанобъектах и разнообразных наноструктурах.

2. Установление закономерностей влияния химического состава, внешних факторов, технологических параметров, методов и режимов получения дадут возможность создать физико-химические основы направленного синтеза новых классов материалов и новейших наукоемких технологий.

3. Развитие комплексных междисциплинарных структурных и физических свойств, изучение функциональной связи «химический состав — технология — свойства» нанобъектов и наноструктур даст возможность расширить области практического применения кластерных и наноструктурных материалов в разных областях. Техничко-экономические характеристики научно-технической и нанодиагностической базы, которую планируется разработать, будут отвечать мировому уровню.

Программа будет важным фактором создания в Украине информационного общества и конкурентоспособной нанотехнологии. Важным результатом выполнения Программы должны стать поддержка и сохранение имеющегося научно-технического потенциала, привлечение молодых специалистов, создание системы подготовки и переподготовки кадров, а также обеспечение эволюционности в развитии этого чрезвычайно перспективного направления в Украине. Структура комплексной программы фундаментальных исследований НАН Украины «Наноструктурные системы, наноматериалы и нанотехнологии» приведена нами в табл. 2.

Украинские компании, работающие в области нанотехнологий, местных рыночных игроков не беспокоят, поскольку работают преимущественно на экспорт. Сверхъемкие электронные схемы, новые виды материалов и топлива, лекарства, косметика — по всем этим направлениям сейчас идет работа в Украине. Эти же направления останутся перспективными на ближайшие 10—15 лет. Как правило, украинские наноконпании — это предприятия при университетах и НИИ, основателями которых зачастую являются ученые, овладевающие новейшими технологиями на коммерческих началах. Так, например, Донецкий физико-технический институт им. Галкина продвигает на рынок нанопорошки — использование этих материалов при производстве керамики, по информации разработчиков, увеличивает срок эксплуатации изделий вдесятеро. Ноу-хау ученых сегодня уже используется на некоторых шахтах Донбасса. Отечественный НТЦ «Нанотехнология» разрабатывает покрытия и материалы с уникальными физическими и химическими свойствами, которые обеспечивают высокие показатели износоустойчивости.

В мире нанотехнологий существует свое направление *business to business* — производство приборов

Структура Программы

	Основные задачи	Головная организация
1.	Нанопизика и нанозлектроника	Институт физики НАНУ
2.	Технология многофункциональных наноматериалов	Институт проблем материаловедения им. И. М. Францевича НАНУ
3.	Электронное, атомное строение и свойства наноструктурных материалов	Институт металофизики им. Г. В. Курдюмова НАНУ
4.	Бионаноматериали: синтез и свойства	Институт металофизики им. Г. В. Курдюмова НАНУ
5.	Диагностика наносистем	Технический центр НАНУ
6.	Атомно-молекулярная архитектура наноструктур	Институт физической химии им. Л. В. Писаржевского НАНУ
7.	Физика полупроводниковых наноструктур	Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАНУ
8.	Физико-химия поверхностных явлений	Институт химии поверхности НАНУ
9.	Синтез и формирование наноструктур	Институт общей и неорганической химии им. В. И. Вернадского НАНУ
10.	Коллоидные наноразмерные системы	Институт биокolloидной химии им. Ф. Д. Овчаренко НАНУ
11.	Тонкопленочные нанотехнологии соединения неорганических материалов	Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ
12.	Физика и технология наноматериалов в экстремальных условиях	Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина
13.	Информационное обеспечение работ по проблеме «Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии»	Технический центр НАНУ

для работы с микрочастицами. В этой области украинские компании также достигли определенных успехов. Так, киевское малое научно-производственное предприятие «Лилея» экспортирует в США роботов, которых используют корпорации, специализирующиеся на клонировании, работе со стволовыми клетками (технологии омоложения кожи и т. д.). В советское время оно работало на оборонку — разрабатывало системы прицеливания для ракет. Те принципы и разработки, которые были уже тогда, пригодны для использования и в других сферах. Фирма начала производить приборы для формирования движения и управления им в микро- и нанопространстве.

«Догнать клетку, деликатно подойти к ней, зафиксировать ее — это не менее сложный комплекс работ, чем стыковка космических кораблей. Для всех этих операций необходимо оборудование, производством которого и занимается наше предприятие. На

внутреннем рынке мы продвигаем пьезоэлектрические моторы. Одна из наших последних разработок — клапан на базе наномотора. Это высокоточный прибор, работающий со скоростью электронной схемы — недавно мы представили его на выставке, в которой принимали участие представители НАТО», — считает директор предприятия «Лилея» [28].

В отличие от своих западных коллег украинские компании существуют преимущественно за рамками национальной программы развития нанотехнологий. Министерство науки и образования старается держаться в русле новомодных тенденций и имеет соответствующую программу, однако отечественные наноконпании существуют в основном вне нее и не получают государственного финансирования. Некоторые эксперты объясняют этот феномен так: «Некоторые дельцы, умеющие лихо отхватывать куски от Академии наук, в 90-х годах вывезли за границу немало перс-

пективных разработок наших ученых и рассчитались за это обещаниями и воздушными замками. Эти люди сейчас создают нанотехнологические фирмы в Израиле и на Кипре. Теперь из-за них наши изобретатели остерегаются инвесторов» [28].

Оптимистический сценарий развития нанотехнологий в Украине заключается в создании действенной программы и участии в ней всех инновационных компаний. В России также довольно долго шли к такому решению, и в конце концов приняли в марте этого года программу создания технической базы для nanoиндустрии. Украина еще не потеряла свои шансы — в будущем любая отраслевая программа тем или иным образом будет нуждаться во внедрении нанотехнологий, ведь большинство разработок такого рода уже сегодня имеют двух- и трехуровневое применение в экономике. Скоро рынок нанотехнологий будет разделен по принципу «кто не успел, тот опоздал». Россияне сейчас делают успехи в производстве атомного компьютера, который будет собираться на уровне кластеров — соединений атомов и молекул. Никто не сможет догнать РФ в этой области — проще приобрести это ноу-хау, чем начинать разработки с нуля и тратить на это огромные средства. У Украины пока есть определенные конкурентные преимущества в области наномехатроники — создании приборов для работы в микропространстве.

Пессимистический вариант — неуклюжее воплощение программы нанотехнологий обернется процессом утечки разработок и научных кадров за границу. В Украине не появится nanoиндустрия, а внедрение новейших продуктов будет происходить при посредничестве иностранных компаний. На рынке останется несколько экспорториентированных украинских nanoкомпаний.

Реальность будущего

В ближайшие пять лет нанотехнологии придут в промышленное производство. В индустрии используются смазки, снижающие трение, ремонтно-восстановительные составы и нанопокрывтия для режущего инструмента. Нанодобавки, улучшающие качества строительных материалов, широко применяются в строительстве. Становятся всё более доступными новые топливные элементы, гибкие цветные дисплеи, очень быстрая и емкая электроника, нанотехнологические лекарства и косметика. Большую популярность приобретают солнечные батареи.

В ближайшие десять лет гибкие тонкие дисплеи и солнечные батареи станут общедоступными. Технологии безопасного хранения водорода дали возможность создать автомобили, работающие на водородных топливных элементах. Используются более лег-

кие и прочные конструктивные материалы, что изменило технологии строительства и архитектуру.

Новым поколением электроники стала электроника на основе углерода. Сенсор, реле, светодиод или датчик стали размером с пылинку. Там, где раньше был нужен толстый медный провод или оптоволоконный кабель, стали обходиться тоненькой полоской специального лака. Применения такой электроники: мини-датчики для учета жидких и сыпучих грузов, газа и горячей воды с точностью до грамма. Или недорогие преобразователи давления ветра и морского прилива в электрический ток. А новая электроника + легкие и прочные новые конструктивные материалы = огромное разнообразие летательных аппаратов для разных нужд: от крошечных, размером с муху или комара, до гигантских.

То, что сейчас скучно называется «новым классом абсорбционных и фильтрующих материалов», станет основой для устройств фильтрации или опреснения воды, а в сочетании с углеродной электроникой эти материалы дадут массу приборов и приспособлений для жизни под водой. Углеродная электроника и новые конструктивные материалы будут с каждым запуском удешевлять полеты в космос. Со временем околоземная орбита станет зоной очень активной жизни, зоной развлечений и промышленных лабораторий.

Неузнаваемо изменятся и многие бытовые предметы. «Хорошие вещи недорого!» — вот что станет девизом многих нанотехнологических бытовых компаний. Качественная кухонная посуда, звукопроизводящая аппаратура экстра-класса или практически вечная батарейка или лампочка станут доступны каждому. Тяжело сказать, как изменится медицина, визаж, косметология, дизайн, можно только сказать, что они выйдут на качественно новый уровень.

Применение нанотехнологий сделает мир цветным. Дешевые и микроскопические светодиоды и лазеры, дешевый светопровод, масса наномодифицированного пластика, нанотехнологические краски стойких цветов, выполняющие разные функции (цветной асфальт, контролирующий скорость движения, цветные стены, впитывающие и перерабатывающие ядовитые выхлопы), электронные движущиеся картинки везде — от оберток чипсов до небоскребов — не оставят в большом городе будущего ни единого серого уголка. Можно определенно сказать, что мир будущего будет разноцветным, очень насыщенным информацией и жизнью — жизнью и в воздухе, и в море, и в космосе.

Во все времена находятся горе-эксперты, которые с цифрами и графиками убедительно доказывают, что мир погибнет под грузом неразрешимых проблем. И всегда они ошибаются. Мы живы, потому что

всегда прогресс опровергает их выкладки. И в этот раз мир не погибнет, а перейдет на следующий технологический уровень, где современные проблемы потенциально решаемы. Нанотехнология не станет апокалипсисом или решением абсолютно всех проблем. Но в этом мире со временем будут решены многие современные проблемы, в том числе проблема доступного жилья, проблема пищи, проблема доступа к информации, проблема чистой воды, а наш мир будет казаться жителям будущего серым и скучным.

Создавайте мир будущего вместе с нами. Возможно, волна развития нанотехнологий даст возможности для самореализации именно Вам. Как именно? Проникновение технологии на микроуровень, где оказалось удобно обрабатывать, хранить и передавать информацию, создало современную индустрию компьютеров и компьютерных сетей. В этой индустрии востребованы люди из любой отрасли, имеющие навыки обработки информации. Проникновение технологии на наноуровень изменит повседневные вещи. Для создания новых вещей потребуются знание жизни и людей, фантазия, чувство юмора, нестандартное мышление, чувство пространства, художественный вкус для разных световых и цветовых решений.

Возможно, нанотехнологии — это именно ваша волна. Кто хочет добиться всего своим трудом и умом, имеет для этого в начале волны все возможности. Ведь само Время работает на него. Также на нанотехнологии следует обратить внимание людям, умеющим рисовать, писать рассказы, снимать фильмы. Проникновение жизни в космос создало жанр космической фантастики, фильмов и книг о космосе. Искусство компьютерной эры создало фильмы и книги о существовании человека и компьютера. Сейчас эти жанры уже захламлены штампами и превратились в «вытопанное поле». Тот, кто выберет темой творчества нанотехнологии, имеет больше возможностей для самореализации, а лучшие первые авторы станут классиками новых стилей, как это случилось с некоторыми первыми киберпанковскими и космическими авторами. Объект нанотехнологии — измельченные до наноразмеров металлы, новые соединения углерода, выращенные в специфических условиях пластмассы.

В разных сочетаниях эти материалы и уже известные нам материалы дают вещества с новыми, запрограммированными человеком свойствами. Как то — негорючая, или непромокаемая бумага, пластик, что светится в темноте, проводящий ток пластик с фотоэффектом на уровне современных солнечных батарей, смазки, понижающие трение на 30—50%, наномодифицированный электролит для элементов питания, что держит заряд в десятки раз дольше обычного электролита и множество других разработок.

Все эти продукты производятся специализированными фирмами и пока стоят очень дорого. Но, как и в случае с продуктами компьютерной отрасли, массовое производство даст резкое снижение цены. Среди продуктов ближайшего будущего стоит отметить батареи от Altair Nano, гибкие солнечные батареи от Nanosolar, электронную бумагу от компании E-ink, углеродную электронику разных фирм. Батареи Altair Nano, в три раза мощнее современных литиево-ионных батарей, работающие при температурах до 240 градусов Цельсия и имеющие время зарядки в 1 минуту, выдерживают 10000—15000 циклов перезарядки. Компания Nanosolar, получившая 100 миллионов долларов инвестиций от известной компании Google, сейчас изготавливает солнечные батареи методом нанесения пленки наночастиц с фотоэлектрическим эффектом на гибкую основу. E-ink представила публике гибкий нанотехнологический дисплей с разрешением компьютерного монитора (800x600 точек), и толщиной 1,25 мм. Сейчас эти дисплеи используются в некоторых передовых продуктах фирм Epson, Motorola, Sony. Разрабатываемая рядом фирм углеродная электроника на основе таких новых соединений углерода, как графен, фуллерены и нанотрубки, будет в десятки и сотни раз компактнее и экономичнее современной кремниевой электроники.

Новые высокоемкие топливные элементы, электронная бумага, высокоёмкие электронные схемы (в том числе светодиоды, датчики, сенсоры), проводники и среды передачи данных нового класса, безопасное хранение водорода в наноматериалах, новые углеродные конструктивные материалы и модифицированные наночастицами пластмассы, краски, лаки, смазки, покрытия, восстановительные составы, лекарства и косметика нового поколения — разработки по всем этим направлениям ведутся и в Украине. Будет обидно, если повторится ситуация с кибернетикой — открытия и исследования украинских ученых-кибернетиков не пригодились на Родине. Следствием этого является то, что мы пользуемся только иностранными разработками в области компьютеров и передачи данных. Но даже в самом худшем случае, даже если мы будем пользоваться исключительно иностранными наноразработками, продукты нанотехнологий через некоторое время станут реальностью жизни миллионов жителей Украины. Реальностью жизни в современной Украине стали миллионы мощных ПК, развитые интернет-коммуникации, сотовая связь практически у каждого гражданина — что было не просто представить 10—15 лет назад. Поражающие воображение сегодняшние наноразработки через 10—15 лет будут казаться такими же жалкими и наивными, как модемы, компьютеры и телефоны начала 90-х годов.

Возможные фантастические перспективы

Обесточивание офиса или помещения хотя бы на час отбрасывает человека более чем на век назад — без привычных ампер и киловатт как без рук. Да и в отсутствие компьютера и мобильного тоже, кажется, уже мало чего можно сделать. В дальнейшем зависимость от благ цивилизации будет возрастать. Недаром современная наука экспериментирует с атомами и молекулами, комбинирует их в невиданные доселе соединения, создает благодаря этому новейшие материалы и механизмы. Данное направление деятельности, получившее название «нанотехнология», позволит наделять интеллектом предметы, являющиеся сейчас привычными элементами быта.

Работы ученых в области нанотехнологий породили массу околонуточных и просто фантастических сценариев далекого и не такого уж далекого будущего. Все это создает ореол нереальности и фантастичности. Однако по этому направлению уже не один год работают ведущие научные учреждения в различных странах, а плоды их исследований пожинают как крупнейшие мировые корпорации, так и средний и малый бизнес.

Люди станут носить одежду, меняющую цвет, обмениваться визитками с нанесенной на них видеорекламой, передавать свои эмоции с помощью имплантатов, отображающих настроение. Будут пить кофе из чашечек, оснащенных индикаторами температуры. Женщины станут любоваться собой в компьютеризированных зеркалах, корректирующих изображение до идеального, а на ногтях у них будет маникюр с запрограммированным цветом и узорами.

В магазинах появятся неутомимые виртуальные продавцы. В городах памятники не будут молчаливыми скульптурами, а станут рассказывать об исторических событиях. Практическое применение нанотехнологий имеет не только декоративный характер. Работа на молекулярном и атомном уровнях позволяет создавать сверхъемкие электронные схемы, новые, наделенные более высокими потребительскими качествами материалы (пластмассы, смазочные масла, лаки и краски), синтезировать новые виды топлива, вырабатывать эффективные вакцины.

Нанотехнологии внедряются уже сегодня. Если в 2004 г. в эту отрасль в мире инвестировано \$8,6 млрд, то к 2015 г. эта сумма, по оценке американской компании Lux Research, достигнет \$1 трлн. Сейчас в мире существует около 16 тыс. наноконпаний, а к 2015 году, по прогнозу Национальной научной организации США (NSF), предприятия, которые будут работать в этой высокотехнологической сфере, создадут от 800 тыс. до 2 млн новых рабочих мест.

На новые разработки возлагают надежды по пре-

одолению новых и пока что неизлечимых болезней — смоделированные на молекулярном уровне лекарства станут более эффективными, около 50% медикаментов к 2010 году, по оценкам Lux Research, будут производиться с помощью нанотехнологий. Глобальные экологические проблемы тоже можно решить с помощью наночастиц: так, немецкие ученые из университета Ульма разработали микроэлементы, которые, по их расчетам, смогут задерживать хлорофторуглероды — вредные частицы, разрушающие озоновый слой.

«Если еще 3 года назад многие технологии с приставкой нано- только переходили из лабораторий в область малого бизнеса, то сегодня этот сегмент рынка значительно вырос, — считает д.т.н. Андрей Рагуля, заместитель директора Института проблем материаловедения НАН Украины. — А к 2015 году компании, которые занимаются прогнозами развития промышленности, ожидают расширения сегмента рынка нанотехнологий приблизительно до \$1 трлн» (рис. 4) [26].

Если представить в общем виде прогнозируемые на XXI в. перспективы развития нанотехнологий, то в отдельных областях они выглядят следующим образом [6]. В промышленности на смену традиционным методам производства придет сборка молекулярными роботами предметов потребления непосредственно из атомов и молекул, вплоть до персональных синтезаторов и копирующих устройств, позволяющих изготовить любой предмет. Первые результаты могут быть получены уже в начале XXI в.



Рис. 4. Оценка роста инвестиций в нанотехнологии

Поскольку в ближайшем будущем произойдет постепенная замена традиционных методов производства на более прогрессивный вид сборки молекулярными роботами предметов потребления непосредственно из атомов и молекул, вплоть до персональных синтезаторов и копирующих устройств, позволяющих изготовить любой предмет, то появится возможность создания твердых тел и поверхностей с измененной молекулярной структурой, что на практике даст сверхпрочные металлы, ткани и пластмассы. Здесь уже можно всерьез вспомнить о самовосстанавливающихся материалах, разговоры о которых до сегодняшнего момента велись лишь в фантастических романах.

Такой материал больше не будет нуждаться в ремонте, умные нанороботы, живущие в нем, сами распознают «поломку» и тут же приступят к исправлению дефекта. Кстати, некое подобие данных свойств уже реализовано в виде глазастой куклы — *Baby Bright Eyes*, которая была представлена в середине февраля 2003 года на международной ярмарке игрушек в Нью-Йорке (*American International Toy Fair*) компанией *Playmates Toys*. Глазами данной особы управляют наномускулы. По словам очевидцев, кукла *Baby Bright Eyes* («Ясные глаза») очень реалистично этими своими глазами двигает: открывает, закрывает, провожает взглядом и так далее. К примеру, когда ребенок подносит бутылку ко рту куклы, большие-пребольшие выразительные глаза останавливаются на поданном предмете. Бэби издает булькающие звуки, делая вид, что пьет. *Playmates Toys* воспользовались тем, что сплав никеля и титана обладает так называемой «памятью формы», «эффектом памяти», или же «эффектом памяти формы», — это физическое явление, при котором пластически деформированный металл восстанавливает свою первоначальную форму. Работает это так: для начала деталь из сплава деформируют, то есть меняют ее форму, но хитрость в том, что первоначальную-то она помнит! К ней деталь и возвращается под воздействием несильного электрического сигнала. В обессточенном состоянии деформируется обратно. Вот и получается движение туда-сюда. Причем хватка у наномускулов неслабая: один грамм способен взять вес в 140 граммов. Увеличение «мускула» в размере с 50 до 150 мм по расчетам приведет к увеличению грузоподъемности в 9 раз [7; 8].

В сельском хозяйстве осуществится замена «естественных машин» для производства пищи (растений и животных) их искусственными аналогами — комплексами из молекулярных роботов. Они будут воспроизводить те же химические процессы, что происходят в живом организме, однако более коротким и

эффективным путем. Например, из цепочки «почва — углекислый газ — фотосинтез — трава — корова — молоко» удалят все лишние звенья, т.е. останется «почва — углекислый газ — молоко (творог, масло, мясо и т.д.)». Подобное «сельское хозяйство» не будет зависеть от погодных условий и нуждаться в тяжелом физическом труде, а его производительность позволит навсегда решить продовольственную проблему. По разным оценкам, первые такие комплексы могут быть созданы в середине XXI в.

Для того чтобы наноеда стала реальностью, инвесторы уже израсходовали \$3 млрд, а к 2010 году в этот проект должны вложить до \$20 млрд. Речь идет уже не о генетически модифицированных продуктах. Сегодня наноконпании готовы предложить пищевой промышленности роботов, которые будут осуществлять тотальный мониторинг продуктов на всех этапах их изготовления — такое оборудование позволит определять и изымать вредные элементы из товаров до момента их попадания на полки супермаркетов. Перспектива серийного производства таких устройств — ближайшие 3—4 года. Следующим этапом внедрения нанотехнологий на пищевых предприятиях может быть производство продуктов, конечный формат которых станет определять сам потребитель. Например, можно будет приобрести сок и самостоятельно отрегулировать его вкусовые качества (цвет, аромат и т.д.) путем манипуляции наночастицами, которые он может скомпоновать в нужную комбинацию. К счастью, эта технология пока что остается фантастикой.

В кибернетике в первой половине XXI в. произойдет переход от планарных структур к объемным микросхемам, размеры активных элементов уменьшатся до размеров молекул. Рабочие частоты компьютеров достигнут терагерцовых величин. Получат распространение схемные решения на нейроноподобных элементах. Появится быстродействующая долговременная память на белковых молекулах, емкость которой будет измеряться терабайтами. Станет возможным «переселение» человеческого интеллекта в компьютер. Прогнозируемый срок реализации: первая — вторая четверть XXI века. Для наглядности можно пояснить, что уже созданы нанотранзисторы, размер которых не превышает 6 нанометров, они получены из фуллерена (молекула на основе углерода C_{60}). И как замечает руководитель группы исследователей профессор Прабхакар Бандару (штат Калифорния): «Мы думаем, это открытие показывает, что нанотехнологии — это не только создание каких-то маленьких штучек, ибо мы можем синтезировать функциональность в наномасштабе. А посему такие три элемента транзистора, как база, эмиттер, коллектор, отпадают за ненадобностью, и нам не

нужно мучиться, делать их по отдельности, а потом еще и собирать их» [4, с. 12].

Здесь же получает распространение еще одна технология будущего — это *NRAM (Nanotube-based или Nonvolatile RAM)*, в которой для хранения информации используются прямые углеродные нанотрубки (University of Illinois at Urbana-Champaign: DNA-wrapped carbon nanotubes serve as sensors in living cells). Именно такой вид памяти позволяет замахнуться на терабайтовые величины, более того — он более быстр и долговечен. Кстати, то же касается и рабочих частот компьютеров — они в связи с уже существующими наработками будут террагерцовыми. Ну и заканчивая тему с нанотрубками, стоит сказать, что их превозносят как чудо-материал, они, например, способны в свернутом в кольца положении (их структура тогда напоминает рулон сетки-рабицы) быть прочнее стали, лучше металла проводить электрический ток и даже пропускать свет. В 1997—1998 годах им нашлось практическое применение в виде сверхчувствительных весов, на которых можно взвешивать вирусы, и вообще, они способны благодаря своим необычным свойствам революционизировать вычислительную технику, текстильную промышленность и другие сферы производства.

Освоению космоса «обычным» порядком, по-видимому, будет предшествовать освоение его нанороботами. Огромную армию роботов-молекул выпустят в околоземное космическое пространство, и она подготовит его для заселения людьми (т.е. сделает пригодными для обитания Луну, астероиды, ближайшие планеты), а также соорудит из «подручных материалов» (метеоритов, комет) космические станции. Это будет намного дешевле и безопаснее существующих ныне методов.

В сфере экологии в середине XXI в. полностью устранится вредное влияние деятельности человека на окружающую среду, во-первых, за счет насыщения экосферы молекулярными роботами-санитарами, превращающими отходы этой деятельности в исходное сырье, во-вторых, в результате перевода промышленности и сельского хозяйства на безотходные нанотехнологические методы.

Более консервативно к этим идеям относятся медики. Это связано с необходимостью предусматривать все возможные риски для здоровья в результате их применения. Как и любые новые препараты или методы лечения, медицинские нанотехнологии также должны пройти длительную клиническую проверку перед тем, как они получат широкое применение. Тем не менее разработки в этой области ведутся, и медики надеются, что они позволят найти решение многих нерешенных на сегодняшний день вопросов.

В частности, предполагается, что это поможет бороться с раковыми заболеваниями. Например, методика лечения опухолей, разработанная международной компанией pSivida, позволяет доставлять микроскопические дозы радиоактивного вещества непосредственно к раковым клеткам. Таким образом, дозы облучения получают только больные клетки, а здоровые участки ткани при этом не страдают. Основой данной методики, которая получила название BrachySil, является наноматериал BioSilicon — пористый кремний, из которого формируются микроскопические капсулы, содержащие тот или иной препарат.

В последние годы ученые также ведут несколько амбициозных проектов по созданию искусственной сетчатки, которая поможет вернуть зрение полностью слепым людям. Опытные образцы устройства уже были имплантированы нескольким добровольцам. Качество картинки, которую позволяет видеть новая технология, пока еще сильно уступает настоящему глазу. Но для незрячего человека даже это является существенным улучшением. По некоторым прогнозам, «искусственная сетчатка» может войти в клиническую практику уже с 2007 года [26].

Специалисты в области нанотехнологий рисуют еще более невероятные перспективы. Одна из них — создание искусственной крови (васкулоида). Система из 500 триллионов крошечных устройств выполняет функции крови. Подобную идею можно было бы посчитать чистой фантазией, если бы ее авторами не были Роберт Фрайтас — один из крупнейших мировых авторитетов наномедицины — и Крис Феникс, некогда студент одного из пионеров нанотехнологий Эрика Дрекслера. Авторы идеи считают, что она может быть внедрена на протяжении 40—50 лет. Предполагается, что использование «нанокрови» позволит эффективно бороться с микроорганизмами, полностью побороть болезни сосудов (такие как атеросклероз), а также кардинально повысить эффективность газообмена в крови и т.д.

Таким образом, в медицине в первой половине XXI в. будут созданы молекулярные роботы-врачи, «живущие» внутри человеческого организма и предотвращающие или устраняющие возникающие повреждения (включая генетические). Создание новых химических веществ уже не станет проблемой, так как все соединения будут происходить без химических реакций, поэтому нанотехнология даст массу новых лекарств, которые врачи будут сами «настраивать» под пациента, исходя из его болезни. Но потом подобные лекарства уже и не понадобятся, так как эпоха наномедицины сделает возможным человеческое бессмертие. Звучит нереально? Возможно. Но пора уже смириться с подобным течением обстоятельств.

Прогнозируемый срок реализации: третья—четвертая четверти XXI века.

В области геронтологии считается достижимым во второй половине XXI в. бессмертие людей за счет внедрения в организм молекулярных роботов, предотвращающих старение клеток, а также за счет перестройки и «облагораживания» тканей человеческого организма. Произойдет оживление и излечение тех безнадежно больных людей, которые были заморожены в свое время методами крионики.

В биологии в середине XXI в. станет возможным «внедрение» в живой организм на уровне атомов, что приведет к различным последствиям — от «восстановления» вымерших видов до создания новых типов живых существ, биороботов.

Наконец, за счет внедрения логических наноэлементов во все атрибуты окружающей среды во второй половине XXI в. она станет «разумной» и комфортной для человека.

Одной из первых сфер применения результатов нанотехнологий стала электроника. Благодаря им оргтехника, средства связи и различные приборы в последние годы претерпели значительную миниатюризацию, причем их технические возможности многократно возросли. По мнению экспертов, предел уменьшения электронных устройств пока не достигнут, следовательно, тенденция сохранится.

Здесь же, конечно, можно еще рассказать о мобильных телефонах, в которых в течение последующих трех-четырёх лет появится «жидкий глаз», способный определять малейшее движение настроения живого человека с последующим советом сменить тему разговора, также он будет распознавать феромоны хозяина — это против несанкционированного доступа и т. д.; о шинах, в которых наночастицы увеличивают адгезивные свойства резины, увеличивая их гибкость и уменьшая износ; о водонепроницаемой бумаге, о диагностических машинах с применением различных наносенсоров, или так называемых квантовых точек, способных быстро и надежно выявлять в продуктах мельчайшие химические загрязнения или опасные биологические агенты; о тончайшей (10 микронов) полимерной пленке с рисунком, который меняет свою форму или цвет в зависимости от содержания сахара в крови или от воздействия продуктов обмена веществ, типичных для той или иной болезни, которая может существенно упростить диагностику заболеваний или самостоятельный контроль больных за своим состоянием; о создании сверхтонкого оптического волокна; об уже созданном специалистами из компании *Easton* нановелосипеде, отличающемся необыкновенной прочностью и легкостью; о нанотехнологическом ВПК (военно-промышленный комп-

лекс), посредством которого уродливые серые здания военных заводов уйдут в прошлое, уступив место дешевому и быстрому молекулярному производству nanoоружия. Небольшие фабрики вырастут, как сорняки: вместо одной уничтоженной тут же появится новая, вдобавок ко всему это будет оружие, способное к самовосстановлению и самовоспроизводству: 1 кг будет производить такой же 1 кг, скажем, за 1 час. Все это, конечно, безумно интересно!!! Но... на все нет времени... Посему в завершение остановимся лишь на одной из самых глобальных тем сегодняшнего дня, теме, которая провоцирует различные интервенции «сильных» мира сего по отношению к «слабым», а именно топливно-энергетической независимости от кого бы то ни было...

Как известно, не только наше государство, но и мировая экономика напрямую зависит от энергоресурсов, в первую очередь от нефти. Поэтому вышеобозначенная эра нанотехнологий сегодня актуальна как никогда, потому как именно она способна эту причину для интервенций нейтрализовать, ибо с молекулярной нанотехнологией эффективность сбора солнечной энергии вырастет настолько, что про нефть, газ и уголь все забудут напрочь. Энергия Солнца в равной степени доступна всем государствам на планете, и трудно придумать, как одна страна перекроет другой доступ к этому источнику. Следовательно, в будущем на одну причину для войн станет меньше, и интерес стран друг к другу в плане энергоресурсов сойдет на нет. Естественно, здесь не станем распространяться про nanoфабрики, способные с помощью миниатюрных ассемблеров (тех самых нанороботов) приводить в движение линии сборки атомных масштабов, производя практически любой воображаемый продукт, будь то машина, ковер, клубника или интересующая нас нефть или природный газ. Всяческие природные ископаемые останутся прерогативой или раритетом ма-тушки-природы...

Очевидно, что нанотеории найдут самое широкое применение и в военной сфере, как это чаще всего происходит с передовыми разработками. Уже сейчас США разрабатывает армейскую форму с использованием подобных технологий. С этим, военным, аспектом связано большинство опасений. Однако до того, как подобное случится, пройдет 20—30 лет. А за это время развитые страны должны выработать как систему законодательных актов, так и ряд технических мероприятий.

Но, как всегда, есть и отрицательная сторона прогресса. Не только потенциальное использование нанотехнологий в военных целях вызывает опасение некоторых ученых. Например, Эрик Дрекслер предположил возможность глобальной катастрофы, выз-

ванной нанороботами. Гипотетический сценарий Дрекслера допускает, что микроустройства, которые могут самостоятельно воспроизводить собственные копии, начинают неконтролируемое размножение и используют в качестве строительного материала любое находящееся рядом вещество. Эту проблему, связанную с развитием нанотехнологий, Эрик Дрекслер назвал «*grey goo problem*» — проблема «серой бездны» или «серой слизи», в которой ассемблеры реплицируют сами себя *ad infinitum* (до бесконечности), потребляя в качестве строительного материала все на своем пути, включая заводы, домашних животных и людей! К чему это приведет — догадаться несложно: планета Земля, как минимум, перестанет существовать, причем это может случиться буквально за 2 дня (в качестве комментария можно отметить, что фатальность этого процесса резко сходит на нет только лишь вследствие разговора с любым высококвалифицированным программистом, который может вам заметить, что, к примеру, с помощью объемных датчиков можно отслеживать любые количественные процессы любой целочисленной величины, и как только они будут превышать допустимые нормы, активизировать процесс *total terminated* контролируемой среды и т. д. и т. п.) [9; 10]. То есть то, во что может превратиться Земля в результате такого хода событий, получило с легкой руки Э. Дрекслера название «серая слизь». Именно так, по его мнению, будет выглядеть вся поверхность планеты. Однако сегодня большинство ученых считает маловероятным сценарий «серой слизи».

Разработчики действительно говорят о том, что в будущем создадут самореплицирующиеся нанороботы — теоретически это возможно. Необходимость «размножающихся» микроскопических устройств обусловлена тем, что это наиболее реальный способ создания их в большом количестве, чтобы они могли осуществлять те или иные производственные задачи (не стоит забывать, что каждый такой робот состоит из «считанного» количества атомов и манипулирует отдельными микрочастицами).

Перспектива, нарисованная Эриком Дрекслером, вдохновила многих фантастов — до определенной меры отголосок этого учения получил воплощение в культовом фильме «Матрица». Сам же Дрекслер два года назад опроверг свою теорию «серой слизи». По наблюдениям профессора, нанотехнологии пошли по другому, более безопасному пути: потребность в создании мелких роботов, способных передвигаться и работать автономно, отсутствует, востребованы нанороботы, интегрированные в специальные системы, контролируемые оператором ПК. Наноробот-манипулятор соединяется с «руками» большого робота

(по типу конвейера) и, выведенное из рабочего положения, беспомощно, как «электрическая лампочка, удаленная из патрона». Опровержение Дрекслером своей теории несколько улучшило общественное мнение в отношении нанотехнологий, однако в лагере оппонентов молекулярных ноу-хау остались аргументы о возможности применения научных разработок со злым умыслом. Примером тому могут служить ядерное оружие и атомная энергетика. Злой гений, который поставит перед собой цель превратить Землю в «серую слизь», гипотетически все-таки остается в состоянии осуществить подобное намерение.

Как предполагают исследователи, вероятная токсичность простых фуллеренов C_{60} связана с тем, что их поверхность способна производить супероксидные анионы. Эти кислородные радикалы повреждают клеточные мембраны и приводят к гибели клеток (тоже, насколько вы понимаете, вполне решаемая проблема). Одно из главных преимуществ нанотехнологий состоит в том, что в отличие от предшествующих технологий, когда исследования по причинению ими вреда начинались уже после нескольких лет широкого использования и наличия явных жертв, это первая технология, у которой подобные исследования начаты до ее повсеместного внедрения.

Если же говорить о рынке нанотехнологий, то можно сказать, что уже на сегодняшний день на проведение исследований в этой области было потрачено 12 млрд долл. И если учитывать, какими семимильными шагами идет развитие данной отрасли, то не за горами то время, когда вы не сможете найти на прилавках магазинов ни одного товара без приставки «нано-».

Предложения и перспективы в Украине

Эксперты считают, что решение двух основных проблем может помочь реализовать Украине ее потенциал в области «нано-». Первая проблема, о которой уже шла речь, — отсутствие университетских программ по подготовке необходимых специалистов. Как следствие, в Украине просто нет достаточного количества людей, готовых работать на рынке нанотехнологий. «Основная проблема у нас — это недостаток, иногда отсутствие необходимого оборудования», — формулирует вторую проблему академик А. Наумовец, вице-президент НАН Украины. Стоимость такого оборудования, по словам эксперта, измеряется в миллионах долларов [26]. В самой научной среде развитию нанотехнологий мешают излишняя инерционность некоторых ученых и их приверженность старым традициям. Многие считают, что интерес к различным «нано-» является сиюминутным увлечением. В Украине необходимо создать государственную мультидис-

циплинарную программу «Нанонауки и нанотехнологии». Для финансирования исследований в ее рамках Украине необходимо тратить в ближайшие 5 лет не менее \$50 млн ежегодно. Кроме того, для полноценной реализации результатов нанотехнологических разработок по этой программе «Нанонауки и нанотехнологии» следует определить в качестве стратегического приоритетного направления развития науки и техники страны и тесно увязать его с другими приоритетами развития общества в Украине — здравоохранением, охраной окружающей среды, разработкой энергосберегающих технологий, вопросами государственной безопасности и др. Важно также договориться с Европейским союзом и принять участие в 7 Рамочной Программе, в которой имеется большой раздел по нанонаукам и нанотехнологиям.

Рынок современной нанотехнологической продукции исчисляется сотнями миллионов долларов ежегодно. Некоторые направления научных исследований предполагают более интенсивное капиталовложение (например, согласно экспертным оценкам, мировые инвестиции в разработку нанотехнологических топливных элементов составляют 2 млрд долл. в год). Подобные прогнозы позволяют говорить о мощном инвестиционном потенциале отрасли, который будет стимулом для инновационного витка в уже традиционных отраслях промышленности (в том числе разработка нового программного обеспечения для квантовых компьютеров) и катализатором развития более затратных сфер экономики (в частности здравоохранения, образования, культуры) [14]. Очевидно, что выставки нанотехнологий и материалов должны стать более масштабными мероприятиями. Целесообразно проведение нановыставок с привлечением большего числа специалистов (экспонентов и посетителей) под эгидой всех заинтересованных министерств и ведомств на большей площади с расширением тематики экспозиции и круглых столов.

К сожалению, в нашей стране исследования в области нанотехнологий и их практическое применение не получили должного развития. Одной из причин этого является отсутствие четкой государственной политики в данной области и соответствующей экономической и законодательной поддержки.

Украина до настоящего времени не имеет государственной программы развития нанотехнологий, создания различных направлений nanoиндустрии. Исследования в этой области проводятся отдельными академическими институтами, вузами, входят в ряд разделов отраслевых программ и, как правило, не завершаются практическим внедрением результатов полученных фундаментальных разработок. Растворение проблематики нанотехнологий в отдельных раз-

делах фундаментальных и отраслевых программ не позволяет сформировать единую политику развития нанотехнологий в стране. Отсутствие весомой государственной поддержки фундаментальной науки и несовершенство законодательной базы поддержки науки и высоких технологий тормозит привлечение венчурного капитала и развитие технопарков и центров трансфера технологий.

Большие экономические, научные и технологические перспективы развития нанотехнологий как гражданского, так и военного применения определяют необходимость формирования единой государственной научно-технической политики в данной области. В современных условиях государство должно всемерно способствовать приоритетному развитию научных исследований в области нанотехнологий, их активному внедрению в производство. Дальнейшее промедление продолжит вытеснение Украины на обочину научно-технического прогресса.

Необходимо разработать государственный стандарт по нанообразованию, в частности следует скорректировать учебный процесс и внести существенные изменения в образовательные программы с целью более глубокого изучения таких предметов, как наноэнергетика, наносистемы и нанотехнологический менеджмент [13; 15].

Интенсивное развитие отечественных исследований в области нанотехнологий и изучение зарубежного опыта должны позволить реализовать в Украине такие передовые направления науки и техники, как информатика, микроэлектроника, микробиология, ядерно-энергетические исследования, лазерная техника и др. Вместе с тем в стране еще не сформирован целостный системный подход к решениям проблем нанотехнологий.

Представляется целесообразным организовать разработку и реализацию национальной комплексной научно-технической программы по данной проблематике на период до 2015 г., объединив усилия академических институтов, заинтересованных промышленных корпораций и соответствующих государственных министерских структур.

Широкое практическое использование нанотехнологий является важнейшим стратегическим направлением развития высокотехнологичных производств и освоения на новой основе подходов к инновационному преобразованию промышленности. Отсюда возникает необходимость формирования единой государственной информационной политики в данной области.

Авторы этой работы понимают, что тема нанотехнологий и продукции, получаемой на их основе, является настолько емкой, что не может быть исчерпана в рамках одной статьи, но мы ставили главной

целью привлечение внимания к ней на всех уровнях научной и предпринимательской общественности.

Литература

1. **Чумаченко Б., Лавров К.** Нанотехнологии — ключевой приоритет обозримого будущего // Проблемы теории и практики управления. — 2001. — № 5. — С. 71—75.
2. **Feynman Richard.** There's Plenty of Room at the Bottom. — N.Y., 1959. — P. 43.
3. **Drexler Eric.** Engines of Creation. — N.Y., 1986.
4. **Drexler E.K., Peterson C.H., Pergamit G.** Unbounding the future: The nanotechnology revolution. — N.Y., 1993. — 215 p.
5. **Lem St.** Tajemnica chieskiego pokoju. — Krasow, 1996. — 286 s.
6. **Чумаченко Б.А., Власов Е.П., Лавров К.П.** и др. Стратегический менеджмент и международный бизнес. — М.: Инфра-М, 2000. — 412 с.
7. **Езепова В.Е.** Нанотехнологии в создании нового продукта // Маркетинг в России и за рубежом. — 2006. — № 5. — С. 9 — 13.
8. www.membrana.ru.
9. Интернет-журнал «Коммерческая биотехнология» // <http://www.cbio.ru>.
10. www.nanotechweb.org: Nanolayers of silicon conduct well if clean.
11. **Blanc G.** Sur les nanotechnologies // Futunbles. — 2004. — № 293. — P. 57—62.
12. **Раткин Л.** Мегаинвестиции в нанотехнологии // Инвестиции в России. — 2006. — № 1. — С. 39—42.
13. **Материалы VII** Междунар. форума «Высокие технологии XXI века». — М., 2006. — С. 85—192.
14. **Рыбалкина М.** Нанотехнологии для всех. Большое — в малом. — М., 2005. — С. 429. <http://ribalkina.narod.ru>.
15. www.nanonewsnet.ru.
16. **Флерова А.** О государственном регулировании инновационного развития в области наноматериалов и нанотехнологий в России // Инвестиции в России. — 2006. — № 8. — С. 41—47.
17. **Рекомендации** по итогам круглого стола «Проблемы законодательного регулирования и государственной политики по развитию нанотехнологий в Российской Федерации». — М.: Комитет Совета Федерации по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии, 2005. — 36 с.
18. **Корчак В. Ю.** Техническое регулирование в области нанотехнологий // Компетентность. — 2005. — № 7—8. — С. 11—15.
19. **Основы** политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом России 30 марта 2002 года; Перечень критических технологий Российской Федерации.
20. **Федеральная** целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002—2006 годы» // www.fcncp.ru.
21. **Концепция** развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года, одобренная Правительством Российской Федерации (18 ноября 2004 г.).
22. **Программа** развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 года. Проект.
23. **Концепция** федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2012 годы». Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 июля 2006 г. № 977-р.
24. **Филиппов А. Ю., Флёрова А. Н., Брызгалов Ю. И., Костина Г. А.** Государственный рубрикатор научно-технической информации как инструмент для анализа научной, научно-технической и инновационной деятельности по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации // Конкурс. — 2005. — № 1. — С. 37—39.
25. **Федеральный** закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
26. **Симонов Д.** Фантастика на триллион долларов // Деловой журнал. — 2007. — № 1. — С. 86—91.
27. http://www.imp.kiev.ua/NANO/Ukr/Booklet2004/zvit_2004.doc.
28. http://www.nano.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=70&Itemid=38.
29. <http://www.kontrakty.com.ua/show/rus/article/39/4420068096.html>.