

**Нанотехнологии
как ключевой фактор
нового технологического уклада
в экономике**

Под редакцией
академика РАН С.Ю. Глазьева и профессора В.В. Харитонова

МОНОГРАФИЯ

Москва 2009

УДК
ББК
Н

Авторский коллектив:

С.Ю. Глазьев, В.Е. Дементьев, С.В. Елкин, А.В. Крянев,
Н.С. Ростовский, Ю.П. Фирстов, В.В. Харитонов

Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике / Под ред. академика РАН С.Ю.Глазьева и профессора В.В.Харитонова. – М.: «Тривант». 2009. – 304 с. (+ цветная вклейка).

В книге анализируется процесс становления нового технологического уклада в мировом технико-экономическом развитии. Делается попытка обосновать целостное видение процесса современного развития глобальной и российской экономики в единстве технологического, макроэкономического и управленческого аспектов. На основе анализа динамики 12 индикаторов развития нанотехнологий и комплекса технологически сопряженных производств в различных странах показана ключевая роль нанотехнологии в этом процессе. Даются оценки уровня развития нового технологического уклада в российской экономике. Показано, что для вхождения России в число передовых стран в области нанотехнологий потребуются удвоение финансовых вложений и удвоение производства нанопродукции каждые 2 – 3 года. В книге использованы результаты, полученные авторами при работе в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 годы».

Рецензент доктор эконом.н., проф. А.И.Агеев,

© Авторы, 2009

ISBN

Редакторы *Н.В. Егорова, Т.В. Волвенкова*
Оригинал-макет изготовлен *С.В. Тялиной*

Подписано в печать 02.08.2009. Формат 60x84 1/16
Печ.л. 19,0. Уч.-изд.л. 19,0. Тираж 200 экз. Заказ №

Издательство «Тривант», г. Троицк Московской области

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Закономерности долгосрочного технико-экономического развития	9
1.1. Современная парадигма науки об экономическом развитии.....	9
1.2. Технологические уклады в экономическом развитии.....	10
1.3. Экономические механизмы развития и смены технологических укладов.....	20
Глава 2. Мировой экономический кризис как процесс замещения доминирующих технологических укладов	27
2.1. Признаки структурного кризиса.....	27
2.2. Проблемы формирования антикризисной политики.....	30
Глава 3. Влияние нанотехнологий на становление нового технологического уклада в мировой экономике	36
3.1. Зарождение траектории развития нанотехнологий.....	36
3.2. Определения и классификаторы нанотехнологий.....	42
3.3. Распространение нанотехнологий в отраслях экономики.....	52
3.3.1. Нанoeлектроника.....	52
3.3.2. Медицина и фармацевтика.....	72
3.3.3. Генно-модифицированные продукты.....	77
3.3.4. Конструкционные и функциональные материалы.....	80
3.3.5. Машиностроение.....	93
3.3.6. Энергетика.....	99
3.3.7. Военные применения и безопасность.....	110
Глава 4. Измерение распространения нанотехнологий в мировой экономике	114
4.1. О перечне показателей распространения нанотехнологий.....	114
4.2. Индикаторы уровня развития научных исследований.....	117
4.2.1. Количество публикаций по нанотехнологиям.....	117
4.2.2. Количество зарегистрированных патентов, используемых в нанотехнологиях.....	121
4.3. Индикаторы развития институционально-технологической инфраструктуры.....	127
4.3.1. Число действующих стандартов.....	127
4.3.2. Количество зарегистрированных компаний, производящих нанопродукты, и объемы их производства.....	133

4.4. Индикаторы распространения нанотехнологий в производственной сфере	146
4.4.1. Объемы инвестиций в развитие нанотехнологий	146
4.4.2. Объемы производства метрологического оборудования.....	149
4.5. Индикаторы уровня экономической активности компаний, производящих и потребляющих нанопродукцию.....	157
4.5.1. Динамика стоимости акций компаний на фондовых рынках	157
4.5.2. Фондовые индексы нанотехнологий (индексы инновативности)	161
4.5.3. Частота обращений СМИ к тематике nanoиндустрии. Общественное внимание к нанотехнологиям.....	166
Глава 5. Становление нового технологического уклада в российской экономике.....	171
5.1. Предпосылки модернизации российской экономики.....	172
5.2. Борьба за глобальное лидерство в формировании нового технологического уклада.....	176
5.3. Меры по стимулированию распространения нанотехнологий в России.....	183
5.4. Теоретические основы стратегии опережающего развития в условиях смены технологических укладов.....	191
5.5. Возможности технологического развития в условиях кризиса мировой экономики.....	193
5.6. Приоритетные направления научно-технической политики	207
5.7. Институты развития нового технологического уклада	212
5.8. Макроэкономические условия опережающего развития российской экономики	220
5.9. Всемирное стимулирование становления нового технологического уклада как основное направление антикризисной политики.....	227
Список литературы	239
Приложения	257

Введение

Нанотехнологии, меры по преодолению мирового финансового кризиса, переход на инновационный путь развития – наиболее популярные сегодня темы экономических дискуссий. Пока они обсуждаются раздельно, палитра суждений о перспективах дальнейшего экономического развития не собирается в целостную картину. Это порождает фрагментарность и бессистемность экономической политики, что обрекает ее на неэффективность решения проблем вывода экономики из кризиса и перевода ее на инновационный путь развития.

В настоящей книге делается попытка обосновать целостное видение процесса современного развития глобальной и российской экономики в единстве технологического, макроэкономического и управленческого аспектов. Исходя из современной теории долгосрочного технико-экономического развития как процесса последовательной смены технологических укладов, раскрываются глубинные причины переживаемого в настоящее время мирового финансового кризиса, связанные с замещением доминирующих технологических укладов. Доказывается, что его преодоление произойдет на новой длинной волне экономического роста, материально-техническую основу которого составит очередной технологический уклад, ключевым фактором которого являются нанотехнологии. Их распространение революционизирует традиционные и порождает новые направления экономического роста, повышая экономическую эффективность производства и расширяя возможности потребления, создавая новые сферы экономической деятельности.

Становление и рост нового технологического уклада будет определять глобальное экономическое развитие в ближайшие два-три десятилетия. По мере завершения структурного кризиса, связанного с замещением предшествующего технологического уклада новым, мировая экономика войдет в очередную длинную волну экономической конъюнктуры на новом уровне эффективности экономики и с новой технологической структурой, пронизанной нанотехнологиями.

В настоящей книге анализируется роль нанотехнологий в формировании нового технологического уклада, исследуется процесс их распространений в мировой и российской экономике, обосновы-

ваются рекомендации по политике опережающего развития последней на основе своевременного становления ядра нового технологического уклада, составляющими которого являются: наноэлектроника, наноматериалы, наноборудование и нанометрология, нанобиотехнологии, основанные на достижениях молекулярной биологии и генной инженерии, гелио- и ядерная энергетика.

В процессе распространения нанотехнологий ожидается, что рост ядерной энергетике и потребления природного газа будет дополнен расширением сферы использования водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, существенно расширится применение возобновляемых источников энергии, прежде всего солнечной энергии. Произойдет еще большая интеллектуализация производства, переход к непрерывному инновационному процессу в большинстве отраслей и непрерывному образованию в большинстве профессий. Завершится переход от «общества потребления» к «интеллектуальному обществу», в котором важнейшее значение приобретут требования к качеству жизни и комфортности среды обитания. Производственная сфера перейдет к экологически чистым и безотходным технологиям. В структуре потребления доминирующее значение займут информационные, образовательные, медицинские услуги. Прогресс в технологиях переработки информации, системах телекоммуникаций, финансовых технологиях повлечет за собой дальнейшую глобализацию экономики, формирование единого мирового рынка товаров, капитала, труда, переход к «экономике знаний».

Ныне освоенный передовыми странами пятый технологический уклад основывается на применении достижений микроэлектроники в управлении физическими процессами на микронном уровне. Шестой технологический уклад основывается на применении нанотехнологий, оперирующих на уровне одной миллиардной метра и способных менять молекулярную структуру вещества, придавая ему принципиально новые свойства, а также проникать в клеточную структуру живых организмов, видоизменяя их в нужную сторону. Наряду с качественно более высокой мощностью вычислительной техники нанотехнологии позволяют создавать новые структуры живой и неживой материи, выращивая их на основе алгоритмов самовоспроизводства. Прогнозы показывают, что к 2015 г. общая численность персонала различных отраслей нанотех-

нологической промышленности в мире может дойти до 2 млн человек, а суммарная стоимость товаров, производимых с использованием наноматериалов, составит, как минимум, несколько сотен миллиардов долларов и, возможно, приблизится к \$ 1 трлн.

В настоящее время новый технологический уклад выходит из эмбриональной фазы развития. Его переход в фазу роста произойдет с завершением структурного кризиса мировой экономики и формированием адекватной ему структуры экономических оценок. В этой фазе основополагающее значение для успешного долгосрочного развития экономики имеет **опережающее освоение** ключевых производств ядра нового технологического уклада, дальнейшее расширение которых позволит получать интеллектуальную ренту в глобальном масштабе. Совокупность работ по цепочке жизненного цикла продукции (от фундаментальных исследований до рынка) требует определенного времени t . Рынок завоевывают те, кто умеет пройти этот путь быстрее и произвести продукт в большем объеме и лучшего качества. Скорость, объем и качество – важнейшие индикаторы рыночной экономики.

В управлении внедрением (продвижением) инновационных технологий в развитых странах применяется стратегия «Bringing product from laboratory to the market» (перенесение продукта из лаборатории на рынок), позволяющая до минимума сократить наиболее сложную и рискованную фазу жизненного цикла продукции – воплощение результатов НИОКР в производственном процессе.

Российская наука имеет достаточный для этого потенциал уже полученных знаний и весьма перспективные достижения, своевременное практическое освоение которых может обеспечить лидирующее положение российских предприятий на гребне очередной волны экономического роста. В частности, российским ученым принадлежит приоритет в открытии технологий клонирования организмов, стволовых клеток, оптикоэлектронных систем на основе полупроводниковых гетероструктур, производства и использования нанопорошков, в обосновании теоретической возможности нанотехнологий и др.

Вместе с тем, хотя заделы в области фундаментальных исследований и имеют большое значение для освоения ключевых направлений развития нанотехнологий, сами по себе они не гарантируют их успешного распространения. Для этого нужны институты под-

держки инновационной, инвестиционной и деловой активности в соответствующих направлениях, достаточно развитый спрос и каналы реализации продукции, научно-технологическая среда взаимодействующих друг друга технологически сопряженных производств, формирующая целостный контур расширенного воспроизводства нового технологического уклада.

В настоящей работе использован обширный набор статистических данных и аналитических обзоров, выполненных в России и за рубежом. Несмотря на отсутствие систематически публикуемой статистики в сфере использования нанотехнологий, фрагментарность и оценочный характер некоторых данных, мы старались получить целостную картину макропараметров продуктовых потоков в ходе становления nanoиндустрии.

Данная работа показывает необходимость проведения систематических измерений показателей и скорости распространения нанотехнологий и нанопродуктов, контроля баланса структурных отношений в nanoиндустрии, играющей роль ключевого фактора становления нового технологического уклада и роста мировой экономики.

В книге использованы результаты, полученные авторами при работе в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы». Работа выполнялась по инициативе и под руководством академика РАН С.Ю. Глазьева. Главы 1 и 2 написаны С.Ю.Глазьевым, материалы для глав 3 и 4 подготовлены преподавателями Экономико-аналитического института МИФИ С.В. Елкиным, А.В. Кряневым, Н.С. Ростовским, Ю.П. Фирстовым и отредактированы В.В. Харитоновым. Глава 5 написана С.Ю. Глазьевым и В.Е. Дементьевым – профессором Государственного университета управления. Авторы выражают глубокую признательность преподавателям и сотрудникам МИФИ А.А. Ежову, С.Г. Климанову, Л.Н. Коровкиной, В.Ф. Петрунину, В.И. Трояну, Т.В. Шляпошниковой, Д.К. Удумяну за высококвалифицированную помощь в подготовке и анализе материалов для глав 3 и 4.

*Академик РАН С.Ю. Глазьев,
профессор МИФИ В.В. Харитонов*

Глава 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

1.1. Современная парадигма науки об экономическом развитии

Основополагающими для теории экономического развития, раскрывающими характерные для него свойства неравновесности, неравномерности и цикличности являются научные школы, развивающие работы Н.Д. Кондратьева и Й. Шумпетера. В последнее десятилетие на их основе формируется новая парадигма экономической науки, представители которой объединились в международную исследовательскую сеть ГЛОБЭЛИКС [1.1]. В России интенсивные исследования в рамках данной научной парадигмы ведутся коллективами ученых в Государственном университете управления (ведущая научная школа «Теория эффективности социально-экономического развития в динамике взаимодействия технологических укладов и общественных институтов»), в Санкт-Петербургском государственном университете, в Саратовском технологическом университете, в Центральном экономико-математическом институте РАН, Институте экономики РАН, Национальном институте развития, Институте экономических стратегий, Академии государственной службы. Научная школа в сфере экономики наукоемких технологий формируется в МИФИ.

Отличительной особенностью данной научной парадигмы является эволюционный подход к исследованию процессов экономического развития в реальной системе опосредующих их технологических, производственных, финансовых, торговых, социальных взаимосвязей и взаимозависимостей, который предполагает проникновение в их внутреннюю логику, ритм и механизмы взаимодействия движущих факторов. В результате многочисленных исследований, проводившихся в рамках этой научной парадигмы, можно считать установленными следующие закономерности долгосрочного экономического развития:

- неравномерность, выражающаяся в чередовании длинных волн экономической конъюнктуры;
- обусловленность периодически возникающих структурных кризисов мировой экономики глубокими технологическими сдви-

гами, кардинально изменяющими ее структуру, состав и соотношение факторов экономического роста;

- неравновесность процессов технико-экономического развития, жизненный цикл каждого из которых имеет внутреннюю логику и объективные ограничения;

- нелинейность траекторий развития, распространения и замещения технологий;

- неопределенность и альтернативность технологических траекторий в начале жизненного цикла соответствующих направлений технико-экономического развития, с последующим снижением конкуренции и формированием глобальных монополий;

- наличие разрывов между фазами жизненного цикла эволюции технологий, возможности преодоления которых зависят от состояния институтов инновационной и инвестиционной системы.

Изучение этих и других закономерностей технико-экономического развития позволило разработать ряд практических приложений в части экономической политики, направленных на стимулирование инновационной активности на макро- и микроуровнях, управление нововведениями, проведение государственной структурной и научно-технической политики, создание соответствующих институтов обеспечения НТП. Многие из разработанных в рамках данной научной парадигмы рекомендаций успешно применяются в практике управления на уровне государства и фирм в ЕС, США, Японии, Китае, Бразилии, Корее, ЮАР и др. [1.1]. К сожалению, рекомендации, разработанные специально для России, не были востребованы органами федеральной власти, хотя успешно применяются в некоторых регионах страны (см. [1.2], как и материалы 5-й Международной конференции «GLOBELICS-RUSSIA-2007», 19 – 23 сентября 2007 г., Саратов).

1.2. Технологические уклады в экономическом развитии

В настоящей книге в качестве теоретической основы используется модель долгосрочного технико-экономического развития, представляющая этот процесс в виде последовательного замещения крупных комплексов технологически сопряженных производств – технологических укладов [1.3]. Такое структурирование процесса

глобального технико-экономического развития было впервые предложено в [1.4] и показало свою результативность в ряде последующих работ по измерению технологических изменений современной экономики [1.3, 1.5, 1.6].

Исследования, выполненные в рамках данной научной школы [1.3, 1.7], показали, что в технологической структуре экономики можно выделить группы технологических совокупностей, связанные друг с другом однотипными технологическими цепями и образующие воспроизводящиеся целостности – технологические уклады. Каждый такой уклад представляет собой целостное и устойчивое образование, в рамках которого осуществляется замкнутый цикл, включающий добычу и получение первичных ресурсов, все стадии их переработки и выпуск набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующему типу общественного потребления. Жизненный цикл технологического уклада охватывает около столетия, при этом период его доминирования в развитии экономики составляет от 40 до 60 лет (по мере ускорения НТП и сокращения длительности научно-производственных циклов этот период постепенно сокращается, табл. 1.1 и 1.2, рис. 1.1).

Комплекс базисных совокупностей технологически сопряженных производств образует **ядро технологического уклада**. Технологические нововведения, определяющие формирование ядра технологического уклада и революционизирующие технологическую структуру экономики, получили название **«ключевой фактор»**. Отрасли, интенсивно использующие ключевой фактор и играющие ведущую роль в распространении нового технологического уклада, являются его **несущими отраслями**.

К настоящему времени в мировом технико-экономическом развитии (начиная с промышленной революции в Англии) можно выделить жизненные циклы **пяти** последовательно сменявшихся друг друга **технологических укладов**, включая доминирующий в структуре современной экономики информационный технологический уклад (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Хронология и характеристики технологических укладов [1.3]

Характеристики уклада	Номер технологического уклада					
	1	2	3	4	5	6
Период доминирования	1770–1830 годы	1830–1880 годы	1880–1930 годы	1930–1970 годы	от 1970 до 2010 годов	2010–2050 годы
Технологические лидеры	Великобритания, Франция, Бельгия	Великобритания, Франция, Бельгия, Германия, США	Германия, США, Великобритания, Франция, Бельгия, Швейцария, Нидерланды	США, Западная Европа, Япония	США, ЕС, Япония	США, ЕС, Япония, Россия (?)
Развитые страны	Германские государства, Нидерланды	Италия, Нидерланды, Швейцария, Австро-Венгрии	Италия, Дания, Австро-Венгрия, Канада, Япония, Испания, Россия, Швеция	СССР, Новые индустриальные страны (НИС)	НИС, Бразилия, Россия	НИС, СНГ, Бразилия, Китай
Ядро технологического уклада	Текстильная пр-ть, текстильное машиностроение, выплавка чугуна, обработка железа, строительство каналов, водяная двигатель	Паровой двигатель, железное дорожное строительство, транспорт, машиностроение, угольная, станкоинструментальная пр-ть, черная металлургия	Электротехническое, тяжелое машиностроение, прокат стали, линии электропередач, неорганическая химия	Автомобильное, тракторостроение, цветная металлургия, производство товаров длительного пользования, синтетические материалы, органическая химия	Электронная пр-ть, вычислительная, опτικοволоконная техника, программное обеспечение, телекоммуникации, роботостроение, производство и переработка газа, информационные услуги	Нанoeлектроника, молекулярная и наноматериалы, наноматериалы и наноструктурированные покрытия, оптические наноматериалы, наногетерогенные системы, нанобиотехнология, наносистемная техника, наноборудование

Ключевой фактор	Формирующееся ядро нового уклада	Текстильные машины	Паровой двигатель, станки	Электродвигатель, сталь	Двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия	Микроэлектронные компоненты	Нанотехнологии
		Паровые двигатели, машинно-строение	Сталь, электроэнергетика, тяжелое машиностроение, неорганическая химия	Автомобилестроение, органическая химия, производство и переработка нефти, цветная металлургия, автодорожное строительство	Радары, строительство трубопроводов, авиационная промышленность и переработка газа	Нанотехнологии, молекулярная биология	Ключевые технологии, методы инженерии
Преимущества данного технологического уклада по сравнению с предшествующим		Механизация и концентрация производства на фабриках	Рост масштабов и концентрации производства на основе использования парового двигателя	Повышение гибкости производства на основе использования электродвигателя стандартизация производства, урбанизация	Массовое и серийное производство	Индивидуализация производства и потребления, повышение гибкости производства	Резкое снижение энерго и материалоёмкости производства, конструирование материалов и организмов с заранее заданными свойствами

Таблица 1.2

Институциональная структура технологических укладов [1.3]

		Номер технологического уклада					
		1	2	3	4	5	6
Социально-экономические характеристики укладов							
Режимы экономического регулирования в странах-лидерах	Разрушение феодальных монополий, ограничение промышленно-федеральных союзов, свобода торговли	Свобода торговли, ограничение государственного вмешательства, появление отраслевых профессиональных союзов. Формирование социального законодательства	Расширение государственных регулирования. Государственная ответственность на естественные монополии, основные виды инфраструктуры, в том числе - социальной	Развитие государственных институтов социального обеспечения, военнопromышленный комплекс. Кейнсианское государственное регулирование экономики	Государственное регулирование стратегических видов информации и коммуникационной инфраструктуры, либерализация регулирования финансовых институтов и рынков капитала	Стратегическое планирование научно-технического и экономического развития. Электронное правительство. Институты развития и фонды финансирования инновационной активности	
Международные режимы экономического регулирования	Британское доминирование в международна-	Политическое, финансовое и торговое доминирование	Империализм и колонизация. Конец	Экономическое и военное доминирование США и СССР	Полицентричность мировой экономической	Становление институтов глобального регулирования	

	родной торговле, финансах	Великобритании. Свобода международной торговли	Британского господства		системы. Региональные блоки, Либерализация. Глобализация	экономической активности и мировых рынков. Поливальность мировой финансовой системы
Основные экономические институты	Конкуренция отечественных предпринимателей и мелких фирм, их объединение в партнерства, обеспечение кооперацию и индивидуального капитала	Концентрация производства в крупных организациях. Развитие акционерных обществ, обеспечение востребованных центров капитала на принципах ограниченной ответственности	Слияние фирм, концентрация производства в карьерах и трестах. Господство монополий и олигополий. Концентрация финансового капитала в банковской системе. Отделение управления от собственности	Транснациональная корпорация, олигополия на мировом рынке. Вертикальная интеграция и концентрация производства. Дивизиональный иерархический контроль и доминирование структуры в организациях	Международная интеграция мелких и средних фирм на основе инновационных технологий, интеграция производства и сбыта. Поставки «как раз вовремя»	Стратегические альянсы. Интеграционные структуры бизнеса, науки и образования, технопарки, государственное партнерство
Организация инновационной активности в структурах-лидерах	Организация научных исследований в	Формирование научных исследований в	Создание внутрифирменных научных	Специализированные и научно-исследовательские	Горизонтальная интеграция НИОКР, проектирование	Переход к непрерывному инновационному процессу.

	<p>национальных академиях и научных организациях, местных научных и инженерных организациях. Индивидуальное и женерное и изобретательское предприятие-инимательство и партнерство. Профессиональное обучение кадров с отрывом и без отрыва от производства</p>	<p>ституты. Ускоренное развитие профессионального образования и его интернационализация. Формирование национальных и международных систем охраны интеллектуальной собственности</p>	<p>исследовательских, от-делов. Использование ученых и инженеров с университетским образованием в производстве. Национальные институты и лаборатории. Всеобщее начальное образование</p>	<p>ские отделы в большинстве фирм. Государственное субсидирование военных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Вовлечение государства в сферу гражданских НИОКР. Развитие среднего, высшего и профессионального образования. Передача технологии посредством лицензий и инвестиций транснациональными корпорациями</p>	<p>ния производства. Вычислительные сети и совместные исследования. Государственная поддержка новых технологий и университетско-промышленное сотрудничество</p>	<p>отнесение расходов на НИОКР на себя-стоимость продукции. Коммерциализация науки и науки но-производственная ин-теграция, КАЛС-технологии. Компьютерное моделирование жизненного цикла продукции</p>
--	--	---	--	--	---	--

Ключевыми факторами доминирующего сегодня технологического уклада являются микроэлектроника и программное обеспечение. В число технологических совокупностей, формирующих его ядро, входят электронные компоненты и устройства, электронно-вычислительная техника, радио- и телекоммуникационное оборудование, лазерное оборудование, услуги по обслуживанию вычислительной техники. Генерирование технологических нововведений, определяющих развитие этого технологического уклада, происходит внутри указанного комплекса отраслей и опосредовано сильными нелинейными обратными связями между ними.

В настоящее время, как следует из сложившегося ритма долгосрочного технико-экономического развития, этот технологический уклад близок к пределам своего роста – всплеск и падение цен на энергоносители, мировой финансовый кризис – верные признаки завершающей фазы жизненного цикла доминирующего технологического уклада и начала структурной перестройки экономики на основе следующего уклада. Сегодня формируется воспроизводственная система **нового, шестого технологического уклада**, становление и рост которого будет определять глобальное экономическое развитие в ближайшие два-три десятилетия.

Точкой отсчета становления шестого технологического уклада следует считать освоение нанотехнологий преобразования веществ и конструирования новых материальных объектов, а также клеточных технологий изменения живых организмов, включая методы генной инженерии. Вместе с электронной промышленностью, информационными технологиями, программным обеспечением этот ключевой фактор составляет ядро шестого технологического уклада.

Уже видны ключевые направления его развития: биотехнологии, основанные на достижениях молекулярной биологии и генной инженерии, нанотехнологии, системы искусственного интеллекта, глобальные информационные сети и интегрированные высокоскоростные транспортные системы. Дальнейшее развитие получат гибкая автоматизация производства, космические технологии, производство конструкционных материалов с заранее заданными свойствами, атомная промышленность, авиаперевозки. Рост атомной энергетики и потребления природного газа будет дополнен расширением сферы использования водорода в качестве экологически

чистого энергоносителя, существенно расширится применение возобновляемых источников энергии. Произойдет еще большая интеллектуализация производства, переход к непрерывному инновационному процессу в большинстве отраслей и непрерывному образованию в большинстве профессий. Завершится переход от «общества потребления» к «интеллектуальному обществу», в котором важнейшее значение приобретут требования к качеству жизни и комфортности среды обитания. Производственная сфера перейдет к экологически чистым и безотходным технологиям. В структуре потребления доминирующее значение займут информационные, образовательные, медицинские услуги. Прогресс в технологиях переработки информации, системах телекоммуникаций, финансовых технологиях повлечет за собой дальнейшую глобализацию экономики, формирование единого мирового рынка товаров, капитала, труда.

Наряду с отраслями ядра нового технологического уклада быстро растущими сферами применения нанотехнологий станут его несущие отрасли. В их числе останутся несущие отрасли предшествующего пятого технологического уклада: электротехническая, авиационная, ракетно-космическая, атомная отрасли промышленности, приборостроение, станкостроение, образование, связь. Наряду с ними связанная с распространением нанотехнологий революция охватывает здравоохранение (эффективность которого многократно возрастает с применением клеточных технологий и методов диагностики генетически обусловленных болезней) и сельское хозяйство (благодаря применению достижений молекулярной биологии и геной инженерии), а также создание новых материалов с заранее заданными свойствами. Благодаря появлению наноматериалов, в число несущих отраслей нового технологического уклада также войдут: химико-металлургический комплекс, строительство, судо- и автомобилестроение.

Существенные изменения претерпит культура управления. Дальнейшее развитие получают системы автоматизированного проектирования, которые вместе с технологиями маркетинга и технологического прогнозирования позволяют перейти к автоматизированному управлению всем жизненным циклом продукции, на основе так называемых CALS-технологий, которые становятся доминирующей культурой управления развитием производства [1.8].

CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) – принятая в большинстве промышленно развитых стран технология (концепция, парадигма) использования единого информационного пространства (интегрированной информационной среды) на основе международных стандартов, для единообразного информационного взаимодействия всех участников жизненного цикла продукции: разработчиков, заказчиков (включая государственных) и поставщиков продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала.

В управлении внедрением самих нанотехнологий в развитых странах применяется стратегия: «Bringing product from laboratory to the market» (перенесение продукта из лаборатории на рынок), позволяющая до минимума сократить наиболее сложную и рискованную фазу жизненного цикла продукции – воплощение результатов НИОКР в производственном процессе.

Исходя из изложенного, **структура нового (шестого) технологического уклада**, определяющего среду распространения нанотехнологий, выглядит следующим образом (рис. 1.2):

Ключевой фактор: нанотехнологии, клеточные технологии и методы геномной инженерии, опирающиеся на использование электронных растровых и атомно-силовых микроскопов, соответствующих метрологических систем.

Ядро: наноэлектроника, молекулярная и нанофотоника, наноматериалы и наноструктурированные покрытия, оптические наноматериалы, наногетерогенные системы, нанобиотехнологии, наносистемная техника, наноборудование.

Несущие отрасли: электронная, ядерная и электротехническая промышленности, информационно-коммуникационный сектор, станко-, судо-, авто- и приборостроение, фармацевтическая промышленность, солнечная энергетика, ракетно-космическая промышленность, авиастроение, клеточная медицина, семеноводство, строительство, химико-металлургический комплекс.

Между доминирующим сегодня и зарождающимся новым технологическими укладами существует преемственность. Зрелый технологический уклад – источник первоначальных интеллектуальных, материальных и финансовых ресурсов (исходного капитала) для нового. В его рамках возникают и базовые технологии нового технологического уклада, и спрос на их продукцию. Первый контур накопления нового технологического уклада возникает как

настройка над технологическими цепочками предыдущего. По мере его становления происходит развитие новых, адекватных ему технологических совокупностей, генерирующих собственный спрос на новую продукцию, и формируется второй контур накопления – новый технологический уклад входит в режим расширенного воспроизводства на собственной технологической основе.

Формирование воспроизводственного контура нового технологического уклада – длительный процесс, имеющий два качественно разных этапа (рис. 1.3). Первый – появление его ключевого фактора и ядра в условиях доминирования предшествующего технологического уклада, который объективно ограничивает становление производств нового технологического уклада потребностями собственного расширенного воспроизводства. С исчерпанием экономических возможностей этого процесса наступает второй этап, начинающийся с замещения доминирующего технологического уклада новым и продолжающийся в виде новой длинной волны экономической конъюнктуры.

Этим определяется характерная для длинных волн динамика инвестиций в основные фонды. Экономический рост в рамках одной длинной волны осуществляется на базе последовательности двух качественно разнородных «ритмов Кузнеця»: 30 лет – на основе инвестиций в производство средств производства, следующие 30 лет – на основе инвестиций в производство предметов потребления [1.9, 1.10]. Политика опережающего развития заключается в сближении этих циклов, их максимально возможной синхронизации. При этом технологически отстающие страны получают преимущество – в формировании воспроизводственного контура нового технологического уклада они могут ориентироваться на уже накопленный инвестиционно-технологический опыт развитых стран, оптимизируя состав создаваемых технологических цепочек для обеспечения целостности и оптимального масштаба соответствующих технологических совокупностей.

1.3. Экономические механизмы развития и смены технологических укладов

Замещение технологических укладов требует, как правило, соответствующих изменений в социальных и институциональных

системах, которые не только снимают социальную напряженность, но и способствуют массовому внедрению технологий нового технологического уклада, соответствующему ему типу потребления и образа жизни. В фазе роста нового уклада большинство технологических цепей предшествующего перестраиваются в соответствии с его потребностями. По мере развития очередного технологического уклада создается новый вид инфраструктуры, преодолевающий ограничения предыдущего, а также осуществляется переход на новые виды энергоносителей, которые закладывают основу для становления следующего технологического уклада [1.11].

На разных этапах жизненного цикла технологического уклада меняется характер технико-экономического развития. В фазе формирования нового технологического уклада существует значительное число вариантов его базисных технологий. Конкуренция хозяйствующих субъектов, применивших альтернативные технологии, приводит к отбору нескольких наиболее эффективных вариантов. В условиях актуализации соответствующих общественных потребностей в фазе роста технологического уклада, развитие его базисных производств идет по пути наращивания выпуска небольшого числа универсальных моделей, сконцентрированного в немногих освоивших новую технологию организациях. С насыщением указанных общественных потребностей возникает необходимость в модификации продукции базисных производств, в соответствии с потребительскими предпочтениями, в снижении издержек производства и повышении качества продукции с целью расширения спроса. С расширением разнообразия производимой продукции и «разветвлением» воспроизводственного контура нового технологического уклада возрастает специализация производства. Снижающаяся относительная эффективность высококонцентрированного производства на поздней фазе роста технологического уклада толкает крупные хозяйственные организации на диверсификацию своей производственной программы. Завершение жизненного цикла технологического уклада сопровождается насыщением соответствующего типа потребления, перепроизводством составляющих его товаров и перенакоплением капитала в его технологических совокупностях.

Фаза роста нового технологического уклада сопровождается не только снижением издержек производства, которое происходит особенно быстро с формированием его воспроизводственного кон-

тура, но и изменением экономических оценок в соответствии с условиями его воспроизводства. Процесс замещения технологических укладов начинается с резкого роста цен на энергоносители и сырьевые материалы, обусловленного их избыточным потреблением в разросшихся технологических цепях перезревшего ТУ. Этот всплеск цен соответствует максимуму отклонения энергопотребления от векового тренда (рис. 1.4).

Скачок цен на энергоносители и сырье приводит к резкому падению прибыльности производства в технологических совокупностях доминирующего ТУ. Это служит сигналом к массовому внедрению новых, менее энерго- и материалоемких технологий. Одновременно происходит высвобождение капитала из достигших пределов роста производств перезревшего технологического уклада. По мере его перетока в производство нового ТУ происходит рост последнего. Изменение соотношения цен способствует повышению эффективности составляющих новый ТУ технологий, а с вытеснением предшествующего технологического уклада – эффективности всего общественного производства. В дальнейшем с насыщением соответствующих общественных потребностей, снижением потребительского спроса и цен на продукцию нового ТУ, а также с исчерпанием технических возможностей совершенствования и удешевления составляющих его производств рост эффективности общественного производства замедляется. В заключительной фазе жизненного цикла этого, ставшего доминирующим, технологического уклада, совпадающей с фазой зарождения следующего, происходит снижение темпов экономического роста, а также относительное, а возможно, и абсолютное снижение эффективности общественного производства.

Феномен постепенного снижения возможностей технологического совершенствования любой производственно-технической системы хорошо известен в теории и практике технологического прогнозирования и нашел отражение в различных законах убывающей эффективности (производительности) эволюционного совершенствования техники. В частности, он нашел отражение в так называемом «законе Гроша», согласно которому, если техническая система совершенствуется на базе неизменного научно-технического принципа, то с достижением некоторого уровня ее развития стоимость новых ее моделей растет как квадрат ее эффек-

тивности. Вследствие сопряженности составляющих технологический уклад производств и их синхронного развития, падение эффективности их технических усовершенствований происходит более или менее одновременно, отражаясь в резком замедлении темпов технического развития экономики и снижении показателей, отражающих вклад НТП в прирост совокупного общественного продукта. В ходе жизненного цикла следующего технологического уклада колебания эффективности общественного производства, различных структурных соотношений и пропорций повторяются вновь [1.3].

В зависимости от фаз жизненного цикла доминирующего технологического уклада меняются движущие силы экономического роста. В период становления нового технологического уклада ведущую роль играют новаторы, первыми осваивающие его базовые нововведения. Благодаря их деятельности создаются предпосылки замещения прежнего технологического уклада новым, реализуемые после скачка цен на энергоносители и изменения соотношения прибыльности производства в пользу технологических совокупностей нового ТУ. В фазе роста ТУ траектория его формирования становится вполне определенной, растет масштаб производства, происходит окостенение его технологической структуры. В этой фазе роль новаторов снижается, становится преобладающей рутинная активность предпринимателей-имитаторов. Длительность каждой из этих фаз составляет около двух десятилетий. Они характеризуются разными механизмами экономического роста, различающимися соотношением ролей финансового и промышленного капитала.

Как уже указывалось, жизненный цикл нового технологического уклада начинается еще во время доминирования предыдущего, укорененного в промышленной и институциональной структурах, во властных сферах и социальных организациях. В этот период можно говорить о сильной инерции промышленного капитала, вложенного в материальные и нематериальные активы, организацию, подготовку персонала, отношения с поставщиками, дистрибьюторами и клиентами. Лишь немногие из склонных к радикальным нововведениям предпринимателей располагают достаточными для этого собственными средствами.

Финансовый капитал мобильнее промышленного капитала. Находясь в ликвидной форме, он легко перетекает в новые сферы, включая инновационные проекты. Поэтому в фазе становления нового технологического уклада решающую роль при принятии решений об инвестициях в базовые нововведения, финансировании необходимых для этого НИОКР играют финансовые агенты (менеджеры венчурных фондов, управляющие банком и др.) [1.12]. Возможности массового внедрения новых технологий возникают с появлением избыточных капиталов на финансовом рынке. Это происходит по мере исчерпания возможностей роста предыдущего технологического уклада, когда наиболее дальновидные финансисты, сталкиваясь со снижением темпов роста и прибыльности, кредитуемых ими производств, начинают поиск принципиально новых возможностей для инвестиций. В такой ситуации можно говорить о лидерстве финансовых агентов в обеспечении технологического развития.

Для становления нового технологического уклада большую роль играют государственные инвестиции, средства образовательных центров и институты венчурного финансирования. В условиях формирования технологических траекторий нового ТУ, снимая значительную часть риска, государство дает возможность новаторам реализовать свои научно-технические проекты в ситуации высокой конкуренции альтернативных технических решений при недостатке спроса на их результаты. От финансовых агентов требуется умение оценить перспективы коммерциализации новых знаний, а порой и инициировать этот процесс. Когда, по мере формирования траектории роста нового технологического уклада, эти перспективы становятся общим достоянием, такое умение оказывается не столь актуальным. В фазе роста технологического уклада на первый план выходят навыки быстрого тиражирования технологии, форсированного наращивания выпуска продукции, которые фактически могут быть имитацией уже представленных на рынке вариантов. Как следствие, роль лидеров технологического развития переходит в этой фазе к агентам производства, к промышленному капиталу.

Сокращение вложений в производства достигшего пределов роста доминирующего технологического уклада создает значительный избыточный капитал, ищущий сферу применения. В этой

фазе ценные бумаги формирующих траекторию роста нового технологического уклада фирм-новаторов начинают пользоваться спросом со стороны многих инвесторов. Весьма привлекательным выглядит финансирование и фирм-имитаторов базовых нововведений. При этом сохраняется высокая рискованность инвестиций в производства еще не сформировавшегося нового технологического уклада, технологические траектории его роста остаются неопределенными, продолжается острая конкуренция различных научно-технических идей. Это создает благоприятные условия для финансовых спекуляций с целью присвоения средств доверчивых инвесторов под видом инновационных проектов. Более консервативные финансисты способны втянуться в соперничество за приобретение ценных бумаг старых фирм, вставших на путь модернизации.

Расслоение фирм по уровню инвестиционной привлекательности способствует выделению группы эмитентов, демонстрирующих устойчивую тенденцию роста курсовой стоимости своих ценных бумаг. Возможность заработать на этом росте все больше повышает спрос на такие ценные бумаги. Поиски альтернативных способов вложения капитала разогревают рынок еще одного спекулятивного актива – рынок недвижимости. Активный спрос со стороны инвесторов приводит к вызреванию финансового пузыря на фондовом рынке и рынке недвижимости в конце жизненного цикла доминирующего технологического уклада. По выражению К. Перес, финансовый пузырь – это безжалостный способ сконцентрировать доступные инвестиции в новых технологиях [1.13]. Его ликвидация посредством финансового кризиса влечет обесценение значительной части капитала и начало длинноволновой депрессии [1.14]. И хотя финансовый кризис ухудшает инвестиционный климат и способен спровоцировать паузу в процессе базовых нововведений [1.15], крах финансового пузыря способствует переориентации инвестиций на реальные активы. Как следствие, начинается выход из депрессии, обеспечиваемый, прежде всего, ростом новых отраслей.

Некоторое оживление затрагивает и старые отрасли. При этом происходит их модернизация на основе нового технологического уклада, ключевой фактор которого проникает во все сферы экономики, открывая новые возможности повышения эффективности производства и качества продукции. По мере подъема длинной волны экономической конъюнктуры растет спрос на энергоносители

ли и сырьевые товары, следствием чего становится некоторое повышение цен.

В настоящее время новый технологический уклад выходит из эмбриональной фазы развития, разворачивается процесс замещения им предыдущего ТУ, достигшего пределов своего роста. Этот процесс проявляется как финансовый и структурный кризис экономики ведущих стран мира, сопровождающийся взлетом и последующим падением цен на энергоносители и другие сырьевые материалы. Для преодоления этих кризисов недостаточно мер по спасению банковской системы или реанимации финансового рынка. Они должны быть дополнены программами стимулирования роста нового технологического уклада, подъем которого только и может создать новую длинную волну экономического роста.

Глава 2. МИРОВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КРИЗИС КАК ПРОЦЕСС ЗАМЕЩЕНИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УКЛАДОВ

2.1. Признаки структурного кризиса

Выше были представлены результаты теоретических исследований взаимозависимости процесса замещения технологических укладов, колебаний экономических оценок, включая цены на энергоносители и сырьевые товары, финансовых кризисов и экономических рецессий. Разворачивающийся сегодня в мировой экономике кризис представляет собой проявление этих закономерностей. Хотя они несколько затуманены наслоением таких специфических процессов, как финансовые пирамиды долговых обязательств эмитента мировой валюты и финансовых деривативов, разновидностью которых стали нефтяные контракты. Тем не менее, наблюдаемая картина глобального кризиса вписывается в общую картину смены длинных волн экономической конъюнктуры и замещения составляющих их основу технологических укладов.

Резкий рост и последующее еще более резкое падение цен на энергоносители является характерным признаком структурного кризиса, опосредующего замещение технологических укладов. Как видно из рис. 1.3, этот процесс периодически повторяется уже пятый раз в истории современного экономического роста.

Всплеск цен на доминирующие энергоносители составляет важнейший элемент механизма замещения технологических укладов. Он приводит к резкому удорожанию издержек производства и потребления сложившихся производств и, соответственно, падению спроса на их продукцию. Происходящее при этом падение рентабельности производственной сферы влечет снижение инвестиций в развитие производства и концентрацию капитала в финансовом секторе. Это, как было показано выше, влечет появление и последующий крах финансовых пузырей. Финансовый кризис, сопровождающийся обесценением капитала, заставляет его искать новые сферы приложения, центром притяжения которого становятся нововведения нового технологического уклада. «Шторм нововведений» прокладывает дорогу его формированию – подъем инновационной активности вовлекает свобод-

ный капитал в новую длинную волну экономического роста на основе расширения соответствующего технологического уклада.

Не трудно заметить, что происходившее в текущее десятилетие резкое повышение цен на нефть с одновременным нарастанием финансовых спекуляций и появлением финансовых пузырей при стагнации производственной сферы в ведущих странах мира представляет собой типичную картину вызревания структурного кризиса в заключительной фазе жизненного цикла достигшего фазы зрелости доминирующего технологического уклада. Происходивший в течение семи лет быстрый рост цен на нефть, газ и электроэнергию повлек изменение структуры цен, нарушившее сложившиеся воспроизводственные процессы и стереотипы потребления. При этом в полном соответствии с теорией ведущую роль в формировании траектории дальнейшего экономического развития начал играть финансовый капитал. И наоборот, промышленный капитал, сконцентрированный в традиционных отраслях, обесценивался и терял способность к воспроизводству.

Не случайно за последние два десятилетия **гипертрофированный рост финансовых спекуляций создал ощущение доминирования финансового капитала над промышленным.** Это является проявлением высвобождения капитала из технологических совокупностей устаревающего технологического уклада, дальнейшее расширение которых более не поддерживается рынком. Информационная революция в финансовой сфере и устранение ряда правовых ограничений на проведение спекулятивных операций стимулировали этот процесс путем создания возможностей бесконечного наращивания спекулятивных операций в форме виртуальных сделок по поводу будущих обязательств и прав (рис. 2.1), начиная с нефтяных контрактов. Последнее сыграло решающую роль как в формировании невиданных по своим масштабам финансовых пузырей, так и в синхронизации их роста с повышением цен на нефть. Эта синхронизация проявилась и в последующем одновременном крахе глобального финансового пузыря и падении цен на нефть, которые создали резонанс, вызвавший мировой финансовый кризис.

Одновременное саморазрушение финансовой пирамиды обязательств эмитента мировой валюты, крах глобального финансового пузыря и связанный с ним финансово-банковский кризис создают опасный резонанс, чреватый распадом мировой валютно-финансовой системы. Ш.Перес видит в этом продолжение этапа спекулятивного бума, сопровождавшегося крахом мировой системы социализма, финансо-

вым кризисом в Юго-Восточной Азии в конце 1990-х годов и крахом финансового рынка акций высокотехнологических компаний в начале столетия [2.1]. С завершением этого этапа она связывает переход к фазе роста пятой длинной волны.

В действительности, однако, составляющие переживаемого сегодня кризиса имеют разную природу. Их синхронизация определяется сильной взаимозависимостью различных сегментов финансового рынка, при которой обвал, происходящий вследствие саморазрушения финансовой пирамиды долговых обязательств США, провоцирует крах финансового пузыря деривативов и обесценение значительной части банковского капитала. Крах мировой социалистической системы хоть и расширил возможности финансовых спекуляций за счет вывоза капитала из постсоциалистических стран и эксплуатации их ресурсной базы и, таким образом, продлил разгон глобальной спекулятивной волны, но произошел по внутренним причинам, одной из которых стала технологическая многоукладность советской экономики и связанные с ней диспропорции [1.3].

Синхронизация структурного кризиса (вызванного исчерпанием возможностей роста доминировавшего в последней четверти прошлого века пятого технологического уклада), финансового (вызванного крахом глобального финансового пузыря деривативов) и долгового (вызванного саморазрушением финансовой пирамиды долговых обязательств США) кризисов создает мощный резонанс разрушительных процессов, беспрецедентный в современной истории.

На фоне колоссального размаха наблюдаемых сегодня финансовых флуктуаций предыдущие финансовые пузыри кажутся малозаметными. Может быть, по этой причине Ш. Перес пропустила в своих наблюдениях крах финансового пузыря в конце 60-х годов прошлого столетия, продлив начальную фазу пятой длинной волны до начала нынешнего века. Более точные исследования, выполненные П.Ф. Андруковичем по сглаженной модели динамики индекса финансового рынка США [2.2], позволяют идентифицировать подъем финансового рынка в конце 60-х годов и последовавший десятилетний спад как признаки структурного кризиса, обусловленного замещением четвертого технологического уклада пятым. Соответственно, переживаемый сегодня финансовый кризис и происходящий с конца 90-х годов спад финансового рынка отражает замещение пятого технологического уклада шестым, о чем свидетельствует многолетняя динамика индекса Доу-Джонса (рис. 2.2).

Эта модель, как отмечает П.Ф.Андрукович, хорошо интерпретирующаяся с точки зрения широко известной теории «длинных волн», или «технологических волн», или «технологических укладов», содержит нелинейный тренд экспоненциального типа, отклонения от которого, имеющие явно выраженный волнообразный характер, описываются периодической функцией (синусом) с постоянным периодом и монотонно растущей амплитудой. При этом длина уже прошедшей с конца 1998 г. и до конца 2002 г. фазы спада практически та же, что и в период спада IV технологического уклада в период 1967 – 1977 гг. Оценка параметров соответствующей периодической функции дает период, равный 4,5 годам, и амплитуду примерно в 230 пунктов. Динамика индекса Доу-Джонса за период после 2003 г. показала, что, несмотря на изменение общего уровня его значений, снижение в последующие годы продолжится с возможными колебаниями вокруг основного тренда с периодом примерно в 8 лет [2.2].

Этот анализ подтверждает глубинную связь переживаемого в настоящее время финансового кризиса с процессом замещения пятого технологического уклада шестым. Из этого следует, что при всей сложности нынешнего глобального кризиса, который некоторые ученые и политики уже назвали системным, выход из него предполагает становление нового технологического уклада. Его расширение создаст материальную основу для новой длинной волны экономического роста и обеспечит технологическое обновление оставшегося после обесценения производственного капитала, вдохнет новую жизнь в оставшиеся производства за счет их модернизации и расширения возможностей развития.

2.2. Проблемы формирования антикризисной политики

Происходящий обвал мирового финансового рынка не является неожиданностью для специалистов. О неизбежном крахе глобальной финансовой пирамиды, построенной на безудержной эмиссии долговых обязательств США, много и давно писали известные экономисты и политики (в том числе Ларуш в Германии, Тененбаум в США, Ш. Перес в Латинской Америке, М. Ершов, А. Кобяков, М. Хазин и авторы настоящей монографии в России) [2.3].

К сожалению, эти прогнозы, обоснованные еще десятилетие назад, не были услышаны денежными властями России и других стран. И сегодня, судя по результатам двух встреч «двадцатки», усилия денеж-

ных властей ведущих стран мира не выходят за пределы совершенствования сложившейся валютно-финансовой системы и не затрагивают причин мирового кризиса. Более того, основная часть антикризисных мер направляется на поддержание сложившихся процессов воспроизводства финансовых флуктуаций и подчас напоминает тушение пожара керосином. По сути, значительная часть антикризисных мер лоббируется заинтересованными коммерческими структурами в своих частных интересах, реализуемых за счет всего общества.

Наиболее ярко лоббистский характер антикризисных мер проявляется в финансовой сфере. Сама трактовка охватившего развитые страны кризиса как финансового предопределила основное направление антикризисных мер, которые на первых порах почти целиком сводились к денежной эмиссии для поддержки несостоятельных финансовых структур. Поскольку эта поддержка не была обусловлена целевым использованием выделяемых средств, по сути, она означала монетизацию их обязательств. А так как эти обязательства возникли, главным образом, в сфере финансовых спекуляций, конечный эффект таких антикризисных мер свелся к дальнейшей денежной накачке финансовых пузырей. С учетом размера «плохих активов» и безнадежных долгов финансовых структур, на порядок превышающих объем денежной массы в мировой экономике, такая политика бесперспективна и влечет лишь нарастание диспропорций, чреватых хаотическим распадом глобальной валютно-финансовой системы.

Хотя в последующем антикризисные меры ведущих стран были дополнены мерами по стимулированию инновационной и инвестиционной активности, направленными на модернизацию экономики на основе новых технологий, их общий размер остается недостаточным по сравнению с потребностями структурной перестройки экономики на основе нового технологического уклада. Он ограничен возможностями государственных бюджетов, которые сводятся с гигантским дефицитом и утяжелены приоритетностью социальных расходов.

Масштаб диспропорций, накопившихся в глобальной финансовой системе, исключает возможность ее совершенствования без устранения глубинных причин кризиса. В частности, без списания обязательств по виртуальным сделкам с деривативами, устранения дефицита государственного бюджета и платежного баланса США и структурной перестройки экономики на основе нового технологического уклада. Поскольку эти меры пока не планируются, то очевидными следствиями кризиса будут:

- хаотическое обесценение значительной части финансового капитала;
- неконтролируемая девальвация доллара и утрата им положения единственной мировой резервной валюты;
- региональная фрагментация мировой валютно-финансовой системы.

Как было показано выше, становление траектории жизненного цикла нового технологического уклада происходит в недрах предыдущего. Базовые открытия и изобретения шестого технологического уклада совершаются в результате качественного совершенствования ключевого фактора и связанного с ним ядра пятого технологического уклада, охватывающего микроэлектронную промышленность, программное обеспечение, информационно-коммуникационные технологии, приборостроение, радиотехническую промышленность, промышленность средств связи, лазерную технику, энергетику.

Как следует из сложившегося ритма долгосрочного технико-экономического развития, предел устойчивого роста доминирующего сегодня пятого (современного) технологического уклада уже достигнут. Это подтверждается глубиной падения промышленного производства, которое составило в развитых странах от 10 до 25 % (табл. 2.1).

Это падение не остановило ни многократное снижение цен на энергоносители и сырьевые материалы, ни снижение процентных ставок до отрицательного уровня в реальном выражении. Восстановление экономики на прежней технологической основе бесперспективно и невозможно, так как наталкивается на перенасыщенность сложившихся рынков, ограничения спроса со стороны сложившегося типа потребления.

Экономический подъем возможен только на новой технологической основе с новыми производственными возможностями и качественно новыми потребительскими предпочтениями. Уже видны общие контуры нового, шестого технологического уклада, становление которого происходит в настоящее время.

Между пятым и шестым технологическими укладами существует преемственность. Граница между ними лежит в глубине проникновения технологии в структуры материи и масштабах обработки информации. Пятый технологический уклад основывается на применении достижений микроэлектроники в управлении физическими процессами на микронном уровне. Шестой технологический уклад основыва-

ется на применении нанотехнологий, оперирующих на уровне одной миллиардной метра. На наноуровне появляется возможность менять молекулярную структуру вещества, придавать ему целевым образом принципиально новые свойства, проникать в клеточную структуру живых организмов, видоизменяя их.

Таблица 2.1

Основные показатели мировой экономики за 2007-2009 годы [2.4]

	2007	2008	2008				2009	
			I	II	III	IV	янв	фев
<i>Динамика ВВП, % к соответствующему периоду прошлого года (сезонно сглаженные данные)</i>								
США	2,0	1,1	2,5	2,1	0,7	-0,8	-2,6	-
ЕС-27	2,9	0,9	2,4	1,7	0,8	-1,1	-	-
Великобритания	3,0	0,7	2,6	1,7	0,3	-1,9	-	-
Германия	2,6	1,0	2,8	2,0	0,8	-1,6	-	-
Франция	2,1	0,7	2,1	1,2	0,6	-1,0	-	-
Япония	2,4	-0,7	1,4	0,6	-0,2	-4,6	-	-
Бразилия	5,7	3,8	6,0	6,3	6,9	-3,6	-	-
Россия	8,1	5,6	8,3	7,2	4,8	2,7	-8,8	-7,3
Индия	9,2	7,4	8,9	7,9	7,5	5,4	-	-
Китай	13,0	9,0	10,6	10,1	9,0	6,8	-	-
<i>Динамика промышленного производства, % к соответствующему периоду прошлого года (сезонно сглаженные данные)</i>								
США	1,7	-1,8	1,9	0,2	-3,0	-6,1	-10,8	-11,9
ЕС-27	3,3	-1,4	2,8	0,8	-1,8	-7,2	-15,5	нд.
Великобритания	0,4	-2,9	0,4	-1,4	-3,0	-7,7	-11,1	нд.
Германия	6,2	0,1	5,1	3,4	0,0	-7,9	-19,4	нд.
Франция	1,4	-2,6	1,6	-0,4	-2,2	-9,3	-14,0	нд.
Япония	2,9	-3,1	2,6	1,0	-1,8	-14,0	-28,8	-38,4
Бразилия	5,8	2,8	5,8	6,3	5,9	-6,3	-15,7	-17,0
Россия	6,3	2,3	5,3	5,5	4,5	-5,9	-13,0	-20,7
Индия	9,9	4,2	6,9	5,2	4,8	-0,2	-0,4	нд.
Китай	15,9	11,5	10,8	15,9	13,0	6,4	-5,0	11,0

В настоящее время, когда шестой технологический уклад выходит из эмбриональной фазы развития. Его расширение сдерживается как незначительным масштабом и неотработанностью соответствующих технологий, так и неготовностью социально-экономической среды к их широкому применению. Хотя расходы на освоение новейших технологий и масштаб их применения растут по экспоненте, а объемы производства в ядре шестого технологического уклада, несмотря на

кризис, увеличиваются с темпом около 35% в год, вес его в структуре современной экономики остается незначительным. Качественный скачок произойдет после завершения структурной перестройки ведущих экономик мира и перехода нового технологического уклада к фазе роста, ожидаемых в середине следующего десятилетия. Так, по имеющимся прогнозам научного фонда США, годовой оборот рынка нанотехнологий, как ключевого фактора нового технологического уклада, к 2015 г. достигнет 1 – 1.5 трлн долл., а в мире – до 4,5 трлн долл. [2.5 – 2.6].

Наряду с отраслями ядра нового технологического уклада подъем охватит его несущие отрасли. В их числе останутся несущие отрасли предшествующего пятого технологического уклада: электротехническая, авиационная, ракетно-космическая, атомная отрасли промышленности, приборостроение, станкостроение, образование, связь. Связанная с распространением нового технологического уклада революция охватывает здравоохранение (эффективность которого многократно возрастает с применением клеточных технологий и методов диагностики генетически обусловленных болезней) и сельское хозяйство (благодаря применению достижений молекулярной биологии и геной инженерии), а также создание новых материалов с заранее заданными свойствами. Благодаря появлению наноматериалов, в число несущих отраслей нового технологического уклада также войдут: химико-металлургический комплекс, строительство, судо- и автомобилестроение.

Исходя из прошлых периодов замещения доминирующих технологических укладов, можно предположить, что этот процесс займет еще 5 – 8 лет. Он был «запущен» резким повышением цен на энергоносители и к настоящему времени уже вошел в устойчивый режим быстрого роста применения новых технологий за счет привлечения избыточного капитала на фоне резкого падения спроса на продукцию традиционных производств. В течение этого периода рост экономической активности на основе нового технологического уклада не будет компенсировать спад производства в технологических цепочках устаревшего технологического уклада – в экономике ведущих стран следует ожидать переход рецессии в депрессию, а в развивающихся странах – снижения темпов экономического роста.

В фазе структурного кризиса, обусловленного замещением технологических укладов, ключевое значение для успешного долгосрочного развития экономики имеет опережающее освоение ключевых произ-

водств ядра нового технологического уклада, дальнейшее расширение которых позволит получать интеллектуальную ренту в глобальном масштабе. Вместе с тем незавершенность его воспроизводственных контуров и высокая неопределенность будущей технологической траектории обуславливают высокие инвестиционные риски и трудности долгосрочного прогнозирования. Для их преодоления важно правильно определить структуру нового технологического уклада, развитие которого будет определять рост глобальной и национальной экономики на перспективу до середины столетия. Ключевую роль в этом процессе по мнению многих специалистов играют нанотехнологии.

Глава 3. ВЛИЯНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ НА СТАНОВЛЕНИЕ НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА В МИРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

3.1. Зарождение траектории развития нанотехнологий

Научные исследования и технологические разработки, которые сейчас относят к области нанонауки и нанотехнологий, известны по крайней мере с середины XX века. Некоторые исследователи относят к нанотехнологиям и гораздо более ранние технологические практики, которым несколько сотен и даже тысяч лет [3.1 – 3.15]. Академик Ю.Д. Третьяков заметил: «По сути дела химики занимались нанотехнологиями на протяжении двух с половиной столетий. Современная нанотехнология отличается тем, что она соединила талант химика-синтетика с мастерством инженера, и именно этот союз позволил создавать самые замысловатые структуры». Термин «нанотехнологии» ввел в научный оборот Норио Тонигучи (Norio Taniguchi) в 1974 г. [3.16]. Использовалось написание термина в два слова через черточку – Nano-Technology. В мировой литературе четко отличают нанонауку (nanoscience) от нанотехнологий (nanotechnology). Для нанонауки используется также термин – nanoscale science (наноразмерная наука) [www.rusnano.com].

Приставка «нано» (от греческого «нано» – карлик) обозначает миллиардную часть = 10^{-9} , т.е. один нанометр равен одной миллиардной части метра. На отрезке длиной в один нанометр можно расположить восемь атомов кислорода. Невооруженным глазом человек способен увидеть предмет диаметром примерно 10 тысяч нанометров (10 микрометров = 0,01 мм). Шкалу размеров иллюстрирует рис. 3.1.

Интерес к наноразмерной области связан как с принципиально новыми фундаментальными научными проблемами и физическими явлениями, так и с перспективами создания на основе уже открытых явлений совершенно новых квантовых устройств и систем с широкими функциональными возможностями для опто- и наноэлектроники, измерительной техники, информационных техноло-

гий нового поколения, средств связи и пр. [3.1 – 3.16]. Результатом исследований наноразмерных систем стало открытие принципиально новых, а теперь уже широко известных явлений, таких как целочисленный и дробный квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе, вигнеровская кристаллизация квазидвумерных электронов и дырок, обнаружение новых композитных квазичастиц и электронных возбуждений с дробными зарядами, высокочастотных блоховских осцилляций, а также многое другое. Современные полупроводниковые лазеры на гетеропереходах также основаны на использовании наноразмерных систем (структуры с квантовыми ямами, самоорганизованными квантовыми точками и квантовыми нитями). Наиболее выдающиеся достижения в этой области отмечены тремя Нобелевскими премиями по физике (1985 г. – за открытие квантового эффекта Холла; 1998 г. – за открытие дробного квантового эффекта Холла; 2000 г. – за труды, заложившие основы современных информационных технологий).

В России термин «нанотехнологии» входит в практику федеральных нормативных документов с марта 2002 г. (перечень отечественных нормативных документов приведен в [3.17 – 3.37]). В России и в СМИ, и в практике российского законодательства, и в нормативных документах, и в научных статьях и докладах термин «нанотехнологии» часто объединяет «нанонауку», «нанотехнологии», а иногда даже «наноиндустрию» (направления бизнеса и производства, где используются нанотехнологии). Поэтому не всегда понятно из контекста документов, на что конкретно выделяются средства и что регламентируют документы – науку, технологии или коммерческую деятельность [www.rusnano.com].

Принципиальная особенность современного этапа развития технологий (называемого некоторыми экспертами, «нанотехнологической революцией») состоит в том, что происходит смена парадигмы развития технологической науки. Раньше развитие технологий шло «сверху вниз» – в сторону миниатюризации создаваемых предметов. Нанотехнологии, наоборот, оперируют с уровня атомов, складывая из них, как из кубиков, нужные материалы и системы с заданными свойствами (как здание собирается из кирпичей). М.В. Ковальчук определяет нанотехнологии как «атомно-молекулярное конструирование». При переходе к нанотехнологиям по методу «снизу вверх» на принципах «самосборки» возможно суще-

ственное удешевление продуктов (рис. 3.2) и соответствующее ускорение развития экономики. Ожидается, что нанотехнологии произведут такую же революцию в манипулировании материей, какую произвели компьютеры в манипулировании информацией.

На Западе отцом нанотехнологий считают американского физика Ричарда Фейнмана, высказавшего в 1959 г. мысль, что «принципы физики... не говорят о невозможности манипулирования веществом на уровне атомов». 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» (There's plenty of room at the bottom). 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. (Изложенные Р. Фейнманом в лекции идеи о способах создания и применения «атомных манипуляторов» совпадают практически текстуально с фантастическим рассказом советского писателя Бориса Житкова «Микроруки», опубликованным в 1931 г. [<http://ru.wikipedia.org/wiki>].) Однако уровень развития науки и техники 50-х гг. не позволял обсуждать всерьез возможное целенаправленное влияние на отдельные атомы.

Важно отметить, что российский физик-теоретик Георгий Антонович Гамов, работая в Гёттингенском университете, впервые получил в 1928 г. решение уравнений Шредингера, описывающее возможность преодоления частицей энергетического барьера в случае, когда энергия частицы меньше высоты барьера. Открытое явление, называемое туннелированием (туннельным эффектом), позволило объяснить многие процессы в атомной и ядерной физике, составляющих основу ряда современных технологий, в том числе нанотехнологий. Развитие электроники привело к использованию процессов туннелирования почти 30 лет спустя, в середине 1950-х годов, когда появились туннельные диоды, открытые японским ученым Л. Есаки, ставшим нобелевским лауреатом.

Перелом наступил после изобретения в 1981 г. сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), позволяющего строить трехмерную картину расположения атомов на поверхностях проводящих

материалов. Его создали в Цюрихском исследовательском центре IBM физики Герд Бинниг и Генрих Рорер (Нобелевские лауреаты 1986 г. вместе с Эрнстом Русской – создателем электронного микроскопа) [3.38]. В 1986 г. Герд Бинниг разработал сканирующий атомно-силовой зондовый микроскоп, позволивший наконец визуализировать атомы любых материалов (не только проводящих), а также манипулировать ими. При помощи туннельного микроскопа стало возможным “подцепить” атом и поместить его в нужное место, т.е. манипулировать атомами и непосредственно собирать из них новое вещество (рис. 3.3).

Определяющую роль в развитии и становлении нанотехнологии сыграло также открытие в 1985 – 1991 гг. новой формы существования углерода в природе – фуллеренов и углеродных нанотрубок (рис. 3.2, 3.3). В 1985 г. трое американских химиков профессор Райсского университета Ричард Смэлли, а также Роберт Карл и Хэррольд Крото (Нобелевские лауреаты 1996 г.) открыли фуллерены – молекулы, состоящие из 60 атомов углерода, расположенных в форме сферы. Эти ученые также впервые сумели измерить объект размером порядка 1 нм. В 1991 г. японский профессор Сумио Лиджима, работавший в компании NEC, использовал фуллерены для создания углеродных трубок (или нанотрубок) диаметром 0,8 нм. На их основе в наше время выпускаются материалы в сто раз прочнее стали.

Популярность нанотехнологиям придал американский ученый Эрик Дрекслер, работавший в лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института и написавший в 1986 г. книгу «Машины созидания» («Engines of Creation»), в которой выдвинул концепцию универсальных молекулярных роботов, работающих по заданной программе и собирающих что угодно (в том числе и себе подобных) из подручных молекул. Он довольно точно предсказал немало последовавших достижений нанотехнологий, и начиная с 1989 г. его прогнозы сбываются. В 1997 г. Эрик Дрекслер объявил, что к 2020 г. станет возможной промышленная сборка наноустройств из отдельных атомов [3.38].

В 1998 г. Сиз Деккер, голландский профессор Технического университета г. Делфтса, создал транзистор на основе нанотрубок, используя их в качестве молекул. Для этого ему пришлось первым в мире измерить электрическую проводимость такой молекулы. А в

2002 г. он соединил углеродную трубку с ДНК, получив единый наномеханизм.

К сожалению, на Западе недостаточно известны многие фундаментальные исследования, без которых было бы немислимо развитие современных нанотехнологий, и которые проводились на протяжении десятилетий в России (СССР) научными школами академиков В.А. Каргина, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина и Нобелевского лауреата Ж.И. Алфёрова [3.39 – 3.44]. Важно отметить пионерские работы В.Б. Алесковского по развитию методов «химической сборки», т.е. послойного (layer-by-layer) синтеза, заложившие начало успешно функционирующей и сейчас Санкт-Петербургской научной школы (С.И. Кольцов, А.А. Малыгин, И.В. Мурин, В.М. Смирнов, В.П. Толстой) [3.39]. Несомненным для своего времени достижением является создание и практическое внедрение в атомную энергетику оригинальных технологий получения ультрадисперсных (нано-) порошков, выполненное группой советских ученых под руководством И.Д. Морохова [3.41]. Примерно к тому же времени относятся фундаментальные исследования научной школы академика И.В. Тананаева, впервые предложившего дополнить классические диаграммы «состав-структура-свойство» координатой дисперсности [3.42], а также оригинальные исследования академиков И.И. Моисеева и М.Н. Варгафтика по созданию так называемых «гигантских кластеров» палладия, ядро которых насчитывает около 600 атомов металла.

Выше мы отмечали фундаментальное открытие Г. Гамовым «туннельного эффекта» в 1928 г. В конце 50-х годов прошлого века вскоре после открытия туннельных диодов Юрий Сергеевич Тиходеев, руководитель сектора физико-теоретических исследований в московском НИИ «Пульсар», предложил первые варианты приборов на основе многослойных туннельных структур, позволяющих достичь рекордных по быстродействию результатов. В середине 70-х годов они были успешно реализованы. А в 1967 г. работавший тогда в Физическом институте Академии наук (ФИАН) Виктор Георгиевич Веселаго предсказал существование метаматериалов, обнаружить которые удалось только 33 года спустя. В 1986 г. советскими учеными К.К. Лихаревым и Д.В. Авериним был предложен одноэлектронный транзистор на эффекте кулоновской блокады (рис. 3.6). Существенное преимущество таких устройств в том, что

они имеют очень малые размеры и потребляют мало энергии. В НИИ «Дельта» под руководством П.Н. Лускиновича в 1987 – 1988 гг. заработала первая российская нанотехнологическая установка, осуществлявшая направленный уход частиц с острия зонда микроскопа под влиянием нагрева. Однако это направление было недальновидно ликвидировано еще в 1995 г. [3.45].

Как отмечает Ю.Д. Третьяков [3.39], в 90-е годы в России продолжались фундаментальные исследования, вносящие несомненный вклад в развитие нанотехнологий. Достаточно назвать научные группы, которые возглавляли Р.А. Андриевский, В.В. Болдырев, А.Л. Бучаченко, Р.З. Валиев, С.П. Губин, Б.В. Дерягин, А.Л. Ивановский, Ю.А. Котов, И.В. Мелихов, И.И. Минкин, А.Д. Помогайло, А.И. Русанов, И.П. Суздальев, А.Ю. Цивадзе и многие другие. В 1996 г. М.А. Ананяном был создан институт нанотехнологий, а в 2001 г. – концерн «Наноиндустрия».

В 2000 г. за разработку **полупроводниковых гетероструктур** (рис. 3.7) и создание быстрых **опто- и микроэлектронных компонентов** академик РАН Ж.И. Алферов удостоен Нобелевской премии.

После 2000 г. отечественные исследования в области нанотехнологий заметно оживились. Перечисленные и целый ряд других новаторских идей и теоретических трудов советских и российских ученых в огромной степени способствовали прогрессу мировой нанотехнологической науки и получению ощутимых практических результатов.

В июле 2007 года для реализации государственной политики и развития инновационной инфраструктуры в сфере нанотехнологий, реализации проектов создания перспективных нанотехнологий и наноиндустрии была учреждена **Российская корпорация нанотехнологий («Роснано»)**. Корпорация выбирает приоритетные направления инвестирования и выступает соинвестором в нанотехнологических проектах со значительным экономическим или социальным потенциалом. Госкорпорация «Роснано» не будет финансировать фундаментальные научные исследования, ее задача – коммерциализация продукта, создание заводов и инновационных компаний. Вся российская нанотехнологическая сеть основана на двух точках опоры – это «Роснано» и Курчатовский научный центр. (<http://www.rian.ru/science/20090522/171941520.html>).

С середины 90-х годов траектория развития нанотехнологий входит в фазу роста – начинается применение нанотехнологических методов в промышленности. Это стало возможным благодаря разработкам методов и средств линейных измерений и манипуляций в нанометровом диапазоне, которые собственно и обеспечили техническую возможность создания нано- и клеточных технологий. Это, прежде всего, изобретение растровых электронных и атомно-силовых микроскопов, а также разработка основанных на их использовании метрологических систем.

По-видимому, с этого момента следует вести отсчет технологической траектории шестого технологического уклада. К исходным предпосылкам ее формирования необходимо также отнести создание дифрактометров и спектрометров с соответствующей разрешающей способностью, позволяющей измерять физико-химические параметры и свойства нанообъектов. Использование этой (и многих других) приборной базы позволило открыть новые свойства материи и создавать материалы с заранее заданными свойствами, возникающими вследствие манипуляций с атомами вещества на наноуровне. К числу других базисных изобретений, с внедрения которых начинается траектория жизненного цикла шестого технологического уклада, следует также отнести такие достижения молекулярной биологии, как открытие механизмов передачи генетической информации, обеспечивающей воспроизводство организмов на клеточном уровне, расшифровка геномов растений, животных и человека, изобретение технологии клонирования живых организмов, открытие стволовых клеток.

В комплексе перечисленные базовые нововведения сформировали кластер взаимодополняющих, технологически сопряженных производств, который позволил создать целостный производственный контур роста нового технологического уклада, ключевым фактором которого становятся нанотехнологии.

3.2. Определения и классификаторы нанотехнологий

В обзоре под названием «Опись доступности нанотехнологических индикаторов и статистики в странах OECD» [3.46, 3.47] приведены определения нанотехнологии, используемые в 13 странах. В публикации ЮНЕСКО приводится, по крайней мере, пять ис-

пользуемых определений [3.48]. Ключевым свойством определения нанотехнологий оказывается размер менее 100 нм. Следующее определение, являясь очень кратким, может быть принято для указания ее границ: нанотехнология – это использование **по-новому** материалов и структур, действующих в нанодиапазоне (1 – 100 нм), что в общем случае требует междисциплинарного подхода. Ключевое слово в данном определении: по-новому.

Целесообразно включать в определение нанотехнологий именно качественную и количественную новизну эффекта их применения. Более полное определение нанотехнологии используется в Италии: «Нанотехнология – это изучение явлений и манипуляция веществом на атомном, молекулярном и макромолекулярном масштабах, где его свойства значительно отличаются от тех, что наблюдаются на больших шкалах. Это конструирование, характеристика, производство и применение структур, приборов и систем путем контроля формы и размера на нанометровой шкале».

В обзорах [3.49 – 3.54] упомянуты нижеизложенные определения нанотехнологий и описания различных типов производимых наноматериалов, наноинструментов и наноустройств.

Нанонаукой называют изучение феномена и манипуляции материалов на атомном, молекулярном и макромолекулярном уровнях, при которых свойства материалов значительно изменяются по сравнению с их свойствами на более крупном уровне.

Нанотехнологии включают в себя конструирование, характеристики, производство и применение структур, устройств и систем путем управления формой и размерами на нанометровом уровне. Кроме того, это – манипулирование, прецизионное размещение, изменение, моделирование или производство материалов в масштабах до 100 нм. Нанотехнология занимается функциональными системами, основанными на использовании структурных составляющих, обладающих особыми, обусловленными их размерами, свойствами отдельных составляющих или системы в целом. Наконец, нанотехнология – совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

Наноматериалы: материалы, обладающие одним или большим числом компонентов, по крайней мере, одно измерение которых находится в пределах от 1 до 100 нм, и к числу которых относятся наночастицы, нановолокна, нанотрубки, композитные материалы и наноструктурированные поверхности. Сюда же относятся наночастицы, являющиеся подгруппой наноматериалов, которые в настоящее время консенсусом определяются как отдельные частицы, имеющие диаметр < 100 нм. Агломераты наночастиц могут быть крупнее 100 нм в диаметре, но будут включены в обсуждение, поскольку они могут распадаться при воздействии слабых механических сил или растворителей. Нановолокна относятся к подклассу двухмерных наночастиц (включая нанотрубки) < 100 нм, однако третий (осевой) размер может быть значительно больше.

Другой вариант определения наноматериалов: – это материалы, содержащие структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие **качественно новыми** свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками.

Наноинструменты: инструменты и методы синтеза наноматериалов, манипулирования атомами и формирования структур устройств, а также, что очень важно, измерение и характеристика материалов и устройств на нанометровом уровне.

Наноустройства: устройства на нанометровом уровне, играющие в настоящее время важную роль в микроэлектронике и оптоэлектронике, а также при взаимодействии с биотехнологическими методами, цель которых – имитировать действие биологических систем, такие как клеточные моторы. Последняя область является наиболее футуристической и вызывает наиболее оживленный интерес общественности.

В ряде европейских стран используется определение **наноинженерия** (от английского Nanotechnological engineering – Nanoengineering) – междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, предметом которой являются исследования, проектирование и совершенствование методов разработки, производства и применения интегрированных систем, основанных на законах и принципах нанотехнологий и микросистемной техники.

Приведем в качестве репрезентативного наиболее обширный набор нанотехнологий из их списочного определения, принятого в Австралии [3.46]:

Наноматериалы	Нанопроизводство
Наномедицина	Нанотоксикология
Нанoeлектроника	Наноэкология
Молекулярная электроника	Нанобиология
Органическая электроника	Квантовые компьютеры
Нанofотоника	Наноэнергетика
Нанобиотехнология	Наноправление
Нанофабрикация	Нанороботы
Нанометрология	Нановооружение

Проблема классификации и стандартизации нанотехнологий и нанопродуктов в немалой степени связана с тем, что предполагаемые возможности нанотехнологий охватывают чрезвычайно широкий класс наук и имеют много аспектов развития. Их можно классифицировать по нескольким признакам и особенностям:

- по степени сложности создаваемых структур;
- по принадлежности к различным наукам;
- по методам производства;
- по предполагаемым применениям;
- по временной шкале прогнозируемого внедрения и др.

В табл. 3.1 в качестве примера приведена классификация нанотехнологий по степени сложности нанообъектов.

Таблица 3.1

**Классификация нанотехнологий по степени сложности
нанообъектов и их применению**

Класс нанообъектов	Конкретные применения
Нанопорошки, наночастицы в растворе	Краски, косметические кремы
Нанотрубки, нанопроволоки	Углеродные нанотрубки
Простые слои и покрытия нанометрической толщины	Алмазные пленки на разнообразных поверхностях, многослойные покрытия в молекулярной электронике, защитные покрытия, солнечные батареи
Трехмерные слоистые структуры	Магнитные запоминающие устройства
Трехмерные периодические и случайные образования	Кристаллизованные белки, трехмерные устройства молекулярной записи информации
Линейные цепочки	Информационные молекулы ДНК и др.
Поверхностные структуры с незначительной глубиной	Новейшие микроэлектронные устройства, наномеханические устройства
Многослойные покрытия, получаемые различными методами	Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором (VSCSEL)
Развитые трехмерные структуры, не обладающие способностью к самовоспроизведению или саморепликации	Манипуляции с ДНК, биомолекулярные компьютеры, наномашинны
Развитые трехмерные структуры, обладающие способностью к самовоспроизведению	Самовоспроизводящиеся нанороботы

При описании производства наноматериалов вводят классификацию по основным производственным процессам их получения:

- оптическая литография;
- литография с применением электронных, ионных и атомарных пучков;
- штамповка, молекулярное «впечатывание», нанолитография;
- самосборка;
- создание структур на поверхности при манипуляциях отдельными атомами и молекулами с использованием сканирующих зондовых микроскопов;
- механосинтез (молекулярные нанотехнологии);
- получение частиц из газовой фазы (пламя, плазма);
- получение нанокомпозитов методами золь-гель;
- управляемое создание наноструктуры в объеме материала.

Ниже представлены перечни классификаторов по нанотехнологиям, используемые различными организациями и целевыми программами как в Российской Федерации, так и за рубежом.

1. В Федеральной целевой программе по развитию инфраструктуры нанотехнологий [3.28]:

- 1.1. наноэлектроника;
- 1.2. наноинженерия;
- 1.3. функциональные наноматериалы и высокочистые вещества;
- 1.4. функциональные наноматериалы для энергетики;
- 1.5. функциональные наноматериалы для космической техники;
- 1.6. нанобиотехнологии;
- 1.7. конструкционные наноматериалы;
- 1.8. композитные наноматериалы;
- 1.9. нанотехнологии для систем безопасности.

2. В серии публикаций академика Ж.И. Алфёрова дается следующая классификация наноматериалов [3.55]:

- 2.1. полупроводниковые наноструктуры;
- 2.2. магнитные наноструктуры;
- 2.3. двумерные многослойные структуры из пленок нанометровой толщины;
- 2.4. молекулярные наноструктуры;
- 2.5. фуллереноподобные материалы;
- 2.6. конструкционные наноматериалы.

В состав наноэлектроники авторы [3.55] включают нано- и микроэлектромеханику и диагностику наноструктур.

3. Классификатор направлений развития нанотехнологий «8+» компании «Science Global Management» (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Классификатор нанотехнологий «8+» (2008 г.).

Источник: [<http://sgmlab.ru/class8>]

№	Направление нанотехнологии	Область применения	Перспектива продукта	Конкуренция
1	Твердотельные устройства на основе поверхностных и многослойных структур с заданным электронным спектром	Бытовая и военная электроника, средства связи, альтернативная энергетика	Очень высокая	Очень высокая (в военной электронике конкуренция ослаблена за счет государственной защиты)
2	Фотонные кристаллы	Средства связи	Высокая	Высокая
3	Управляемый рост нанофрактальных систем: селективных катализаторов, спецкоксов и т.д.	Химическая и нефтехимическая промышленность, атомная энергетика, пищевая промышленность	Очень высокая	Высокая
4	Функциональные нанокompозиты, в т.ч. основе полимеров и на основе фуллереноподобных структур	Материалы для автомобилестроения, авиапромышленности, альтернативной энергетики, высотного и транспортного строительства	Очень высокая	Очень высокая
5	Устройства молекулярной электроники	Бытовая электроника, средства связи	Высокая, но дальняя	Очень высокая
6	Устройства микроэлектромеханики	Микромашины	Низкая	Высокая

№	Направление нанотехнологии	Область применения	Перспектива продукта	Конкуренция
7	Медицинские нанотехнологии	Медицина, биотехнология, фармацевтика	Очень высокая	Сверхвысокая (безнадежная)
8	Нанодисперсные порошки	Высокотемпературная электроника, альтернативная энергетика, косметические средства	Средняя	Средняя

4. В концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р, выделены четыре направления нанотехнологий:

- 4.1. нанометрология;
- 4.2. нанотехнологии для медицины;
- 4.3. нанотехнологии для электроники, сенсорной техники, энергетики и других приложений);
- 4.4. наноматериалы (кристаллические, композиционные, керамические, полимерные, «умные» материалы со специальными свойствами, катализаторы, мембраны и др.).

Один из вариантов классификации наноматериалов представлен на рис. 3.6.

5. В перечень направлений развития нанотехнологий в Японии до 2010 г. входят (в скобках приведен объем финансирования в млрд долл.):

- 5.1. сети и наноприборы (Network and Nano Device, \$170-200 bl);
- 5.2. Окружающая наносреда и наноэнергетика (Nano Environment and Energy, \$9-17 bl);
- 5.3. нанометрология и нанооборудование (Nanometrology and Manufacturing, \$8-22 bl);
- 5.4. инновационные наноматериалы (Innovation Materials, \$6-14 bl);
- 5.5. нанобионика (Nano Bionic, \$6-8).

6. В перечень направлений развития нанотехнологий в США (NNI до 2015 г.) входят:

6.1. применения нанотехнологий для контроля окружающей среды (Nanotechnology Applications for Measurement in the Environment);

6.2. получение стабильных материалов и ресурсов (Nanotechnology Applications for Sustainable Materials and Resources);

6.3. разработка устойчивых производственных процессов (Nanotechnology Applications for Sustainable Manufacturing Processes);

6.4. вовлечение нанотехнологий в естественные и глобальные процессы (Nanotechnology Implications in Natural and Global Processes).

7. В перечень направлений развития нанотехнологий в Евросоюзе (Отчет для Еврокомиссии 2007 г.) входят:

7.1. наноматериалы (nanomaterials);

7.2. вторичные наноструктуры (lateral nanostructures);

7.3. нанобиотехнологии (nanobiotechnologies);

7.4. наногинструменты (nanotools);

7.5. нанооборудование (nanodevices);

7.6. наноэлектроника (nanoelectronics);

7.7. наномодифицированные продукты (nano enabled products).

8. В перечень направлений развития нанотехнологий в Китае входят:

8.1. углеродные нанотрубки и другие наноматериалы (Carbon nanotubes and other nanomaterials);

8.2. манипуляции отдельными атомами (Manipulation of single atoms);

8.3. молекулярная электроника (Molecular electronics);

8.4. поверхности и межфазные границы (Surface and interfaces).

По применению нанотехнологической продукции в Китае различают:

1. наноэлектроника (Nano-electronics);

2. нанобиотехнологии (Nano-biotechnology);

3. нановлияние на окружающую среду (Nano-environment);

4. наноэнергетика (Nano-energy);

5. наноматериалы (Nano-materials);

6. нанодиагностирующее оборудование (Nano-detection instruments).

Как видно, полного единства в классификации нанотехнологий и нанопродуктов пока не наблюдается. Отчасти это связано с национальными приоритетами в направлениях nanoисследований. В конце 2005 г. Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization – ISO) создала новый технический комитет ISO/TC 229 «Нанотехнологии» [3.56, 3.57]. На сегодняшний день в состав ISO входят 157 стран своими национальными организациями по стандартизации, т.е. стандарты ISO теперь получили признание в 98 % стран. Россию представляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Комитет «Нанотехнологии» был организован под председательством Британского института стандартов, целью его является разработка международных стандартов для нанотехнологий. Среди первоочередных задач ISO/TC 229 значится стандартизация в области терминологии, определений и номенклатуры. Комитет считает, что первым шагом в обеспечении обмена информацией и кооперации в области нанотехнологии является достижение согласованности по терминологии. Это окажет положительное влияние на принятие решений по патентам, исследования в области патентования, а также на другие права интеллектуальной собственности и их коммерческие применения.

В рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008 – 2010 гг.» создана «Карта областей измерительных и нормативно-методических потребностей развития инфраструктуры национальной нанотехнологической сети» [3.58], где представлена наиболее полная классификация нанотехнологий и нанопродуктов. В рамках Госкорпорации «Роснано» создана Система добровольной сертификации продукции nanoиндустрии «Наносертифика» (по направлениям наноматериалов и наносистем), которая опубликовала извещение о проведении процедуры признания компетентности испытательных лабораторий (центров) и метрологических центров в целях выполнения работ по сертификационным испытаниям, где дан подробный перечень свойств наноматериалов и методов контроля их свойств [3.59]. В ряде работ дается обоснование классификации отраслей наук в области нанотехнологий [3.60].

3.3. Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада

В настоящем разделе приводится краткий обзор основных направлений применения наноматериалов в формирующемся новом технологическом укладе. Многочисленные сферы применения нанотехнологий и нанопродуктов сгруппированы в данном разделе в семь основных областей: наноэлектроника, медицина и фармацевтика, генно-модифицированные продукты, конструкционные и функциональные материалы, машиностроение, энергетика, военные применения. Более детальное обсуждение применений нанотехнологий можно найти в литературе к разделу 3, в частности в обзорах [3.61 – 3.69].

3.3.1. Наноэлектроника и нанофотоника

Траектория роста нового технологического уклада пока еще формируется в условиях конкуренции различных технических решений, предлагающих их фирм и коллективов ученых. Электронная промышленность переходит в нанообласть как единое целое в полноте своих технологий производства, продуктовых потоков, технологий потребления [3.71 – 3.74].

Логика конкурентного развития современной микроэлектроники, являющейся основой микропроцессорной техники, заставляет производителей повышать быстродействие процессоров, увеличивать емкость памяти, уменьшать габариты устройств и удешевлять их. Поскольку основные технические характеристики электронных приборов во многом определяются размером электронных компонентов, их минимизация стала генеральным направлением технологической траектории развития микроэлектроники (рис. 3.9 – 3.11), охватившим все составляющие технологического процесса – литографическое оборудование, включающее эксимерный лазер, оптическую систему переноса изображения, систему позиционирования, сканирования и совмещения пластины и фотошаблона. Более сорока лет общая тенденция определялась так называемым законом Мура (Гордон Мур – один из основателей Intel), в соответствии с которым плотность компонентов интегральных электронных схем возрастала вдвое за каждые полтора года (соответственно

размер схемных элементов уменьшался вдвое). В результате в начале XXI века этот размер вошел в нанообласть (достиг 100 нм), а к 2020 г. должен ее покинуть, достигнув размеров в несколько атомов (см. рис. 3.7). Рубежом перехода этой технологической траектории к шестому технологическому укладу следует считать освоение диапазона экстремального ультрафиолетового излучения с длиной волны 13 нм (рис. 3.12).

Особенностью вхождения электронной промышленности в наноуровень является множество одновременных новаций в разработках материалов, конструкции интегральных схем, методах производства и др. Развитие электронной промышленности в целом определяется технологическими возможностями крупных корпораций, интегрирующих весь спектр технологий и применений как целое. Поэтому, можно считать, что степень влияния наноэлектроники определяется числом крупных компаний в ядре мировой электронной промышленности, перешедших на технологические нормы нано-диапазона (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Крупные компании в ядре мировой электронной промышленности, перешедшие на технологические нормы нано-диапазона

Наименование компании	Освоенная технология, нм.
Intel	45
Samsung	40
IBM	40
AMD	65 – 90
Analog Devices	95 – 120
Texas Instrument	130
Fujitsu	90
Микрон (Citronics)	180
Ангстрем (AMD)	95 – 130
Tochiba	95

Технологическая сопряженность уже сложившихся производств обуславливает синхронизацию взаимодополняющих и взаимоподдерживающих друг друга нововведений. Например, выпуск небольшого объема микросхем для суперЭВМ позволяет создать вы-

числительные средства для САПР авиастроения и судостроения. Это, в свою очередь, создает возможность проектирования сложной аппаратуры и, значит, повышает спрос на БИС. Такого рода обратные связи с сильным положительным эффектом формируют траекторию роста нового технологического уклада. Хотя переход к новому технологическому укладу влечет за собой закрытие старых производств, строительство новых заводов, обеспечивает рост производства и подъем экономической активности. Так, некоторые западные фирмы (Аналог Дивайсиз, Интел и др.) закрывают большое число старых заводов и строят новые в разных странах. Технологическое обновление сопровождается быстрым ростом показателей эффективности и интенсивности производства одновременно с повышением его капиталоемкости (рис. 3.13, 3.14 и табл. 3.4).

Таблица 3.4

Цены производства БИС в новых технологиях при массовом выпуске и в начале освоения небольшими партиями [3.75]

Уровень технологии, нм	Цена БИС при массовом производстве, долл.	Цена БИС средних партий, долл.
500	30	100
180	15	200
130	15	300
95	10	500

Динамика развития и распространения нанотехнологий в электронной промышленности наглядно иллюстрирует логику формирования технологической траектории ядра нового технологического уклада. Если в начальной фазе его жизненного цикла, когда сфера применения нанотехнологии весьма ограничена, а соответствующая технологическая база только формируется, затраты на инвестиции в создание производственных мощностей невелики, то по мере развертывания технологической траектории быстро растут объемы как производства, так и инвестиций, резко поднимается эффективность производства, позволяя финансировать дальнейшее развитие. При этом лидеры быстро наращивают технологическое превосходство, а вход нанотехнологии в данную технологическую траекторию для новичков оказывается все более дорогостоящим и экономически рискованным.

Светодиоды. Производства нового технологического уклада, как правило, на порядок менее энергоемкие и материалоемкие, чем предыдущего уклада. Типичным примером быстрого повышения эффективности энергопотребления по мере роста нового технологического уклада является распространение светодиодов в светотехнике. Светодиод – полупроводник, работа которого основана на физическом явлении возникновения светового излучения при прохождении электрического тока через *p-n*-переход полупроводника. Напомним, что *p-n*-переход – это зона контакта двух полупроводников с разными типами проводимости: один с избытком электронов – «*n*-тип», второй с избытком дырок – «*p*-тип». Состав материалов, образующих *p-n* переход, определяет тип излучения. В светодиодах используются полупроводниковые гетероструктуры на основе соединений алюминия, галлия, индия, фосфора и азота (AlGaInP, InGaN). В отличие от ламп накаливания, светодиоды излучают свет в относительно узкой полосе спектра. Они занимают промежуточное положение между лазерами, свет которых монохроматичен (излучение со строго определенной длиной волны), и лампами различных типов, излучающих белый свет (смесь излучений различных спектров). Как источники «цветного» света светодиоды давно обогнули лампы накаливания со светофильтрами. Полупроводниковые светоизлучающие диоды (СИД) – это исторически первые гетероструктурные приборы, широко используемые на практике.

Светодиоды, или светоизлучающие диоды (СИД, в английском варианте LED – Light Emitting Diode) стали очень привычными из-за их распространенного использования в качестве миниатюрных индикаторов в аудио- и видеоаппаратуре и бытовой технике. Кроме высокой световой отдачи, малого энергопотребления и возможности получения любого цвета излучения, светодиоды обладают целым рядом других замечательных свойств. Отсутствие нити накала благодаря нетепловой природе излучения светодиодов обуславливает фантастический срок службы. Производители светодиодов декларируют срок службы до 100 тысяч часов, или 11 лет непрерывной работы. Отсутствие стеклянной колбы определяет очень высокую механическую прочность и надежность. Малое тепловыделение и низкое питающее напряжение гарантируют высокий уровень безопасности, а безынерционность делает светодиоды не-

заменяемыми, когда нужно высокое быстродействие (например, для стоп-сигналов).

В ближайшее десятилетие мы станем свидетелями смены парадигмы в светотехнике – светодиоды все увереннее вытесняют лампы накаливания, ряд стекольных производств фирм Osram и Philips, выпускавших лампы накаливания, уже закрыт. Производство и использование традиционных ламп накаливания будет запрещено в Великобритании и Австралии уже в 2009 г., в США и Японии – в 2010 г. Канада, Израиль и Евросоюз в ближайшие годы полностью откажутся от лампочек накаливания и перейдут на энергосберегающие светильники. Устранен последний барьер на этом пути: согласованы стандарты энергосбережения в жилых домах. «Если весь мир последует нашему примеру, это позволит снизить количество потребляемой электроэнергии в пять раз, соответственно уменьшить выбросы парниковых газов и снизить плату за электроэнергию», – сказал австралийский министр, выступая по телеканалу Nine Network. Уже несколько лет подряд правительство Канады присылает жителям купоны на скидку при покупке энергосберегающих ламп.

Светодиоды находят все более широкое применение: светофоры и активные дорожные знаки, автомобили, подсветка сотовых телефонов, световая реклама, полноцветные светодиодные дисплеи и многое другое. Светодиодные цветодинамические системы, легко программируемые при помощи пульта или персонального компьютера, применяются в архитектурном и ландшафтном освещении. Если заглянуть в будущее, освещение светодиодами превращается в создание светоцветовой среды с полностью управляемыми пространственными, яркостными и цветовыми параметрами. Подобно компьютерной графике, проектирование такой среды превращается в программирование.

В начале своего жизненного цикла светодиоды уступали по показателям эффективности традиционным источникам света. Световая эффективность, измеряемая в люменах на ватт (лм/Вт) – характеризует эффективность преобразования электрической энергии в свет. Обычные лампочки накаливания работают в диапазоне 10 – 15 лм/Вт, современные люминесцентные лампы – 90 лм/Вт, натриевые лампы высокого давления – 132 лм/Вт. Несколько лет назад стандартная величина эффективности светодиодов была при-

близительно 30 лм/Вт. Но уже к 2006 г. эффективность светодиодов белого свечения более чем удвоилась: один из передовых производителей, компания Cree (США), продемонстрировала показатель 70 лм/Вт, фирма Nichia (Япония) анонсировала новые светодиоды белого свечения с достигнутой эффективностью светоотдачи 150 лм/Вт [3.76]. Технологическая траектория совершенствования светодиодов намного опережает другие источники света по эффективности преобразования электроэнергии в свет (рис. 3.15).

Основными производителями светодиодов и приборов на их основе выступают компании Японии (Nichia Chemical, Toyoda Gosei) и США (Lumiled, Cree). Быстрыми темпами растет производство светодиодов в странах Юго-Восточной Азии, прежде всего на Тайване, в Южной Корее и в Китае. Российский рынок светодиодов сегодня составляет около 100 миллионов СИД в год, и более половины из них покупаются за рубежом. Основные препятствия развития светодиодных технологий в России – это полное отсутствие роста промышленного производства светодиодных гетероструктур и практически полное отсутствие современных технологических линий для изготовления чипов. В нашей стране несколько предприятий занимаются сборкой светодиодов на основе импортных кристаллов: ОАО «ОКБ «Планета»» (Новгород), ЗАО «Протон» (Орел), ЗАО «Корвет-Лайтс» (Москва). Изготовление чипов СИД на основе нитрида галлия начато в ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» (Санкт-Петербург).

Несмотря на имеющиеся преимущества светодиодов и высокие темпы роста их производства, до сих пор процент перехода на светодиодные лампы невелик – менее 15 %. Главная причина – высокая цена. Отношение доллар/люмен для обычной лампы накаливания – приблизительно 0,001. А сверхъяркие светодиоды в настоящее время могут достигать лишь отношения 0,05-0,03 доллара за люмен. Резкое увеличение объема продаж и более широкое внедрение светодиодов в практику освещения возможно только при снижении этого показателя значительно менее 1 евроцента на один люмен. Ожидается, что цена на светодиоды будет уменьшаться на 20 % после каждого удвоения их эффективности [3.77].

История светодиодов восходит к 1923 г. Тогда наш соотечественник О.В. Лосев, проводя радиотехнические исследования, заме-

тил голубоватое свечение, испускаемое некоторыми полупроводниковыми детекторами. При этом разогрева элементов конструкции не было, свет рождался внутри карбидокремниевого кристалла вследствие неизвестных тогда электронных превращений. Однако первые светодиоды появились в 1962 г., а в 1968 г. – первая светодиодная лампочка для индикатора Monsanto и первый дисплей от Hewlett-Packard. В начале 1990-х годов появились яркие светодиоды красного, оранжевого и желтого свечения и позднее, синие, зеленые и белые светодиоды. В 1993 г. светодиоды освоили практически весь видимый цветовой спектр.

Впервые в мировой практике для подсветки живописи в музее (для освещения картины Леонардо да Винчи «Мона Лиза») был создан уникальный осветитель на светодиодах. Он разработан российскими специалистами компании «ФАРОС-АЛЕФ». Из-за ограниченности времени к реализации прибора кроме компании «ФАРОС-АЛЕФ» был привлечен ряд европейских фирм – INGELUX (Франция), FRAEN (Италия), DEF (Италия), объединившихся вокруг фирмы SKLAER (Германия), которая обеспечила координацию исследований, процессов разработки конструкции и системы управления световым пучком, изготовления образцов и отладки осветителя [Источник: Журнал nightshine.ntt/2007/12/29].

За последние годы при темпах роста, превышающих 30 % в год, мировой рынок светодиодов в 2007 г. достиг уровня в 3 – 4 миллиарда долларов. По оценкам компании Strategies Unlimited, изучающей рынок светодиодов объем рынка светодиодов достигнет \$ 5.9 миллиардов к 2015 г.

К числу крупнейших потенциальных рынков светодиодов высокой яркости относится рынок освещения. На долю освещения приходится около 16 % всей производимой в стране электроэнергии. Принципиальным моментом является тот факт, что наряду с немногими производителями в мире Россия владеет технологией изготовления светодиодов сверхвысокой яркости, непосредственно используемых для освещения жилья. Научную базу технологии составили исследования российских специалистов, выходцев из ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В случае замещения ламп в различных светильниках на светодиоды к 2012 г. мировой рынок светодиодной светотехники может превысить 60 млрд долл. в год. Российский рынок к этому моменту может достичь 70 млрд рублей. И продук-

ция отечественной наноиндустрии должна играть на нем определяющую роль.

Нанозлектромеханические MEMS-системы. Наиболее быстро растущей частью полупроводниковой отрасли становится рынок микроэлектромеханических систем (MEMS – Micro Electro Mechanical Systems) [3.79, 3.80]. Эту отрасль ИТ-индустрии в Японии называют микромашинами (Micromachines). Микроэлектромеханические системы получают путем комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общем кремниевом основании посредством технологий микропроизводства. Все элементы могут быть реализованы в виде единого изделия, причем сразу десятками или сотнями, как микросхемы на кремниевой пластине. В основе этого лежит апробированная традиционная технология производства полупроводниковых интегральных микросхем. Новые возможности для MEMS-систем открывают нанотехнологии.

Движимый MEMS-технологиями сектор оптоэлектроники, сенсоров и дискретных компонентов по темпам роста заметно опережает сектор интегральных схем. Среднегодовой рост сектора в течение ближайших пяти лет ожидался на уровне 15 %. В начале 2008 г. прогнозировалось, что к 2012 г. рынок MEMS-систем может превысить 66 миллиардов долларов США, что составит 15 % от всего рынка полупроводников. До недавнего времени автомобильная электроника была главной движущей силой MEMS-рынка. Одной из первых MEMS-технологий, получивших повсеместное распространение, стали сенсоры ускорения, устанавливаемые сейчас практически во все современные автомобили для детектирования столкновения и выпуска защитных воздушных подушек. Массачусетская компания Analog Devices, изготовившая первые такие сенсоры в 1993 г., сейчас продает автомобилестроителям около 50 миллионов MEMS-чипов в год. Есть и еще целый ряд успешных MEMS-изделий, таких как головки микроструйных принтеров или сенсоры давления, которые компания Motorola сотнями миллионов поставляет медицинской и автомобильной промышленности; цифровые проекторы высокого разрешения Texas Instruments, построенные на основе MEMS-массивов микрозеркал; за последние годы удалось достичь заметных успехов в изготовлении моторов, насосов и зажимов, сенсоров давления и смещения – короче, множества самых разных по назначению механических агрегатов, настолько

малых, что их не видно невооруженным глазом. Однако, согласно оценкам экспертов, акцент постепенно смещается в сторону производства устройств для потребительского сектора, например, акселерометров и гироскопов для пультов дистанционного управления игровых консолей. Резко возрастет количество MEMS-устройств в составе дорогих мультимедийных телефонов и переносных накопителей на магнитных дисках, где они, как правило, обеспечивают работу систем стресс-защиты, улавливая опасные для жизни устройства ускорения. Сейчас наиболее востребованы такие MEMS-устройства, как сенсоры ускорения в мобильных телефонах, портативных ПК и игровых приставках. MEMS-устройства также задействованы для защиты жестких дисков от повреждений при падении, а в ноутбуках – для отключения в случае воровства. Развиваются MEMS-устройства оптических коммутаторов для оптоволоконных телекоммуникационных систем. MEMS-технология в настоящее время является самой передовой и перспективной технологией производства СВЧ-устройств [<http://www.chipinfo.ru>].

СВЧ-электроника. Аналогичным образом развитие промышленности средств связи привело к прогрессу в СВЧ-электронике на основе использования наноразмерных гетероструктур, обеспечивающих создание самых высокоскоростных трехэлектродных твердотельных приборов, и доминирующих в системах связи, радиолокации, СВЧ-радиометрии, навигации, в устройствах для борьбы с терроризмом, а также современных электронных средств вооружений (бортовых и наземных радиолокаторов, средств радиоэлектронной борьбы и т.д.). Достижение минимального размера элемента (длины затвора транзистора) значения 30 – 50 нм обеспечило качественный скачок – создание СВЧ-приборов с диапазоном частот свыше 1000 ГГц, которое можно считать рубежом перехода к шестому технологическому укладу.

Переход в СВЧ-нанoeлектронике от субмикронных транзисторов (MESFET-транзисторов, MESFET-metalized semiconductor field-effect transistor, полевой транзистор с затвором Шоттки) к гетероструктурным нанотранзисторам (HEMT-нанотранзисторам) ознаменовал не простое «механическое» масштабирование транзисторных характеристик, а качественный переход: от классического электронного газа к квантовому двумерному электронному газу, и от квазиравновесного электронного транспорта к бесстолкновитель-

ному баллистическому транспорту [3.81, 3.82]. В СВЧ-устройствах это обеспечило многократное увеличение быстродействия, переход от сантиметрового диапазона длин волн к миллиметровому и субмиллиметровым диапазонам, и, соответственно, увеличение скоростей и объемов передаваемой информации в системах связи и радиолокации, разрешающей способности в радиолокации. Россия является родиной одного из наиболее значимых достижений – полупроводниковых наногетероструктур, за которые академик Жорес Алферов получил Нобелевскую премию.

Последние достижения СВЧ-нанoeлектроники в мире включают: гетероэпитаксию наноструктур с толщинами слоев до 15 нм, нанолитографию формирования затворов транзисторов с базой менее 100 нм и другие операции изготовления нанотранзисторов; транзисторы на наногетеросистеме с квантовыми ямами с использованием полупроводников на основе соединений индия, алюминия, галлия, фосфора, мышьяка (InAlAs/InGaAs/InAlAs/InP) с предельной частотой усиления по мощности 190 ГГц, транзисторы на наногетеросистеме с квантовыми ямами AlGaAs/InGaAs/AlGaAs/GaAs с рекордно низким коэффициентом шума 0,37 дБ на частоте 12 ГГц, транзисторы на широкозонной гетеросистеме AlGaN/GaN с рекордно высокой частотой усиления 107 ГГц, ряд других типов транзисторов, а также результаты разработок СВЧ-монокристаллических (объемных) интегральных схем на нанотранзисторах. Как подчеркивает В. Г. Мокеров, «степень развитости данной технологии, тем более – в эпоху информационной революции – характеризует не только научный, экономический и оборонный потенциал страны, но и степень развитости и цивилизованности государства в целом» [3.82].

Сейчас в гетероструктурной СВЧ-технологии наиболее перспективны два направления [3.82]. Первое – это широкозонные гетеросистемы на основе нитрида галлия GaN и твердых растворов AlGaN. У нитрида галлия ширина запрещенной зоны ~ 3,4 эВ, т.е. в 2,5 раза больше, чем у GaAs. Поэтому максимальная выходная мощность приборов на нитридах на порядок выше, чем в транзисторах на GaAs. Именно с этим направлением и связывают грядущую революцию в «твердотельной» радиолокации на активных фазированных антенных решетках (АФАР). К сожалению, граж-

данский сегмент рынка для отечественной СВЧ-гетероэлектроники пока отсутствует.

Второе направление, которое также стремительно развивается, базируется на изоморфной и псевдоморфной гетеросистемах InAlAs/InGaAs, выращиваемых на подложках InP. Транзисторы на этих гетероструктурах – самые высокоскоростные из всех существующих в мире твердотельных трехэлектродных приборов. Их рабочие частоты уже перешагнули за 100–200 ГГц и приближаются к субмиллиметровому диапазону. На гетеросистеме InAlAs/InGaAs с использованием 50-нм технологии за рубежом сейчас разрабатываются самые высокоскоростные оптоволоконные линии связи – до 100 Гбайт/с и выше.

Объем мировых продаж только самих гетероструктурных транзисторов и монолитных интегральных схем (МИС) уже приблизился к 7 – 8 млрд. долларов в год, ежегодно увеличиваясь более чем на 30 % [3.84]. По всем прогнозам, рынок этих изделий в ближайшие 12 – 15 лет будет оставаться наиболее привлекательным для инвестиций. Наиболее массовой областью применения технологии наногетероструктур является сотовая связь. Она занимает около 57 % «гетероструктурного» рынка – гетеротранзисторы содержит почти каждый сотовый телефон. Около 23 % рынка занимает быстро прогрессирующая высокоскоростная волоконно-оптическая связь, потребляющая гетероструктурные МИС на частоты до 60 ГГц и выше. Около 12 % рынка принадлежит так называемой потребительской электронике, связанной с цифровым ТВ (частоты от 12 до 30 – 40 ГГц). Кроме того, быстро растет рынок гетероструктурных МИС на частоты 70 – 77 ГГц для автомобильных радаров (системы предотвращения столкновений), а также рынок СВЧ МИС для спутниковой связи на частоты до 60 ГГц. Перспективно применение гетероструктурной СВЧ-электроники и в беспроводных системах широкополосного доступа в диапазоне 40 – 60 ГГц и выше (например, системы стандарта IEEE 802.16). До 4 % рынка гетероструктур занимает военная электроника. В основном это бортовые и наземные радиолокаторы на активных фазированных антенных решетках X-диапазона (около 10 ГГц). Жизнь показывает, что там, где требуются рабочие частоты выше 4 – 5 ГГц, наногетероструктурная технология быстро вытесняет кремниевую и классическую GaAs MESFET-технологии, завоевывая все боль-

шую долю мирового телекоммуникационного и радиолокационного рынка.

В России современной промышленной гетероструктурной технологии пока нет – ни в части массового производства наногетероструктур, ни в части производства гетеротранзисторов, и тем более – микросхем. Сквозного, унифицированного и лицензированного СВЧ САПР также нет. Коммерческий рынок в стране не сформирован, доминирует оборонный госзаказ. То есть ситуация близка к тому, что было за рубежом в 80-х годах.

Лазерная техника. Базовым изобретением в этой области, определяющим переход к шестому технологическому укладу, следует считать создание высокоэффективных лазеров, использующих гетероструктуры с наноразмерными слоями – с квантовыми ямами и квантовыми точками (см. рис. 3.16, 3.17). В России основные исследования в этом направлении ведутся в Физико-техническом институте (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург), а также в Институте физики полупроводников (Новосибирск). Использование нанотехнологий позволяет качественно улучшить и поднять эффективность изготовления полупроводниковых лазеров, светодиодов и осветительных систем на их основе.

Полупроводниковые лазерные диоды относятся к числу наиболее сложных гетероструктурных приборов [3.84 – 3.86]. Только наиболее передовые в технологическом отношении государства (США, Япония, Германия, Франция, Южная Корея, Тайвань) располагают полным технологическим комплексом, достаточным для производства различных типов таких приборов. Области применения полупроводниковых лазеров весьма разнообразны: оптические устройства записи, хранения и считывания данных, системы волоконно-оптической связи, системы накачки твердотельных лазеров, датчики различного типа, медицина и т.д. Например, использование электромагнитного излучения терагерцового диапазона безвредно для человека. Поэтому при создании соответствующих систем управления терагерцовым излучением и регистрации изображений можно строить эффективные системы интродивидения (интроскопии) взамен рентгеновских, а также системы локации и др.

В России, несмотря на сложности финансирования, сохраняется научный паритет с развитыми странами на всех основных направлениях разработки лазерных диодов. Он выражается в достижении

параметров мирового уровня (в том числе – рекордных) для приборов, изготовленных в условиях мелкосерийного или лабораторного производства. Некоторое отставание наблюдается в области разработки приборов, излучающих в диапазоне менее 700 нм, что обусловлено практически полным отсутствием интереса к таким изделиям на российском рынке и высокой конкуренцией дешевых приборов на рынке международном. Полный цикл производства полупроводниковых лазеров сохранился на таких российских предприятиях, как НИИ «Полус» (Москва), «Инжект» (Саратов) и НПО «Север» (Новосибирск). Дополнительно к этому, ряд малых предприятий располагает технологией сборки и корпусирования кристаллов полупроводниковых лазеров (например, в Санкт-Петербурге – компании «ФТИ-Оптроник», «Полупроводниковые приборы» и др.) [3.84]. Общий российский рынок лазерных диодов оценивается в 8 – 12 млн. долл. в год при ежегодном приросте 8 – 10 %, что соответствует общемировым тенденциям. Для организации отечественного производства полупроводниковых лазерных диодов в промышленных масштабах в первую очередь необходимо найти внутренних и внешних потребителей, готовых в достаточных масштабах использовать эту наукоемкую продукцию.

Применение наночастиц и полупроводниковых нанопроводов позволило создать сверхкоротковолновые лазеры (нанолазеры), обещающие увеличение плотности оптических дисков в десятки раз. Коротковолновый лазер с длиной волны 5 – 50 нм может найти свое применение в новых видах оптической микроскопии и литографии высокого разрешения, необходимой для создания микро- и наноэлектроники нового поколения. Кроме того, этот диапазон ультрафиолетового света очень перспективен в спектроскопических методах анализа вещества. Устройства хранения данных (информации) ждет большое будущее. При смене красных лазеров, используемых сегодня для записи CD-систем, на нанолазеры плотность записи возрастет более чем в тысячу раз.

Фирма IBM является одной из компаний, пытающихся разработать на основе нанолазеров оптические компьютеры, которые заменят современные электрические компьютеры. В свою очередь оптические компьютеры являются отправным шагом к ещё более сложным квантовым компьютерам. Эти нанолазеры могут использоваться и в электрических компьютерах для преобразования элек-

трических сигналов в оптические (и обратно) и для передачи информации в обычных оптоволоконных сетях на ещё более высоких скоростях.

Нанолазер, разработанный учеными из американской Национальной лаборатории Сандия (Sandia National Laboratory), позволяет диагностировать рак на самых ранних стадиях заболевания (см. журнал *Biomedical Microdevices*, <http://medportal.ru>).

Молекулярная электроника. Как реальная альтернатива «кремниевой» электронике в недалеком будущем многими специалистами рассматривается молекулярная электроника. Тому есть несколько причин. Природа создала за миллионы лет эволюции самые разнообразные молекулы, выполняющие все необходимые для сложного организма функции: сенсорные, логически-аналитические, запоминающие, двигательные. Зачем разрабатывать и производить искусственные структуры из отдельных атомов при наличии готовых строительных «блоков»? Тем более, что они имеют оптимальную конфигурацию, структуру и нанометровые размеры. Компания Hewlett-Packard сообщила, что ей удалось создать память наибольшей на сегодняшний день плотности с электронной адресацией путем использования молекулярных решеток [<http://www.osp.ru/cw>]. По словам Стэна Уильямса, директора исследовательской лаборатории по квантовым технологиям HP Labs, это достижение можно считать настоящим прорывом в области электроники. Оно открывает дорогу к созданию сложных микросхем, размером в несколько молекул, совершенствование которых в дальнейшем позволит получить еще меньшие, более быстрые и дешевые устройства.

Пределом уменьшения размеров и энергопотребления и увеличения быстродействия в информационных системах, основанных на двоичной логике, является использование в качестве элементарной ячейки отдельных молекул, имеющих два стабильных состояния. Большинство работ по созданию новой нанотехнологической элементной базы информатики и электроники посвящено поиску и разработке элементов с двумя устойчивыми состояниями на основе молекул, нанокластеров или наночастиц. Основной проблемой является интеграция таких элементов, создание межэлементных связей, управление сигналами информационными потоками в таких системах. Молекулярные системы, действующие в биологических

объектах, подсказывают, что наиболее эффективным методом объединения отдельных элементов в функциональную систему является самоорганизация молекулярных структур, основанная на взаимодействиях, которые значительно сложнее и в отдельности слабее классических электронных связей. К таким взаимодействиям относятся электростатические, гидрофобные, а также водородные связи. Для стабилизации сложных наноструктур во многих случаях требуются многократные связи, которые являются основой кодировки информации внутри наноструктур. Одной из фундаментальных задач является понимание механизмов самоорганизации управления ее процессами для получения наноструктур с заданными свойствами.

Перспективным направлением развития электроники, определяющим прогресс информационных и телекоммуникационных технологий в ближайшие 10 – 20 лет, является переход от двоичной логики к нейросетевым методам обработки информации в непрерывных распределенных молекулярных и биомолекулярных средах с использованием в качестве носителей информации световых потоков. Оптические методы обработки информации на порядки производительнее методов, основанных на транспорте электронов, кроме того они упрощают решение проблем параллельной обработки информации и создание трехмерных функциональных структур. Функциональные возможности молекулярной фотоники позволяют реализовать значительно более высокую степень интеграции и быстродействие, недостижимые в традиционной микроэлектронике, создать новые архитектуры высокопроизводительных систем для обработки сверхбольших массивов информации, а также устройства хранения информации большой емкости. Разрабатываемые функциональные материалы позволяют формировать нейросетевые интеллектуальные самообучающиеся системы адаптивного управления динамическими объектами.

Объединение достижений нано- и биомолекулярных технологий позволяет получить принципиально новые материалы для специализированной элементной базы нейрокомпьютеров и интеллектуальных робототехнических систем, способных к автономному обучению и успешной последующей работе в сложных условиях внешней среды.

За последние 10 лет активно развивались исследования в области термически необратимых синтетических фотохромных органических соединений, которые отличаются термической стабильностью исходной и фотоиндуцированной форм. Благодаря широким возможностям синтетической органической химии получены соединения этого типа с различными спектральными характеристиками исходной и фотоиндуцированной форм; реализующие фотоиндуцированные превращения не только в полимерных, но и в твердых расплавах. На базе синтетических фотохромных органических соединений во всем мире ведутся интенсивные исследования по созданию трехмерных структур для хранения информации повышенной емкости. В настоящее время созданы многослойные оптические диски с информационной емкостью 100 Гбайт.

Другой областью применения молекулярных систем на основе органических и неорганических соединений является разработка эффективных дешевых светодиодов во всем видимом спектре излучения, в том числе белого света, и создание на их основе сверхтонких гибких дисплеев и других устройств отображения информации, а также экономичных дешевых источников освещения для замены ламп накаливания.

В настоящее время существующих фундаментальных знаний и нанотехнологий достаточно лишь для демонстрации принципиальных возможностей создания практически всех структур, необходимых для информационных технологий и микроробототехники. В ближайшем будущем они будут играть важную роль во многих приложениях. Молекулярная электроника входит составной частью в более крупную отрасль – нанобиотехнологию, занимающуюся биообъектами и биопроцессами на молекулярном и клеточном уровне и держащую ключи к решению многих проблем экологии, медицины, здравоохранения, сельского хозяйства, национальной обороны и безопасности.

Квантовые компьютеры. В начале XXI века в соответствии с законом Мура (см. рис. 3.9 – 3.10) размер схемных элементов компьютеров вошел в нанобласть (достиг 100 нм), а к 2020 г. должен достичь размеров в несколько атомов. Это будет означать качественное изменение поведения этих элементов – они будут представлять собой чисто квантовые объекты, описание которых дается квантовой механикой. Появление квантовых компьютеров, исполь-

зующих такие необычные свойства, представляется неизбежным. Более того, само развитие нанотехнологии кажется невозможным без использования квантовых компьютеров. Работа квантовых компьютеров основывается на манипуляции с когерентным квантовым состоянием системы, тщательно изолируемой от внешней среды, чтобы позволить базисным состояниям интерферировать друг с другом [3.87, 3.88].

Алексей Андреев, партнер венчурной фирмы Draper Fisher Jurvetson, опросил нескольких специалистов, работающих в области нанотехнологий, какой инструмент им более всего необходим для работы [3.63]. Они ответили, что только квантовый компьютер будет способен моделировать атомные взаимодействия и предсказывать, как та или иная архитектура будет действовать. Сегодняшние компьютеры с кремниевыми чипами не могут даже дать надежду на решение таких задач.

Причина в том, что описание многочастичных квантовых систем, которыми являются наноструктуры, требует вычислительного ресурса, объем которого растет экспоненциально с числом ее элементов. Так, для описания одной двухуровневой квантовой системы (например, спина в магнитном поле) требуется два комплексных числа, двух – 4, n спинов – 2^n . При $n = 260$ число состояний превышает 10^{80} – число частиц во всей наблюдаемой Вселенной. То есть даже небольшие системы – ядра атомов лоуренсия и курчатовия как раз содержат около 260 нуклонов – требуют для своего описания колоссального ресурса. Квантовые компьютеры и призваны решить эту задачу моделирования квантовых систем.

«За последние 40 лет эффективность вычислений выросла в 100 000 раз, – отметил Стэнли Уильямс, Директор лаборатории квантовых исследований Hewlett-Packard Labs – и, похоже, нет физических ограничений для ее увеличения еще в миллиард раз. В определенном смысле можно сказать, что век вычислительной техники еще не наступил» [<http://pcweek.ru>]. Это означает, что биотехнология и нанотехнология будут способны уйти от эмпирической методологии к моделированию, ускоряя развитие нанотехнологий.

Квантовая теория вычислений и квантовая теория связи начинаются работами Чарльза Беннетта (IBM) и нашего соотечественника Александра Семеновича Холево, опубликованными в 1973 г. Далее развитие этих работ идет нарастающим темпом. В 1997 г.

Джефф Кимбл (Caltech) реализует квантовый бит – кубит в виде магнитного момента ядра атома цезия. Группы Франческо де Мартини (Rome University) и Антона Зайлингера (University of Innsbruck) реализуют схемы квантовой телепортации. В 1998 г. созданы первые *двухкубитные* квантовые устройства, основанные на использовании ЯМР-резонанса (Oxford, IBM, MIT, Stanford). В 2000 г. создано *семикубитное* квантовое устройство, основанные на использовании ЯМР-резонанса (LANL). Эдвард Фари, Джеффри Голдстоун, Сэм Гутманн и Михаэль Зипсер (MIT) выдвигают идею *адиабатических квантовых вычислений*. С 2005 г. предлагается множество физических реализаций кубитов в виде фотонов с квантовыми точками, фуллеренами и нанотрубками в качестве их ловушек.

В 2007 г. фирма Draper Fisher Jurvetson (DFJ), работающая в области нанотехнологий, и стартап D-Wave Systems (Ванкувер, Канада), образованная в 1999 Александром Загоскиным, представили 16-кубитный квантовый компьютер на сверхпроводящих элементах. Этот компьютер создан на основе новой парадигмы квантовых вычислений, основанной на адиабатической теореме квантовой механики. Система встречает скептический прием специалистов, однако на ее создание выделено 40 миллионов евро венчурного капитала. Группа, включающая институт Макса-Планка, Венский университет, Австрийский институт оптики и квантовой информации и др. устанавливает квантовую связь между двумя Канарскими островами (Ла Пальма и Тенерифе), расстояние между которыми – 144 км. В 2008 г. D-Wave представила 28-кубитный квантовый компьютер на сверхпроводящих элементах и обещала в конце года создать 1024-кубитную модель.

Непрерывно растет финансовая поддержка этих работ. В 2005 г. стартовал Pathfinder Project «Квантовая обработка информации и связь», определивший Европейскую дорожную карту для многих групп исследователей. По публикациям в области квантовой информатики Европа идет вровень с США. Мало отстает от них и Австралия. Но США инвестирует в квантовую информатику около 100 миллионов долларов в год.

Считается, что наноструктурированная джозефсоновская электроника как нельзя лучше подходит в качестве физической среды для конструирования квантовых компьютеров. На основе двухмер-

ных сеток джозефсоновских контактов может быть также создан новый тип компьютерной памяти, строящийся не на базе традиционной логики, а использующий ассоциативную, распределенную по всей структуре память, подобно нейронным сетям живых организмов. Такая система будет способна распознавать образы, принимать оперативные решения в многофакторных ситуациях (например, в экономике, оборонных задачах, космических исследованиях) в реальном времени без механического перебора всех возможных вариантов.

Спинтроника. Твердотельная электроника второй половины XX в. была основана на переносе заряда электронов и управлении им при помощи электрических и магнитных полей. В конце века возникло и стало быстро развиваться новое направление, активно использующее то обстоятельство, что электрон, помимо заряда, обладает сугубо квантово-механической характеристикой – собственным угловым моментом (спином) и связанным с ним магнитным моментом. Это новое научное и технологическое направление получило название "спиновая электроника", или "спинтроника". Спинтроника – устоявшийся термин, относящийся к области квантовой электроники. Существуют разные его толкования: электроника переноса спина (spin transport electronics); электроника, основанная на спине (spin-based electronics); или просто спин-электроника (spin-electronics) [Жувикин Г. Спинтроника. "Компьютерра" №3 от 25 января 2005 года. <http://offline.computerra.ru/2005/575/37385>].

В спинтронике изучаются и эксплуатируются магнитные потоки, сильно напоминающие по своим свойствам электрические. Однако такие потоки, в отличие от электрических, не выделяют тепло [Ю.В. Гуляев, П.Е. Зильберман, Э.М. Эпштейн. Как ток спины переносит. Спинтроника многослойных ферромагнетиков. Природа, № 5, 2007 г.; Ю.В. Гуляев, П.Е. Зильберман, А.И. Панас, Э.М. Эпштейн. Спинтроника: обменное переключение ферромагнитных металлических переходов при малой плотности тока. УФН, т. 179, № 4]. Интерес исследователей к спиновой электронике возник в связи с открытием в 1988 году гигантского магниторезистивного эффекта (GMR-эффект), или гигантского магнитосопротивления (ГМС), положившим начало спинтронике. За это открытие немец Петер Грюнберг и француз Альбер Ферт стали Лауреатами Нобе-

левской премии по физике 2007 года. Примерно в то же время Бэйбич (M.N. Baibich) обнаружил эффект гигантского магнитосопротивления в многослойных магнитных наноструктурах Fe/Cr, суммарная толщина которых составляла около 100 нм (количество слоев менялось от 3 до 50). Открытие ГМС позволило создать высокоточные сенсоры магнитного поля, датчики углового вращения и, самое главное, считывающие головки жестких дисков. Первые считывающие ГМС-головки были выпущены в 1997 году компанией IBM и в настоящее время используются практически во всех жестких дисках.

Компания Motorola начала массовое производство спинтронных модулей памяти MRAM (Magnetoresistance Random Access Memory – магниторезистивная память с произвольной выборкой). Главное отличие таких модулей – записанная информация не пропадает при отключении питания, так как электроны способны сохранять положение спина сколь угодно долго. MRAM уже нашла применение в сотовых телефонах, мобильных компьютерах, идентификационных картах. Кроме того, новую память используют военные для управления боевыми ракетами и для контроля за космическими станциями. Высокоточные угловые, позиционные и скоростные спиновые сенсоры широко используются в автомобильных агрегатах и механизмах – например, в антиблокировочной тормозной системе, известной водителям как ABS (Antilock Braking System), благодаря которой автомобиль сохраняет прямолинейное направление движения при торможении на скользком дорожном покрытии. Современную компьютерную, теле- и видеотехнику невозможно представить без спинтронных устройств. Помимо жестких дисков, достижения спинтроники можно найти в персональных видеорекордерах (тюнерах для захвата видеосигнала с аналоговых устройств), аппаратуре телевидения высокой четкости (HDTV), DVD-приводах с интерференцией в ближнем поле (near field recording, NFR) при записи. Спинтроника даст возможность также создать СВЧ-генераторы и другие микроволновые приборы нового поколения.

Специалисты выделяют три главных направления развития спинтроники в ближайшие десятилетия: квантовый компьютер, спиновый полевой транзистор и спиновая память. В данной области используются качественно новые гетероструктуры – наноплен-

ки. Наряду с ранее известными магнетиками по мере развития спинтроники появились новые – магнитные полупроводники, вещества, которые одновременно могут быть магнитами, полупроводниками и оптическими средами. Химические, литографические и молекулярно-кластерные технологии позволяют создавать для спинтроники разнообразные наноструктуры с необходимыми магнитными свойствами. В перспективе - спинтроника, работающая с магнитными молекулами. Российские ученые имеют здесь неплохой задел.

Стратегическая и экономическая значимость разработок в области спинтроники общепризнана. Неудивительно, что лидирующие позиции здесь принадлежат США, где опекой этого перспективного научного и технологического направления занимаются такие авторитетные ведомства, как NSF (National Science Foundation), NIST (National Institute of Science and Technology), DoD (Department of Defense), DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) и ONR (Office of Naval Research). Одним из ведущих мировых центров является Центр спинтроники и квантовых вычислений (CSQC) Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. В 70-е и 80-е годы прошлого века в нашей стране были неплохие, мирового уровня, наработки по созданию памяти на магнитных цилиндрических доменах. Однако наступивший развал отечественной электронной промышленности свел на нет эти достижения. Поэтому у нас нет масштабных технологических работ по спинтронике.

3.3.2. Медицина и фармацевтика

Важной составляющей ключевого фактора шестого технологического уклада являются нанобиотехнологии, объединяющие достижения физики, химии, биологии и медицины. На их основе создаются системы диагностики, разрабатываются высокодисперсные формы лекарственных препаратов и их адресной доставки к пораженным органам, создаются биосовместимые материалы и покрытия для использования в медицинской имплантационной практике, реконструктивной и пластической хирургии. Осваивается промышленный выпуск тест-систем для ускоренного определения возбудителей социально значимых вирусных и бактериальных заболеваний, токсинов и вредителей сельскохозяйственных культур. Раз-

рабатывается технология для производства нанодиагностикомов на основе инкапсулированных квантовых точек, металлических наночастиц с целью создания новых быстрых и недорогих аналитических методов декодирования последовательности нуклеиновых кислот и белков для нужд медицины, сельского хозяйства, национальной безопасности. Создаются технологии для специфического выявления высокопатогенных вирусов, включая человеческие и птичьи вирусы гриппа, с использованием единого способа детекции, основанного на изменении величины тока в нанопроводах при связывании с ними биообъекта.

В последние годы наблюдается феноменальный рост продаж лекарственных препаратов, разработанных с использованием технологий генной инженерии. Американская компания Genentech (DNA) впервые синтезировала человеческий инсулин, до появления которого больные сахарным диабетом были вынуждены, несмотря на выраженные побочные эффекты, принимать инсулин, выделенный из поджелудочных желез свиней и крупного рогатого скота. Это произошло в 1978 г. и считается официальной датой рождения биотехнологии.

Нанобиотехнологии – междисциплинарная область, являющаяся по оценкам экспертов современным лидером по перспективности и темпам развития. К практическим применениям нанобиотехнологии относятся:

- увеличение скорости и точности диагностики заболеваний;
- создание наноструктур для доставки функциональных молекул в клетки-мишени;
- повышение специфичности и скорости доставки лекарств;
- миниатюризация биосенсоров путем объединения биологического и электронного компонентов в один мельчайший прибор;
- содействие развитию экологически чистых производственных процессов.

Американские эксперты выделяют следующий репрезентативный ряд приложений нанотехнологии в биомедицине, состоящий из одиннадцати тем:

- инженерия живых тканей и регенеративная медицина;
- биологические наноструктуры;
- инкапсуляция лекарств и адресная доставка лекарств;

- молекулярная визуализация;
- биофотоника;
- биосовместимые имплантанты;
- биоаналитические мембраны;
- молекулярные биосенсоры;
- биочипы и лаборатории на чипе (lab-on-a-chip);
- функциональные молекулы: переключатели, насосы, транспортные средства.

Эксперты Европейской комиссии составили следующий перечень наиболее важных, по их мнению, разделов нанобиотехнологий:

- доставка лекарств;
- молекулярная визуализация;
- косметика;
- создание новых лекарственных средств;
- методы диагностики;
- хирургия, в т.ч. трансплантация тканей и органов;
- тканевая инженерия;
- пищевые технологии;
- геномика и протеомика;
- молекулярные биосенсоры и прочие технологии.

Основные направления развития нанобиоиндустрии на ближайшие пять лет определяются развитием микро- и нанофлюидной техники для точного дозирования и распределения жидкостей и наночастиц в определенном объеме или на поверхности, технологий проведения биохимических реакций в микро- и нанобъемах, и технологий считывания этих сигналов с последующей трансформацией сигнала в последовательность нуклеиновой кислоты. Актуальность развития методов быстрого и недорогого анализа биополимеров и особенно ДНК определяется необходимостью совершенствования методов диагностики ранних стадий заболеваний, обеспечения адекватной поддержки персонализированной медицины и введения мероприятий по своевременному обнаружению и мониторингу инфекционных агентов вирусной и бактериальной природы, а также паразитарных инфекций. На этой основе планируется создание принципиально новых систем многопараметрического анализа маркеров социально значимых заболеваний человека с ис-

пользованием инкапсулированных квантовых точек (нанокристаллов) и нанодисперсий металлических наночастиц для одновременной регистрации концентраций белковых и низкомолекулярных маркеров, не превышающих пикомоль/мл. Квантовые точки являются в настоящее время универсальным материалом для адресной цветной маркировки ряда параметров, используемых в диагностике опухолевых процессов, соматических и наследственных генетических патологий, и при проведении морфологических исследований в клинической и научной практике. Ведется разработка технологии создания гибридных биосовместимых наноматериалов на основе неорганических наночастиц и генно-инженерных антител для адресного воздействия на биологические объекты.

Миниатюризация устройств, предназначенных для выявления ранних стадий заболевания, использование в качестве активного диагностического начала – сенсора наноразмерных датчиков (квантовых точек с иммобилизованными антителами, лигандами и другими аффинантами) и одновременное повышение количества определяемых параметров обуславливает чрезвычайный интерес к этому разделу нанобиотехнологии инвестиционных компаний во всем мире.

Одним из ведущих носителей нанобиотехнологий становится фармацевтическая промышленность. В частности, создание высокодисперсных форм лекарственных средств является одним из наиболее перспективных направлений разработки фармакологических и ветеринарных препаратов. Исследования процессов трансдермального и трансбарьерного переноса физиологически активных веществ с помощью липосом и наноэмульсий продемонстрировали на примере даже широко известных и давно применяемых препаратов (антибиотиков, цитостатиков и др.) значительные преимущества этих лекарственных форм с точки зрения увеличения эффективности, снижения токсичности и риска возникновения побочных эффектов, возможности осуществления регулируемого или пролонгированного высвобождения действующего вещества, а также возможности направленной доставки его к пораженному органу или ткани.

Технологии генной инженерии позволяют синтезировать лекарственные препараты с заранее известными свойствами, в отличие от традиционной фармацевтики, которая для разработки новых

препаратов вынуждена исследовать свойства десятков тысяч различных химических субстанций. Благодаря новым подходам к разработке лекарственных препаратов, в последние годы мы стали свидетелями революционных прорывов в лечении таких заболеваний как рак, рассеянный склероз, ревматоидный артрит, сахарный диабет, ВИЧ и др.

Большое распространение данные технологии нашли в области косметологии, поскольку получаемые таким способом липосомальные косметические препараты обладают отличной способностью к трансдермальному проникновению. Разработаны новые транспортные наносистемы (контейнеры) для доставки лекарств в органы-мишени. Эти разработки позволяют повысить растворимость, биодоступность, терапевтические возможности препаратов, снизить дозы и побочные эффекты, значительно уменьшив лекарственные нагрузки на организм. По некоторым оценкам, довести новое лекарство от идеи до постели больного стоит в США около 800 млн долларов.

Применение нанотехнологий позволяет качественно поднять эффективность многих видов медицинской деятельности. В частности, они позволяют создать материалы, обладающие повышенной биосовместимостью к крови, живым тканям и физиологическому раствору человеческого организма. Потребность в качественных имплантатах только для сердечно – сосудистой хирургии исчисляется 3 – 4 млн. шт. в год. Формирование биосовместимых границ раздела медицинского материала-имплантата с живыми компонентами организма человека (кровь, плазма крови, физиологический раствор, лимфа и т.д.) требует создания морфологической структуры поверхности имплантата с такими размерами активных элементов поверхности, которые соответствуют размерам структур этих живых компонентов т.е. в наномасштабном диапазоне.

Соединение нанотехнологий и достижений генной инженерии открывает революционные возможности для регенерирования тканей. Для создания биоискусственных органов и тканей используются матриксы (носители) для клеток на основе наночастиц. Перспективным направлением является использование **стволовых клеток**. Стволовая клетка – это незрелая клетка, способная к самообновлению и развитию в специализированные клетки организма. Механизмы, определяющие специализацию клетки, еще не вклю-

ченны, из них потенциально могут развиваться любые клетки. Сегодня существует множество клиник по всему миру, предлагающих лечение стволовыми клетками (СК) огромного количества заболеваний. Компании, занимающиеся стволовыми клетками в мире, представлены на сайте <http://www.stem-cell-companies.com>. Ранее считалось, что источником стволовых клеток является эмбриональная ткань и костный мозг взрослого человека. Однако в последующем были обнаружены неисчерпаемые запасы стволовых клеток в жировой ткани организма, что сняло этические и медицинские барьеры их широкого применения.

Ожидается, что использование достижений генной инженерии позволит многократно повысить эффективность здравоохранения и фармацевтической промышленности. По данным International Association of Nanotechnology массовое использование нанотехнологий в медицине начнется уже в 2011 – 1015 гг. (рис. 3.18).

3.3.3. Генно-модифицированные продукты

Другой сферой быстрого распространения нанобиотехнологий стало сельское хозяйство, в котором широко применяются генетически модифицированные организмы, созданные методами генной инженерии на основе достижений современной молекулярной биологии. Под определение генетически модифицированный организм (ГМО) подпадают организмы с изменениями в геноме, которых нельзя достичь традиционными методами селекции и рекомбинации. Технология, позволяющая создать ГМО, – генная инженерия. Естественно, ГМО создаются с какими либо «улучшенными свойствами». Наиболее распространенными ГМО на сегодняшний день являются растения, в силу того, что с ними работать намного проще, чем с животными. Наиболее массово данная технология применяется в сельском хозяйстве [<http://gmo.ru/new/plants>].

Используемые ГМО – это в основном трансгенные растения. Термин *трансгенные* означает, что в геном конкретного растения были внесены чужеродные гены, в большинстве случаев даже не из растительного организма. Например, создан картофель, имеющий ген земляной бактерии, который придает ему устойчивость к колорадскому жуку.

Наряду с трансгенными существуют и **цисгенные** растения, которые по ряду причин распространены гораздо меньше. Цисгенные организмы и, в частности, цисгенные растения также получают с помощью генной инженерии, однако, в отличие от трансгенных организмов, модификация в этом случае проводится только генами из родственных организмов, с которыми возможно скрещивание.

В 1982 г. ученые американской компании Monsanto, которая была основана в 1901 г., впервые генетически модифицировали растительную клетку. Первой сельскохозяйственной генно-модифицированной (ГМ) культурой был томат “Flavr Savr”, устойчивый к гниению. Этот сорт был создан калифорнийской компанией Калген (Calgene), впоследствии купленной Монсанто. За время с 1996 г., когда началась коммерциализация ГМ культур, они были внедрены во многих странах и к 2007 г. занимали более 114 млн. га (рис. 3.19). Наибольшее количество посевных площадей засеяно в США (~ 50 % мировых площадей), а также в Аргентине, Бразилии, Канаде, Парагвае (около 90% площадей в этих странах заняты ГМ культурами).

Большого разнообразия выращиваемых ГМ культур не наблюдается: практически 100% составляют соя, хлопок, кукуруза и канола (масличный рапс), хотя всего запатентовано около 23 различных культур в различных вариантах генетической модификации (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Разрешенные в мире ГМ культуры [AGBIOS – www.agbios.com]

ГМ культура	Количество ГМ сортов	ГМ культура	Количество ГМ сортов
Люцерна	1	Папайя	1
Канола (масличный рапс)	17	Слива	1
Гвоздики	3	Картофель	4
Цикорий	1	Рис	5
Хлопок	18	Соя	9
Трава для гольфа	1	Кабачок	2
Лен	1	Сахарная свекла	3
Чечевица	1	Подсолнух	1

Разрешенные в мире ГМ культуры [AGBIOS – www.agbios.com]

ГМ культура	Количество ГМ сортов	ГМ культура	Количество ГМ сортов
Кукуруза	47	Табак	2
Дыня	1	Томат	6
Пшеница	7		

За 12 лет не было создано растений с повышенной урожайностью или питательностью, засухоустойчивых или солеустойчивых, многие растения обладают устойчивостью к гербицидам, насекомым или к тому и другому. Уже известны случаи приобретения сорняками устойчивости к используемым с ГМ культурами гербицидам. Не исключено, что и вредоносные насекомые уже приобрели такую устойчивость. Подобные изменения ведут к все большему использованию гербицидов (прибыль получает компания их производящая, чаще всего та же, что создала ГМ растение), либо к выращиванию новых вариантов ГМ культур (опять же приобретаемых у производящей компании).

ГМ компании напрямую связаны и с производством семян, причем отнюдь не только ГМ культур. В настоящее время всего несколько транснациональных корпораций контролируют рынок семян. Десять наиболее крупных контролируют 57 % этого рынка. Причем четыре из них – Monsanto, DuPont-Pioneer, Syngenta and Bayer – 41 %. После приобретения крупнейших компаний, производящих семена – Dekalb Genetics и Seminis, а также крупнейшего производителя семян хлопка – Delta and Pine Land Company, американская Monsanto стала мировым лидером в производстве ГМ культур (~ 86 % всех ГМ растений связаны с Monsanto), и крупнейшей семенной компанией.

Мировые гиганты производства семян являются по совместительству и производителями химических препаратов. Monsanto, DuPont-Pioneer, Syngenta и Bayer производят семена ГМ растений, устойчивых к определенным гербицидам, причем эти гербициды производят сами компании. Монополизация мирового рынка ГМ-семян вызвала подорожание семян и снижение их разнообразия,

повышенное загрязнение окружающей среды пестицидами и гербицидами.

У выращивания ГМ культур есть некоторые особенности. Они запатентованы компаниями в качестве интеллектуальной собственности. Поэтому фермеры не имеют права сохранять семена от урожая для дальнейшего использования. Причем, компании хотят получать прибыль не только от продажи семян, но также и от продажи урожая. Фермеры вынуждены каждый год покупать семена, причем по контракту, одним из пунктов которого является то, что фермеры обязуются не отдавать их на какие-либо исследования, что делает невозможным проводить какие либо независимые исследования и осуществлять контроль качества.

3.3.4. Конструкционные и функциональные материалы

Если при уменьшении объема какого-либо вещества по одной, двум или трем координатам до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество, или это качество возникает в композиции из таких объектов, то эти образования следует отнести к наноматериалам, а технологии их получения и дальнейшую работу с ними – к нанотехнологиям [3.55]. Для современных конструкционных материалов характерна такая закономерность: увеличение прочности приводит к снижению пластичности. Данные по нанокompозитам показывают, что уменьшение структурных элементов и более глубокое изучение физики деформационных процессов, которые определяют пластичность наноструктурных материалов, могут привести к созданию новых типов материалов, сочетающих высокие прочность и пластичность [3.55]. Например, нержавеющая сталь с нанокристаллической структурой получается из аустенитной стали путем формования методами сверхпластической деформации. По сравнению с обычной нержавеющей сталью новый материал обладает повышенной в 3 раза твердостью и может использоваться, как конструкционный материал в условиях повышенных нагрузок. Другой пример – дамасская сталь. Ее делали в средние века в Сирии, потом секрет был утерян, но некоторое количество изделий сохранилось. Недавно специалисты Массачусетского технологического института (MIT) в США наконец раскрыли секрет дамасского чуда. Выяснилось, что древесный уголь в Сирию

привозили из Индии, а в стали углерод присутствует в виде нанотрубочек. Как так получилось – непонятно, но именно эти трубочки делали сталь очень прочной и гибкой. Теперь подобный материал создают в петербургском институте «Прометей» [3.89, 3.90].

Анализ проведенных в последние годы отечественных и зарубежных исследований (табл. 3.6) свидетельствует о высокой перспективности следующих основных направлений в области разработки конструкционных материалов:

- изготовление наноструктурных керамических и композиционных изделий точной формы;
- создание наноструктурных твердых сплавов для производства режущих инструментов с повышенной износостойкостью и ударной вязкостью;
- создание наноструктурных защитных термо- и коррозионно-стойких покрытий;
- создание обладающих повышенной прочностью и низкой воспламеняемостью полимерных композитов с наполнителями из наночастиц и нанотрубок.

Таблица 3.6.

Приоритетные направления развития наноматериалов за рубежом [3.90]

США	Япония	Страны ЕС (Германия, Великобритания, Италия, Швеция, Швейцария)
Нанокатализаторы Тонкая конструкционная керамика Высокопрочные стали Магнитные наноматериалы Материалы с особыми электрофизическими свойствами (сверхпроводники, резистивные, сенсоры) Наноструктурированные покрытия Углеродные наноматериалы	Тонкая конструкционная керамика Нанокompозиты Углеродные наноматериалы Магнитные наноматериалы	Нанокатализаторы Полимерные и металлополимерные нанокompозиты Жаропрочные сплавы Сплавы сверхбыстрого затвердевания

Большое внимание уделяется созданию композиционных наноматериалов со специальными механическими свойствами:

- теплозащитные и износостойкие наноструктурные покрытия;
- композиционные наноматериалы с высокими антифрикционными свойствами;
- композиционные наноматериалы с высокой стойкостью к экстремальным воздействиям для термически и радиационноустойчивых конструкций;
- наноструктурированные катализаторы для очистки промышленных газовых выбросов.

В последние годы разработаны нанокompозитные металлокерамические материалы, в частности, на основе карбидов вольфрама и титана WC-Co и TiC-Fe, значительно превосходящие по износостойкости, прочности и ударной вязкости аналоги с обычной микроструктурой. Повышенные эксплуатационные характеристики нанокompозитных материалов обусловлены образованием при спекании специфических непрерывных нитевидных структур, формирующихся в результате трехмерных контактов между наночастицами разных фаз. Разработка и внедрение в промышленное производство технологии создания нанокompозитных изделий будет способствовать решению проблемы изготовления высококачественных режущих инструментов.

Повышение коррозионной стойкости наноструктурных покрытий обусловлено, в первую очередь, снижением удельной концентрации примесей на поверхности зерен по мере уменьшения их размеров. Наноструктурные покрытия характеризуются сверхвысокой прочностью. Один из основных механизмов упрочнения обусловлен эффектом скопления дислокаций вблизи препятствий, которыми при уменьшении размеров зерен являются их границы.

Использование диспергированных в полимерной матрице неорганических наполнителей из наноразмерных порошков позволяет существенно повысить огнестойкость пластмасс, являющуюся одним из основных недостатков при использовании их в качестве конструкционных материалов, поскольку продукты сгорания полимеров, как правило, представляют собой ядовитые вещества. Результаты исследований показывают, что снижение горючести мо-

жет быть доведено до самозатухания пламени. При этом наноразмерные порошковые наполнители не снижают механической прочности и обрабатываемости материалов. Полимерные нанокомпозиции обладают высокой абляционной стойкостью, что открывает перспективы их использования для защиты поверхности изделий, эксплуатируемых в условиях воздействия высоких температур.

На отечественном предприятии ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» программа «Металл» направлена на создание сверхпрочных материалов для обустройства морских сооружений в Арктике, например, морских буровых установок, которые способны сохранять необходимые эксплуатационные свойства в экстремальных условиях – предельно низкая температура воздуха, ледовая нагрузка и другие [3.90]. Цель проекта «Магистраль» – разработать высокопрочные свариваемые стали для труб большого диаметра, необходимые для строительства протяженных магистральных газопроводов и нефтепроводов страны. Кроме того, разрабатываются сверхлегкие и сверхпрочные материалы для подводных аппаратов, материалы для получения, хранения и использования водорода в альтернативной энергетике и другие материалы. Интересны работы по конструированию материалов из порошков с помощью лазера и по созданию искусственных мозаичных сплавов из порошков различных металлов. Таких сплавов еще не существует и обычными известными способами их создать невозможно. Только – с помощью нанотехнологий. Помимо конструкционных материалов предприятие разрабатывает функциональные наноматериалы: магнитные, электромагнитные и рентгенозащитные экраны для защиты человека, чувствительных приборов и датчиков от различных излучений; вибропоглощающие и звукопоглощающие покрытия и композиты, обеспечивающие защиту от вибраций и шума.

Ядерная отрасль России начала применять нанотехнологии и наноматериалы одной из первых в мире (зadolго до того, как они стали так называться). На предприятиях и организациях ядерно-энергетического комплекса уже в 1950-е гг. при создании диффузионных технологий изотопного обогащения урана и технологических операций ядерно-топливного цикла были впервые синтезированы наноразмерные металлические порошки. В настоящее время на предприятиях Росатома разрабатываются конструкционные наноматериалы для ядерных энергоблоков; наноматериалы и нано-

технологии для ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом; наносверхпроводники и нанoeлектроника; ультрадисперсные (нано) материалы и нанотехнологии; нанодиагностика конструкционных и функциональных материалов; наномембраны, наносорбенты, нанодатчики, наносистемы безопасности; инновационные способы получения наноматериалов и нанотехнологии широкого применения.

Так, одним из условий развития ядерной энергетики является снижение удельного потребления природного урана при производстве энергии, что достигается, в частности, за счет увеличения глубины выгорания ядерного топлива (до 20 % тяжелых атомов). Опыт показал, что для этого необходимо создание крупнокристаллических структур ядерных материалов с контролируемой пористостью, удерживающих продукты деления и препятствующих транспорту осколков деления к оболочке тепловыделяющего элемента и ее внутреннего повреждения. Активация процесса спекания за счет нанодобавок может явиться одним из направлений создания технологий новых видов уран-плутониевых оксидов и нитридов для ядерного топлива перспективных ядерных реакторов-бридеров на быстрых нейтронах [3.91].

Другим важным направлением достижения конкурентной способности действующих и разрабатываемых реакторов на быстрых нейтронах является обеспечение радиационной стойкости материала оболочки при повышенных характеристиках жаропрочности. Эта проблема решается при использовании нового класса ферритомартенситных радиационно-стойких сталей, упрочненных частицами оксидов иттрия нанометрового размера (ДУО-сталь). На основе разработанной в «Бочваровском институте» (ОАО ВНИИНМ им. А.А. Бочвара) технологии получения ДУО-стали были изготовлены изделия (трубы, пластины), дореакторные испытания которых показали многократное, до 8 раз, увеличение параметров жаропрочности по сравнению со штатной сталью [3.91].

Создание импульсных магнитных систем со сверхсильным магнитным полем (с индукцией более 50 Тл) потребовало разработки нового класса обмоточных материалов с уникальным сочетанием высоких прочностных и электропроводящих свойств. Во ВНИИНМ разработаны технологии получения методом глубокой пластической деформации (обеспечивающей измельчение зерен металла до

наномасштаба) нового класса высокопрочных медно-ниобиевых (Cu-Nb) обмоточных проводов с пределом прочности 1100 – 1250 МПа и электропроводностью около 70 % от меди. То есть полученный нанокомпозит имеет прочность стали при электропроводности близкой к меди [3.91]. На рис. 3.20 показано место новых наноструктурных электропроводных композитов по отношению к другим известным проводящим материалам. Разработаны также высокопрочные Cu-Nb тонкие провода диаметром от 0,4 мм до 0,05 мм с рекордными свойствами: предел прочности 1300 – 1600 МПа, электропроводность 70 – 80 % от меди.

Углеродные наноматериалы. К числу наиболее перспективных и широко исследуемых наноматериалов, обладающих широким спектром применений, относят так называемые **фуллерены и углеродные нанотрубки** [3.1 – 3.15, 3.92, 3.93]. Углеродные нанотрубки (carbon nano-tube, CNT) – молекулярные соединения, принадлежащие модификациям углерода. Углеродную нанотрубку можно представить себе как лист графита, свернутый в цилиндр (см. рис. 3.5). Однослойная нанотрубка может иметь диаметр 2 нм и длину до 100 микрон и более. Углеродные нанотрубки вместе с фуллеренами и мезопористыми углеродными структурами образуют новый класс углеродных наноматериалов, или углеродных каркасных структур, со свойствами, которые значительно отличаются от других форм углерода, таких как графит и алмаз.

Промышленное внедрение углеродных нанотрубок ведется в области хранения электрической энергии (водородные топливные ячейки), конденсаторов высокой емкости, устройств с хорошей электронной эмиссией (дисплеи, электронная микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия и т.п.), в качестве наполнителей для антифрикционных прокладок, работающих в авиационных и автомобильных двигателях. Очень быстрое развитие получило использование нанотрубок в качестве наполнителей в различных объемных нанокомпозитах (от углепластиков до многокомпонентной керамики). Такие объемные материалы планируется использовать в автомобильной промышленности, авиации, как конструкционные материалы для специальных применений. Ведется разработка материалов и покрытий на основе нанотрубок для снижения трения в микро- электро- механических устройствах и нано- электромеханических устройствах. В настоящее время главными областями

применения углеродных нанотрубок являются спортивные товары, электроника и автомобилестроение. Углеродные нанотехнологии могут использоваться в радиоэлектронике для поглощения микроволнового излучения, создания новых материалов с управляемыми электромагнитными и даже сверхпроводящими свойствами. Нанотрубки могут стать элементом компактных интегральных схем.

Перспективным направлением представляется использование углеродной нанопены – вспененных полимеров, содержащие углеродные нанотрубки. Эти материалы также можно получать золь-гель технологиями в виде покрытий с низкой плотностью и хорошими теплоизолирующими свойствами. Промышленное внедрение нанопористого углерода ведется в различных мембранных фильтрующих материалах и для электрических батарей большой емкости. Покрытия на основе различных углеродных материалов и наноструктурированных композитных тонких пленок уже нашли широкое применение в промышленности.

Большой интерес вызывает использование еще одного наноматериала из углерода – *фуллерена* (см. рис. 3.4). Фуллерены представляют собой химически стабильную замкнутую поверхностную структуру углерода, в которой атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников или пятиугольников, регулярным образом покрывающих поверхность сферы или сфероида. Число атомов углерода в молекуле фуллерена больше или равно 60. Химики разделяют фуллерены на две группы: легкие фуллерены, к которым относят C₆₀ и C₇₀, и тяжелые (высшие) фуллерены, к которым относят остальные фуллерены, число атомов в которых более 70. Уникальная структура фуллеренов обуславливает их уникальные физические и химические свойства. В соединении с другими веществами они позволяют получить материалы с принципиально новыми свойствами. Промышленное внедрение фуллеренов рассматривается в качестве наполнителей в различных объемных нанокompозитах, либо в качестве антифрикционных материалов или добавок в различные смазки для защиты от износа и коррозии.

В Технологическом институте сверхтвердых и новых углеродных материалов (Московская область, г. Троицк) впервые в мире созданы принципиально новые углеродные материалы на основе фуллеренов с твердостью и объемным модулем упругости выше алмаза (ультратвердый фуллерит, полученный из фуллеренов C₆₀).

Разработана экспериментальная технология их синтеза, исследованы структура и основные физические свойства, получены 4 патента РФ и патент США. Ведутся работы по созданию промышленных технологий производства этих новых материалов и исследуются их возможные применения. Там же синтезируются и исследуются материалы на основе углеродных нанотрубок. Созданы углерод-азотные наноматериалы (нанофибры), имеющие рекордную эмиссионную способность и имеющие стабильность не менее 100 часов (прототипы источников света и дисплеев).

Широкое применение получают нанопорошки углерода, которые используются в ряде стран в массовом производстве в качестве добавок в резину для улучшения механических свойств (уменьшения износа, увеличения твердости, улучшения вязкости).

К *многофункциональным наноккомпозитам* относятся материалы, состоящие из наночастиц, нановолокон или наноткани, распределенных в не нанокристаллитной матрице, а также в виде нанокристаллитов одного материала, распределенных в аморфной матрице другого материала. Таковыми являются:

- полимерные наноккомпозиты (наночастицы и нанотрубки в полимерной матрице, резина с наночастицами, полиэластины со слоистыми наноструктурами, кремнеорганические наноккомпозиты, тканые наноматериалы и нанонити в полимерной матрице);

- керамические наноккомпозиты (керамическая матрица с наполнителем из нанокуглерода или других наночастиц, керамическая матрица с нанополимерами).

К наноструктурированным металлам и сплавам относят наноструктурированное железо и цветные металлы, а также металлические нанопорошки и металлы, получаемые методами порошковой металлургии. Основные тенденции исследований и использования наноструктурированных металлов и сплавов:

- нанопорошков благородных металлов (например, серебра) в защите организма от бактерий и в медицинских целях;

- нанопорошков алюминия в качестве добавок в твердое топливо, пороха и взрывчатые вещества для повышения выделения энергии;

- нанопорошков железа и сплавов для усиления магнитных свойств;

- нанокристаллитных сплавов алюминия, титана и магния, как легких конструкционных материалов повышенной прочности в авиации и автомобильной промышленности;
- нанокристаллитных металлических покрытий и покрытий на основе нанопорошков для улучшения коррозионной и механической защиты;
- наноструктурированного магния и сплавов на его основе, а также титана в качестве материалов для хранения водорода (используются очень высокие свойства диффузии водорода в магний и титан);
- в качестве конструкционных материалов металлических композитов, например, многослойных листовых материалов, в которых армирующим элементом являются нанонити или наноткани алюминия;
- наноструктурированных металлов в качестве конструктивных элементов микроэлектромеханических устройств.

К **нанополимерам** относят наноструктурированные полимеры.

К **полимерным нанокompозитам** относят полимеры или сополимеры, в составе которых есть отдельные наночастицы или нановолокна толщиной от 1 до 50 нм. Считается, что нанополимеры и полимерные нанокompозиты являются перспективными материалами для использования в медицине, энергетике и в качестве конструкционных материалов. Например, планируется широкое использование полимерного нанокompозита CPNC (clay-containing polymeric nanocomposites) из-за хорошей механической прочности, уменьшенной газо- и паропроницаемости, пониженной воспламеняемости в качестве упаковочного материала.

Высокие эксплуатационные свойства имеют краски, получаемые из водных растворов нанополимеров, активируемые с помощью ультрафиолетового излучения. Для усиления защиты от абразивного износа в такие краски добавляют нанопорошки. Очень перспективными является использование полимерных нанокompозитов на базе фторопластов.

К **керамическим нанокompозитам** относят оксидную и неоксидную керамику, силикаты, твердые сплавы (карбиты, бориды) на металлической связке, получаемые порошковыми методами, а также керамику макс-фаз. По сравнению с существующими сейчас керамическими материалами, нанокерамика обладает улучшенными

ми характеристиками: высокой прочностью и твердостью, меньшей плотностью, уменьшенным модулем упругости, повышенным электрическим сопротивлением, повышенной температурной стойкостью, пониженной теплопроводностью.

Большое значение придается разработке технологий производства неоксидной нанокерамики и нанопорошков (нитриды, карбиды, бориды). В зависимости от состава этих материалов они могут обладать уникальными многофункциональными свойствами: обладать высокой прочностью, в то же время легко обрабатываться, выдерживать высокие температуры, иметь высокую теплопроводность, низкий коэффициент трения.

Начато промышленное производство керамических материалов с нанокремнеземом в керамической матрице. Добавка углеродных нанотрубок и фуллеренов (в том числе, нановискеров углерода) в керамическую матрицу улучшает механические свойства керамики (повышение пластичности, снижение хрупкости), а также дает свойство электропроводности керамическим изделиям. Керамика обладает хорошими термоизолирующими характеристиками. Преимуществом углеродных наноматериалов, как наполнителей в керамике является то, что наночастицы не образуют кластеров и легко распределяются равномерно в объеме изделия. Области применения: энергетика (высокая электропроводность, способность выдерживать высокие механические нагрузки, высокую температуру), газовые и паровые турбины (обладает низким коэффициентом трения при высоких температурах), авиация и космонавтика.

Нанопорошки. Еще 60 – 70-х гг. XX века ученые многих стран изучали новые эффекты, отчетливо проявляющиеся при тонком измельчении материалов. Когда размеры частиц измельченного вещества попадают в нанобласть, наблюдаются коренные изменения физико-химических свойств (аморфизация, химическая активность, повышенная растворимость, растворимость нерастворимых веществ, и т.д.). Порошки классифицируют на три типа (по размерам частиц):

- наноразмерные или ультрадисперсные (1 – 100 нм);
- высокодисперсные или субмикронные (100 – 1000 нм);
- частицы микронных размеров (1 – 10 микрон).

Промышленное производство большинства видов нанопорошков (оксиды металлов и порошки чистых металлов) началось около

10 лет тому назад. До этого в промышленных количествах производились только кремнезем, глинозем и оксид железа. Научно-исследовательские институты и университеты выпускали в небольших объемах многие из ныне имеющихся нанопорошков для применения в наноисследованиях. Несмотря на широкий ассортимент доступных в настоящее время нанопорошков, всего лишь некоторые из них производятся в промышленных масштабах и подлежат конкурентному ценообразованию. Оксиды металлов составляют не менее 80 % всей массы производимых порошков. Порошки чистых металлов составляют все возрастающую долю всего объема производства (сейчас около 15 %).

Основные способы получения нанопорошков делятся по принципу используемого процесса на физические и химические, или по характеру достижения наноразмерного состояния на «сверху-вниз» (измельчением) и «снизу-вверх» (укрупнением) (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Способы получения нанопорошков [3.94]

Физические «сверху-вниз»	Химические «снизу-вверх»
Механическое измельчение, распыление, конденсация из паровой фазы (в вакууме или инертном газе), конденсация из плазмы, электродуговое измельчение, лазерное облучение, СВЧ-обработка, электровзрыв (провода, проволоки), <i>поатомная сборка, самосборка,</i>	Разложение солей, осаждение растворов, химические реакции при пониженных температурах, водородное восстановление металлов из окислов, химический взрыв, химические реакции в плазменном состоянии, самораспространяющийся высокотемпературный синтез,

Промышленные технологические линии для получения тонких и сверхтонких продуктов обычно комплектуются шаровыми мельницами и разнообразным оборудованием для многостадийной классификации (грохотами, циклонами и центробежными классификаторами), а также содержат струйные или иные мельницы для доизмельчения промежуточных продуктов. Поэтому стоимость таких линий высока. Стоимость промышленного оборудования для получения нанодисперсных или наноструктурированных порошков

производительностью около 2 кг/ч (по нанопорошку с размерами частиц менее 1 мкм, т.е. менее 1000 нм), составляет 200 – 300 тысяч долларов США. Это связано с тем, что с уменьшением размеров частиц для их измельчения требуется очень высокая концентрация энергии, сравнимая с энергией лазерных или плазменных реакторов [3.95]. Мельниц для промышленного производства нанодисперсных и наноструктурированных материалов с производительностью более 2 кг/ч в мире нет.

Во множестве публикаций рассматриваются такие области применения нанопорошков как повышение прочности и твердости материалов, придание электропроводности диэлектрикам, порошковая металлургия, керамика, оптимизация горения, катализаторы и реактивы, снижение трения, магнитные материалы, УФ и ИК поглощение, неньютоновские жидкости, аккумуляция водорода, припои, защитные покрытия, оптика, пожарная безопасность, абразивные материалы, радиотехника, фильтры, гальванопластика, электроника, 3D-принтеры, пиротехника, косметика, отражение тепла, цветные стекла, медицина, криминалистика, полиграфия и др. Было отмечено, что, к сожалению, далеко не все производители нанопорошков (не говоря уже об их потенциальных потребителях) хорошо представляют способы их использования.

Такие отрасли промышленности как электроника, оптика и обрабатывающая промышленность потребляют более 70 % мирового производства порошков. Медицина и косметическая промышленность потребляют только 7 % нанопорошков, однако ожидается, что их применение в этой области будет вести за собой большую часть нанотехнологических исследований в ближайшие 10 – 15 лет.

В настоящее время нанопорошки используют для получения автомобильных нейтрализаторов (11.5 тыс. т), абразивов (9.4 тыс. т), материалов для магнитной записи (3.1 тыс. т), солнцезащитных материалов. В отдельных отраслях вложения в нанотехнологии окупаются уже сегодня. В качестве примера можно упомянуть использование General Motors материалов на основе нанокмползитов в автомобилях, а также производство косметической продукции, содержащей наночастицы. Высокое соотношение площади к объему нанопорошков металлов делает возможным производство батареек с продолжительным сроком службы. Оксид церия увеличит срок службы дизельного топлива. Ряд нанопорошков заменит собой

платину в качестве катализаторов, например, в электродах топливных элементов. В индикаторных и плазменных дисплеях будут использоваться сульфаты, селениды и теллуриды на основе цинка, кадмия и свинца для получения более ярких цветов, более четкого изображения, увеличения срока службы и снижения вредного излучения. В базе данных нановеществ, производимых в мире, содержится информация о более чем 1400 веществах, разбитых по 22 областям применения (исследовательская компания Abercade, специализирующаяся на изучении промышленных рынков и технологий).

Нанопорошки из алюминия с переходными металлами (Fe, Ni, Ti, Zr) используются для производства различных деталей с помощью прессования, спекания и других методов порошковой металлургии. Перспективным методом производства деталей сложной формы, не требующих суперфинишной обработки, является метод высокоскоростного формования и компактирования (HVCF). По сравнению с традиционными методами холодного и горячего изостатического прессования метод HVCF на 60 – 70 % более экономичен и позволяет получать изделие с более плотной структурой, с заданными размерами и качеством поверхности, не требующей дополнительной механической обработки.

Наноструктурированные Al, Mg, Ti, сплавы Al-Mg с нанокристаллитной структурой являются хорошей альтернативой применяемым в настоящее время обычным алюминиевым и магниевым сплавам для производства элементов конструкции самолетов, т.к. позволяют значительно снизить вес. Методы получения – пластическая деформация. Большую перспективу использования в конструкции крыла и фюзеляжа имеют композиты типа «сэндвич», в которых внутренний структурный элемент – тканый материал из волокон или тонкой проволоки наноструктурированного алюминия, а внешний элемент – листы из наноструктурированного алюминия. Такие композитные материалы более дешевые по сравнению с углеродными композитами и легче поддаются механической обработке.

Добавление наночастиц в металлическую матрицу улучшает механические и термические свойства. Изделия из таких материалов могут эксплуатироваться при высоких температурах, например, в узлах авиадвигателя. По сравнению с существующими алюминие-

выми или магниевыми сплавами прочность металл-керамических нанокompозитов на основе карбида кремния в алюминиевой матрице выше на 25 %. Кроме этого, такие материалы обладают хорошей пластичностью и поддаются штамповке, в отличие от традиционных силуминов.

В новых разработках используют безмасленные подшипники с нанокompозитными покрытиями. Используя подобные покрытия без жидкой смазки, удастся повысить ресурс газовых турбин, снизить их вес, уменьшить шум авиадвигателей и уменьшить эксплуатационные издержки. Наилучший результат в промышленном производстве достигнут пока на покрытиях DLC (алмазоподобного углерода), которое хорошо известно и используется в мире в серийном производстве с 1994 г. Ряд производителей подшипников (SCF, Timken) использует данное покрытие.

Добавки нанопорошка алюминия с размером частиц менее 100 нм существенно (в десятки раз) повышают скорость горения ракетного топлива (рис. 3.21).

3.3.5. Машиностроение

Развитие работ в области наноматериалов и промышленно ориентированных средств измерений в нанометровом диапазоне способно оказать революционизирующее влияние на развитие машиностроительного комплекса. Одной из главных задач в машиностроении является создание нового станочного парка для обработки деталей с точностью, лежащей в нанометровом диапазоне. Такие станки необходимы для обработки профильных деталей высокой точности в ракето- и авиастроении, космической промышленности, для обработки оптических деталей различного назначения. Созданные в нанотехнологиях методы измерений и прецизионного позиционирования обеспечивают возможность адаптивного управления режущим инструментом на основе оптических измерений обрабатываемой поверхности детали и обрабатываемой поверхности инструмента непосредственно в ходе технологического процесса.

Экономический эффект, достигаемый за счет повышения точности обработки поверхностей, складывается из улучшения совокупности технических показателей: снижение шума, вредных выбро-

сов, кратного увеличение ресурса работы техники, кратного снижения эксплуатационных затрат (в том числе расхода топлива), весовых характеристик изделий. Так, в производстве ряда конструкций ракетно-космической техники нашли применения станки для наноточения, созданные в ОАО «Красный пролетарий», которые позволяют обрабатывать плоские, цилиндрические, конусные, сферические и асферические поверхности диаметром до 500 мм и высотой 150 мм. Они обеспечивают высоту неровности шероховатости 3-5 нм, а точность формы 0,2 мкм на диаметре 200 мм (<http://www.hitechno.ru/?page=theses2005>).

Первое в России предприятие по производству инструмента с наноструктурированным покрытием начнет функционировать в 2010 г. (<http://www.army.lv/index.php?s=670&id=15494>). Срок использования такого инструмента в производстве в 2-3 раза больше по сравнению с традиционным инструментом. Кроме того, применение нанотехнологий в авиадвигателестроении позволит увеличить ресурс самих газотурбинных двигателей в 1,5 – 2 раза.

Использование нанотехнологий позволяет резко расширить возможности производства и применения в машиностроении микро-системной техники (МСТ). В России термин «микросистемная техника» стал использоваться в официальных документах после принятия в 1996 г. Перечня критических технологий Федерального уровня. Как известно, принципиальное отличие изделий МСТ от изделий микроэлектроники состоит в трехмерности их структуры, исполнительные механизмы которой обладают возможностью функционального механического перемещения. Функциональными исполнительными элементами МСТ являются микромеханические, микроэлектромеханические, микроэлектрооптомеханические, микроакусто-механические устройства и их узлы (микродвигатели, элементы гидравлики, поршни, захваты, редукторы, приводы, зеркала и т.д.), технологически и конструктивно выполненные в объеме и на поверхности полупроводникового кристалла с применением технологий микроэлектроники, оптоэлектроники, интегральной оптики, акустоэлектроники, пьезоэлектроники. Эта тематика представлена в ежемесячном междисциплинарном теоретическом и прикладном научно-техническом журнале «Нано- и микросистемная техника», выпускаемом издательством «Новые технологии» с 1999 г.

Переход в нанометровый диапазон размеров становится генеральной линией технологической траектории перехода от микро-системной к наносистемной технике. Уже известны попытки создания датчиков по нанотехнологии, датчиков на основе фуллеренов и отдельных молекул. Развиваются работы по использованию в изделиях МСТ новых наноструктурированных материалов. При этом одними из самых перспективных материалов являются углеродные нанотрубки и фуллерены.

Ведется разработка технологий нанесения нанокompозитных покрытий, обладающих низким коэффициентом трения и стойких при температурах 500 – 800 °С, а также покрытий с низким коэффициентом трения для применения в газовых турбинах, авто- и авиа- двигателях, в космосе и в микроэлектронных механических устройствах (MEMS-системах). В новых разработках турбин и двигателей используют безмаслянные подшипники с нанокompозитными покрытиями. Используя подобные покрытия без жидкой смазки, удастся повысить ресурс турбин, снизить их вес, уменьшить шум авиадвигателей и уменьшить эксплуатационные издержки. Наилучший результат в промышленном производстве достигнут пока на покрытии DLC (алмазоподобного углерода), которое хорошо известно и используется в мире в серийном производстве с 1994 г. Ряд производителей подшипников (SCF, Timken) используют данное покрытие. В качестве основных кандидатов – покрытий выбраны нанокompозитные покрытия, обладающих так называемым эффектом адаптивности (изменения свойств при нагреве/охлаждении) – покрытия-хамелеоны.

Вторым (после алмазоподобного углерода) направлением снижения трения при высоких температурах является использование покрытий с так называемыми Магнели-фазами на основе нитридов титана, алюминия, хрома и ванадия (TiAlN/VN, AlCrVN, AlCrN). Используют также бор-алюминий-магниевые керамические слои и борид титана. Такие покрытия обладают низким коэффициентом трения и достаточной твердостью при нормальной температуре. При нагреве до 700 – 1000 °С происходит диффузия металла (например, ванадия) из покрытия на поверхность и образование оксидной пленки, снижающей трение.

Третьим направлением для снижения трения при высоких температурах является использование покрытий керамики МАКС – фаз.

Во многих приложениях гораздо эффективнее и дешевле применить твердые и износостойкие достаточно тонкие поверхностные покрытия трущихся поверхностей, чем изготавливать всю деталь из дорогого материала, например, керамики. Импульсное лазерное напыление является одним из современных и очень универсальных методов нанесения покрытий с различными свойствами. Метод позволяет наносить многослойные покрытия различной толщины и свойств на подложки (детали) сложной конфигурации. Другим перспективным методом в данной области ученые считают магнетронное распыление, которое достаточно хорошо отработано. Оборудование для обоих видов технологии доступно на рынке.

Госкорпорация «Роснано» рассматривает перспективы развития отечественного производства нанокерамических присадок для моторных, трансмиссионных и иных масел. Последние 2 – 3 года розничный рынок импортных и отечественных антифрикционных препаратов (снижающих износ и восстанавливающих трущиеся поверхности) демонстрирует уверенный 50-процентный рост, который сохранится в краткосрочной перспективе. Его емкость составляет 750 – 900 млн рублей в год. Из них на нанокерамические трибопрепараты приходится 200 – 250 млн рублей, то есть 25 – 30 % общего объема рынка. Корпоративный сектор составляет не более 15 % от емкости розничного. Несмотря на недоверие значительной части представителей корпоративного сектора к существующим на рынке трибопрепаратам, ожидание с их стороны принципиально нового, эффективного решения достаточно велико.

Нанороботы. Впервые понятие наноробота или молекулярного ассемблера появилось в нашумевшей книге Эрика Дрекслера (Eric Drexler) из Массачусетского технологического института «Машины созидания: наступление эры нанотехнологий» (1986 г.). Нанороботы – роботы, созданные из наноматериалов и размером сопоставимые с молекулой, обладающие функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ. Нанороботы, способные к созданию своих копий, т.е. самовоспроизводству, называются репликаторами. В настоящее время уже созданы элек-

тромеханические наноустройства, ограниченно способные к передвижению, которые можно считать прототипами нанороботов.

Опыт, накопленный разработчиками лаборатории Сандиа (США, www.sandia.gov/isrc/ssm.html) в миниатюризации электромеханических систем, помог создать и весьма эффективных микроскопических роботов [<http://www.computerra.ru>]. Построенная в середине 1990-х гг. модель автономного робота MARV (Miniature Autonomous Robotic Vehicle) имела объем около 1 кубического дюйма, хотя робот почти целиком был изготовлен из коммерчески доступных компонентов. К 2000 г. его размеры удалось уменьшить в четыре с лишним раза. Эта крошечная машина на гусеничном ходу имеет полимерный каркас, шесть колес, два электромотора, процессор с 8 Кбайт памяти, датчик температуры, микрофон, видеокамеру, химический сенсор и три батарейки от часов. Надо сказать, именно бытовые элементы питания помешали сделать устройство еще миниатюрнее. Машины планируется оборудовать системой беспроводной связи, после чего группа микророботов сможет объединяться для совместного решения задач под управлением центрального компьютера. По замыслу разработчиков, основной областью применения таких роботов может стать поиск и обезвреживание бомб и мин, опасных биологических и химических материалов. Благодаря малым размерам и высокой проходимости микророботы очень перспективны для решения разведывательных задач. Однако емкость современных батарей катастрофически мала, ее хватает лишь на преодоление десятка метров.

В литературе часто встречается иное понимание нанороботов: нанороботы (в англоязычной литературе также используются термины «наноботы», «наноиды», «наниты») – роботы, созданные из наноматериалов и размером сопоставимые с молекулой. Они должны обладать функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ. Размеры нанороботов не превышают нескольких нанометров. Согласно современным теориям, нанороботы должны уметь осуществлять двустороннюю коммуникацию: реагировать на акустические сигналы и быть в состоянии подзаряжаться или перепрограммироваться извне посредством звуковых или электрических колебаний. Также важной представляются функции репликации – самосборки новых нанитов и программированного самоуничтожения, когда среда работы, например, чело-

веческое тело, более не нуждается в присутствии в нем нанороботов. В последнем случае роботы должны распаться на безвредные и быстро выводимые компоненты.

Роботы «сухие» и «мокрые». Нанотехнологии, особенно наномедицина, развиваются в двух принципиально разных направлениях, условно именуемых «сухой нанотехнологией» в механической традиции и «мокрой нанотехнологией» в биологической традиции. «Сухие нанотехнологии» чаще всего отталкиваются от уже имеющихся технологий – вроде сканирующих микроскопов, которые способны перемещать отдельные атомы и молекулы. Пока что, как правило, это выражается в форме своеобразных «нанограффити», то есть складывании из атомов собственных имен исследователей, названий их институтов или щедрых спонсоров, профинансировавших забаву. Но все такие эксперименты обычно ограничены плоскостью. Укладывание молекул друг на друга – следующая задача, которая, несомненно, будет решена в ближайшие годы. Например, исследователями Гарвардского университета сконструирован первый «нанопинцет» общего назначения, использующий пару электрически управляемых углеродных нанотрубок (cmlliris.harvard.edu). С помощью этого механизма удастся манипулировать 300-нанометровыми кластерами полистироловых микросфер или извлекать единственный 20-нанометровый полупроводниковый провод из массы аналогичных перепутанных проводов. В ближайшем будущем ученые надеются создать столь малый нанопинцет, чтобы захватывать отдельные крупные молекулы, а в перспективе – начать создавать недорогие молекулярные машины.

«Мокрые нанотехнологии» сконцентрируются на конструировании и модификации белковых молекул, знаменитых своими выдающимися способностями к самосбору. Многие ученые полагают, что ключ к прогрессу лежит именно здесь. Живые системы используют множество молекулярных машин, таких как молекулярные моторы. Поэтому логично попытаться приспособить к нашим потребностям уже имеющиеся в природе механизмы, используя их для приведения в движение крошечных насосов, рычагов и зажимов. Концепцию «мокрых наноботов» иногда именуют также микробиороботами.

Исследователям из Нью-Йоркского университета, избравшим «подход самосбора» (www.nyu.edu/projects/nanotechnology), уда-

лось научиться генерировать комплементарные нити ДНК, которые объединяют себя в сложные структуры желаемой конфигурации. Так были выстроены кубы, восьмигранники и другие правильные фигуры, состоящие всего из нескольких тысяч нуклеотидов. Избрав аналогичный подход, ученые Корнелльского университета генетически модифицировали природный биомотор, в естественных условиях встречающийся в ферменте аденозинтрифосфатазе (АТФазе). В результате был изготовлен первый гибридный наномотор с небиологическими элементами из 100-нанометровых полос азотистого кремния. Подобно микроскопическому пропеллеру, он вращается со скоростью 200 оборотов в минуту.

Как показывают предварительные оценки, механические системы в конечном счете смогут обеспечить более высокие скорости работы и большую эффективность управления нанороботом, нежели системы биологические. Однако важным преимуществом последних является то, что зачастую их функциональные компоненты можно частично или целиком брать из уже имеющихся естественных живых систем, тем самым существенно сокращая время разработки конкретной технологии.

3.3.6. Энергетика

Становление нового технологического уклада и освоение нанотехнологий создает предпосылки для революционных изменений во многих областях энергетики. Можно выделить такие области (все их вместе иногда называют наноэнергетикой):

- высокоэффективные системы преобразования солнечной энергии;
- водородная инфраструктура и топливные элементы;
- системы транспортировки, аккумулирования и хранения водорода;
- высокояркие светоизлучающие диоды для освещения (потребляющие малое количество энергии);
- высокоэффективные аккумуляторы электрической энергии, суперконденсаторы, ионисторы (конденсаторы с органическим диэлектриком) и др.;

- энергоемкие материалы для использования во взрывных технологиях и в вооружениях (взрывчатке, двигателях военной техники и ракет) и др.

Солнечная энергетика. Энергия солнечного излучения, поступающего на Землю, в тысячи раз превышает потребности промышленности в энергии. Поэтому многие исследователи связывают будущее электроэнергетики с освоением солнечной энергии (рис. 3.22, А). Основным препятствием развития солнечной энергетики на основе полупроводниковых преобразователей («солнечных батарей», рис. 3.22, Б) является их высокая стоимость [3.97, 3.98]. Поэтому пока солнечные батареи являются основными источниками электроэнергии на космических аппаратах. Для масштабного использования солнечной энергии на Земле необходимо снизить ее стоимость до 0,08 – 0,09 USD/кВт-ч (в настоящее время более 0,2 USD/кВт-ч). Использование наноматериалов и нанотехнологий позволяет многократно поднять эффективность солнечной энергетики на основе использования наноструктурных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Самый многообещающий путь повышения эффективности солнечных батарей – использование гетероструктурных солнечных элементов из арсенида галлия и родственных ему соединений группы АЗВ5 (наногетероструктуры Ge/GaAs/GaInP/AlInP). Такие солнечные элементы впервые в мире были предложены и созданы в ФТИ им. А.Ф. Иоффе в 1969 г. [3.84]. Одним из результатов этих работ явилась организация в стране производства гетероструктурных солнечных батарей, установленных на ряде космических аппаратов, в том числе на орбитальной станции «Мир».

Разработанные в последние годы каскадные солнечные элементы обеспечивают повышенное значение КПД (в условиях космоса – до 33 %, тогда как у кремниевых батарей КПД – 15 %) и увеличение удельного энергоотбора с солнечных батарей до 300 Вт/м² (поток солнечной энергии около 1400 Вт/м²); улучшение радиационной стойкости (срок эксплуатации таких батарей – 10 – 15 лет на орбите); возможность работы при высокой концентрированности солнечного излучения. Благодаря этим параметрам можно ставить на орбите солнечные батареи площадью не 100 кв. метров, а менее 50 м² при одинаковой электрической мощности.

КПД «наземных» каскадных солнечных элементов, созданных как в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, так и в других исследовательских центрах, достигает значений 40 % при концентрированной засветке. При степени концентрирования излучения 100 – 1000 крат площадь солнечных элементов, необходимая для выработки эквивалентной электрической мощности, пропорционально уменьшается, что позволяет снизить расход полупроводниковых материалов пропорционально степени концентрации и обеспечить существенное снижение стоимости электроэнергии, вырабатываемой солнечными батареями с концентраторами. В ФТИ разработаны высокоэффективные концентраторы – линзы Френеля, выполненные из композиции «силикон-стекло», обладающие высокой устойчивостью к воздействию ультрафиолетового облучения и хорошими термическими и механическими свойствами. С такими концентраторными солнечными батареями стоимость получаемой электроэнергии может быть уменьшена более, чем в 2 раза, а удельный энергосъем может быть увеличен более чем в 3 раза. При сроке службы таких фотопреобразователей 25 лет стоимость солнечной энергии будет составлять 0,07 – 0,08 USD/кВт·ч, что соизмеримо со стоимостью кВт·часа электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями (менее 0,1 USD/кВт·ч).

Объем производства (в основном в США) гетероструктурных космических батарей превышает 1 тыс. м²/год. В России выпуск гетероструктурных батарей прекращен из-за отсутствия в стране современного технологического оборудования и недостаточного финансирования разработок перспективных их типов. Организация в России производства гетероструктурных солнечных элементов и батарей позволит существенно увеличить энерговооруженность отечественных космических аппаратов, что будет способствовать укреплению обороноспособности страны и принесет значительный технико-экономический эффект, поскольку обеспечит автономное электропитание наземных изделий специальной техники и других потребителей, лишенных централизованного энергоснабжения. При этом потребности в наземных солнечных энергоустановках практически не ограничены. К числу основных потребителей солнечных элементов относятся Российское авиационно-космическое агентство, Минэнерго РФ, Космические войска и РВСН МО РФ. В 2009 г. «Роснанотех» и научно-производственное предприятие

«Квант» запустили научный проект: производство солнечных батарей для космических спутников и орбитальных станций на основе арсенида галлия. Благодаря этому проекту появится полный цикл производства новых солнечных батарей, созданных на основе наногетероструктур, которые состоят из большого количества каскадных элементов – до 30 чередующихся слоев, каждый из которых имеет толщину всего 10 – 15 нм (<http://www.nanonewsnet.ru/news/2009>).

Не менее важной является задача создания на органических наноматериалах эффективных дешевых преобразователей солнечного излучения в виде гибких тонких панелей, покрывающих стены помещений, крышу и т.д. Дешевизна материалов и технологии может сделать солнечную энергетику рентабельной уже при коэффициенте преобразования солнечной энергии 5 – 7 %.

Солнечную батарею толщиной в бумажный лист, которую можно гнуть и сворачивать, создала японская электротехническая компания Sharp [<http://old.nanonewsnet.ru>]. Батарея в виде пленки имеет толщину от 1 до 3 мкм – то есть от одной до трех тысячных миллиметра. Это меньше современных аналогов примерно в сто раз. Компания собирается начать промышленное производство новики уже в этом году. Слоями солнечных батарей планируется покрывать мобильные телефоны, автомобили и даже специальную одежду. Пленка площадью в две визитные карточки весит всего один грамм и обладает мощностью в 2,6 Ватт. По словам разработчиков, этого уже достаточно, чтобы обеспечить электропитанием велосипедный фонарь.

Ученые из Национальной лаборатории Айдахо (Idaho National Laboratory – INL) в сотрудничестве со специалистами из американской компании MicroContinuum и университета Миссури (University of Missouri) создали уникальный прототип солнечной батареи, за которую получили в прошлом году престижную премию Nano 50 [<http://www.nanometer.ru/2008>]. Работа батареи основана на использовании решётки из наноантенн, отпечатанных на тонкой и гибкой подложке. Падение ИК-лучей на такую спираль наноантенны наводит в ней напряжение, то есть получение тока происходит не от света за счёт фотоэффекта (как в обычных солнечных батареях), а по принципу металлической антенны, улавливающей электромагнитное излучение, каковым и является солнеч-

ное излучение. По предварительным расчетам КПД такой солнечной батареи составляет 36 %. Но главная особенность батареи в том, что она может выдавать ток даже ночью, утилизируя ИК-лучи, которые испускает ночью Земля, а также здания, асфальтовые дороги и площади, нагретые за день солнечными лучами.

В 2006 г. ученые Научного центра прикладных исследований (НЦеПИ) Объединённого института ядерных исследований (Дубна) представили сенсационную разработку – «звездную батарею». В основе технологии создания батареи лежит гетерозолектрик – новое вещество на основе наночастиц золота и серебра. Особенность этого материала в том, что он «загоняет» состоящий из волн разной длины солнечный свет на одну частоту, тем самым, повышает общий КПД батареи. Источник питания состоит из двух основных элементов: гетерозолектрического фотоэлемента (ГЭФ), преобразующего видимый и инфракрасный свет в электричество, и гетерозолектрического конденсатора огромной емкости при малом объеме, который полученную энергию накапливает. Подобный элемент обладает уникальной способностью работать не только днём, но и ночью, используя видимые и инфракрасные световые потоки, из-за чего его и назвали «звездной батареей».

У продемонстрированного отечественными учёными фотоэлемента эффективность преобразования видимого спектра в электроэнергию – 54 %, инфракрасного света в электроэнергию – 31 %, что значительно превышает существующие мировые показатели (около 42 %). Кроме того, фотоэлемент имеет массу полупроводникового вещества на ватт энергии в 1000 раз меньше, чем у существующих аналогов.

В мае 2009 г. появилось сообщение о том, что Наблюдательный совет Российской корпорации нанотехнологий одобрил участие Корпорации в проекте по производству солнечных модулей на базе технологии «тонких пленок» – тонкопленочных фотоэлементов на основе микроморфного кремния, разработанных мировым лидером рынка солнечной энергетики – Швейцарской компанией Oerlikon Solar (rusnano.com/Rubric.aspx?Page=0&RubricId=262). Речь идет о создании крупнейшего в России производства солнечных батарей и самых значительных инвестициях в альтернативную энергетику на территории России. В рамках проекта запланировано создание предприятия полного цикла по производству солнечных модулей

на территории промышленной площадки ОАО «Химпром», г. Новочебоксарск Чувашской Республик и, проектной мощностью один миллион солнечных модулей в год, что соответствует 120 МВт/год. Основными участниками проекта выступают РОСНАНО и Группа компаний «Ренова» в сотрудничестве с Физико-техническими институтом им. Иоффе РАН. Общий объем финансирования проекта составит более 20 млрд рублей. Выход на проектную мощность ожидается в конце 2011 г. В 2015 г. выручка проектной компании составит более 10 млрд руб. В долгосрочной перспективе до 15 % производимых солнечных модулей планируется направлять на российский рынок.

Рынок солнечной энергетики бурно развивался в последние годы. По данным исследовательской компании Lux Research (США), общий размер рынка достиг в 2008 г. 33 млрд долл., или около 5 ГВт. С 2001 года, рынок в денежном выражении увеличился более чем в 11 раз. Рынок кремниевых тонкопленочных солнечных модулей в 2008 году оценивается в 0,6 ГВт, но к 2012 г. он увеличится до 2,4 ГВт, в денежном выражении – с 3,8 до 8,6 млрд долл.

Наноэнергетика. К наноэнергетике (в более узком понимании) относят область знаний, исследующую закономерности управления потоком энергии в пределах и между молекулами. К наноэнергетике относят аккумуляторы механической энергии и демпфирующие устройства нового поколения на основе наносистем «несмачивающая жидкость – нанопористое тело»; автономные электрохимические источники питания, включая топливные элементы, а также энергоёмкие материалы, используемые в вооружениях – взрывчатке, двигателях военной техники и ракет. Наноэнергетика характеризуется как возникающая (emerging) область нанотехнологии, имеющая важное государственное значение [3.99].

Важными характеристиками энергоёмких наноматериалов являются скорость высвобождения энергии, время хранения и безопасность по отношению к непреднамеренной инициации. Традиционные технологии, основанные на использовании химии водорода, углерода, азота и кислорода близки к достижению потолка этих свойств. Нанотехнологии позволяют улучшить чувствительность, стабильность и механические свойства таких веществ. Функциональные углеродные нанотрубки вводят в матрицы взрывчатого вещества для увеличения области инициации в разрабатываемых

плазменных инициаторах, повышения эффективности, безопасности и механических свойств ВВ за счет использования как оптических, так и электрических свойств нанотрубок. В частности, высокая электронная плотность и проводимость, характерные для нанотрубок, могут вести к более робастной и надежной инициации (робастность означает малое изменение выхода замкнутой системы управления при малом изменении параметров объекта управления). Метастабильные межмолекулярные композиты (MIC) – это смеси нанопорошков реагентов с высоким экзотермическим поведением. Фундаментальное отличие от традиционных веществ состоит в том, что реакционность связана с межмолекулярными, а не внутримолекулярными свойствами. Типичный размер наночастиц составляет 30 нанометров. Важным свойством композитов является возможность изменения скорости высвобождения энергии путем изменения размеров наночастиц. Наибольшее внимание привлекают сейчас такие композиты как Al/MoO₃, Al/тефлон, Al/CuO. Так, в Лос-Аламосской национальной лаборатории (LANL, США) алюминиевая нанопудра получается методом динамической газовой конденсации (в работе [3.99] Россия приводится в качестве примера страны, где имеется такая коммерческая технология – ALEX).

В МИФИ ведется поиск новых энергоносителей на основе метастабильных нанокластеров и полимерных форм и состоящих из элементов, не образующих в обычных условиях конденсированных веществ, – **азота, гелия**. Такие нановещества способны запасать энергию от 3 до 50 раз больше, чем известные «химические» энергоносители, а также полностью выделять запасенную энергию за короткие времена (без присутствия окислителя, как в обычной взрывчатке). Предсказана возможность существования ансамблей из кластеров N₈ (так называемых «лодок»), т.е. конденсированной фазы, собранной из «кирпичиков» – кластеров N₈. Это новое нановещество должно быть устойчивым при нормальном давлении и нагреве до ≈ 800 К. Показано, что для метастабильных спинполяризованных кластеров гелия He₄ выигрыш по удельной массовой энергоемкости может достигать 50.

Поиск новых электрохимических систем, конструкционных материалов и конструкций для них стимулировал исследования в области ионики наногетерогенных структур. Разработка новых технологий для беспроводных наноприборов имеет исключительно

важное значение для систем, работающих в реальном времени и выполняющих функции имплантируемого биосчитывания, биомедицинского мониторинга и биообнаружения. Это так называемые наногенераторы и нанопьезотроника [3.100].

В высшей степени желательно для беспроводных приборов, в особенности в случае имплантируемых биомедицинских приборов, чтобы они работали с самообеспечением питания, то есть без использования батареи. Поэтому большое значение приобретают исследования преобразования механической энергии (например, движение тела, мускульных усилий), вибрационной энергии (акустические/ультразвуковые волны), гидравлической энергии (жидкость тела, поток крови) в электрическую энергию, которую можно использовать для питания наноприборов. Недавно был разработан наногенератор постоянного тока, возбуждаемый ультразвуковыми волнами. Это представляет собой существенный шаг в реализации наногенераторов на основе пьезоэлектрики.

Механизм работы электрического генератора основан на уникальной связи пьезоэлектрических и полупроводниковых свойств окиси цинка ZnO , а также выпрямительной функции барьера Шоттки, образованного между металлическим наконечником и нанопроволокой. На базе этого принципа были изготовлены: пьезоэлектрические полевые транзисторы, диоды, датчики и резонаторы. Все указанные компоненты являются фундаментальными компонентами наноэнергетики (нанопьезотроники). Пьезотроника представляет собой область использования связанных пьезоэлектрических и полупроводниковых свойств для изготовления новых и уникальных электронных приборов и компонентов.

Водородная энергетика. Водород – самый распространенный элемент во Вселенной, он входит в состав огромного количества соединений, находящихся на Земле и в Земле. Над проблемой извлечения водорода бьются ученые во многих странах, пытаясь создать процесс разложения воды с минимальным расходом энергии. А для этого требуется много энергии. Полученный водород необходимо безопасно хранить, транспортировать и использовать в химических и металлургических процессах, а также применять в качестве топлива в водородно-кислородных топливных элементах для получения электроэнергии без ограничения цикла Карно [3.97,

3.98, 3.101, 3.102]. Топливные элементы – ключевое звено водородной энергетики (рис. 3.23).

В последние годы большое внимание уделяется применению наноматериалов для производства электроэнергии в топливных элементах и для хранения водорода, используемого в качестве экологически чистого топлива в топливных элементах и энергоносителя в будущей «водородной экономике» [3.97, 3.98, 3.101]. Применительно к топливным элементам наноструктурированные материалы могут использоваться с целью увеличения электрической емкости электродов, ионной проводимости и долгосрочной стабильности электролитов, а также повышения эффективности работы катализаторов электрохимических реакций на электродах. (Катализаторами химических реакций обычно называют вещества, которые существенно ускоряют ход той или иной реакции, но сами при этом не расходуются. В идеале катализаторы должны не только увеличивать скорость реакции, но и проявлять селективность, избирательность своего действия или даже способствовать образованию менее выгодного с энергетической точки зрения соединения). Задача здесь – снижение стоимости в 10 – 100 раз и низкотемпературный запуск. Примером является имеющий нанoarхитектуру платиновый катализатор, получаемый с использованием соль-гелевой технологии. В этот наноматериал входят углеродный порошок и коллоидальные наночастицы платины размером около 2 нм. Метод соли-гели был предложен в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (LLNL, США). Соль-гелевая химия использует реакции в растворах, в которых образуются первичные наночастицы (соль), которые могут быть связаны в трехмерную твердую сеть – гель, поры в которой заполнены оставшимся веществом. Данный подход является относительно простой недорогой низкотемпературной технологией. Перспективное вещество для производства – Fe_2O_3 , образующее с алюминиевым порошком высокоэнергетическую смесь.

Значительно уменьшить расход материалов и существенно снизить себестоимость электрохимических генераторов (топливных элементов) может *наноструктурированная фольга* в виде многослойных нанопленок. Фольга изготавливается вакуумным методом порулонной ионно-плазменной технологии синтеза наноструктурированных материалов. Наноструктурированная фольга представляет

собой качественно новую основу с осажденным на ее поверхности нанослоем алюминия [3.103].

В 2003 г. компания «Норильский никель» вместе с Российской академией наук объявила о запуске совместной программы «Водородная энергетика и топливные элементы» (см. «Химию и жизнь», 2004, № 1, а также [3.102]). Тогда «Норникель» выделил 120 миллионов долларов для поисковых, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этой области. В 2003 г. Президент США Джордж Буш выдвинул две «водородные» программы, предусматривающие выделение \$1,7 млрд в течение 5 лет. Ровно столько же планирует выделить Япония. Аналогичные программы стран ЕС предусматривают бюджетное финансирование в размерах более 200 млн евро в год. Одновременно исследованиями в этом направлении занимаются многие автомобильные и энергетические компании. Так, концерн Daimler Chrysler вложил в программу около \$ 10 млрд. В мае 2008 г. он отправил первый в Европе автобус на водородном двигателе для испытаний муниципалитету Мадрида. До конца года концерн намеревался передать муниципальным властям крупнейших городов Евросоюза 30 подобных машин.

Наряду с электролизом воды, паровой конверсией метана и другими методами получения водорода разрабатываются масштабируемые методы расщепления молекул воды с помощью солнечного света для производства водорода. Относительно хранения получаемого водорода существуют различные точки зрения о степени поглощения водорода нанокуглеродами. Водород может храниться также в наноструктурированных магниевых, титановых и других материалах. Нанотехнологии привлекаются с целью создания обратимых материалов для хранения водорода при комнатной температуре.

Электрические конденсаторы. Наноструктурированная фольга может существенно улучшить технико-экономические параметры электрических конденсаторов [3.103]. Помимо улучшения характеристик существующих алюминиевых электролитических конденсаторов с жидким электролитом наноструктурированная анодная фольга может быть использована в перспективных твердых алюминиевых конденсаторах типа OS-CON с органическим полупроводником или проводящим полимером в качестве электролита. Выпуск алюминиевых электролитических конденсаторов типа OS-

CON за последние годы стал одним из приоритетных направлений деятельности большинства ведущих мировых компаний-производителей радиоэлектронных компонентов. Конденсаторы типа OS-CON обладают низким эквивалентным внутренним сопротивлением (ESR) и чрезвычайной долговечностью. По производительности один конденсатор типа OS-CON заменяет два танталовых или от 2 до 7 жидких алюминиевых конденсаторов. Использование наноструктурированной анодной фольги на основе полимерной пленки в конденсаторах типа OS-CON может существенно увеличить их удельную емкость, снизить эквивалентное внутреннее сопротивление, уменьшить габариты и вес, расширить сферы их промышленного применения. Начато производство ультраконденсаторов (или конденсаторов на нанозатворах, или нанопористых конденсаторов), отличающихся рекордной емкостью (http://www.power-e.ru/2005_03_22.php).

Термоэлектрическая энергетика. Прямое преобразование тепловой энергии в электрическую осуществляется в так называемых термоэлектрических генераторах (рис. 3.24) [3.97, 3.98]. Наилучшими термоэлектрическими материалами для них являются полупроводники, в частности, разработанные в СССР теллуриды свинца PbTe (*n*- и *p*-типа). Величина КПД преобразования тепла в электричество всецело определяется так называемым термоэлектрическим коэффициентом ZT , равным произведению термоэлектрической добротности на среднюю температуру полупроводников. Лучшие коммерческие термоэлектрические материалы характеризовались величиной $ZT < 1$ и КПД менее 15 % [3.97]. Новый материал – теллурид свинца с наноприсадками таллия (Tl-doped PbTe), обладает коэффициентом на уровне $ZT = 1.5$, что более чем вдвое превышает показатели предыдущего «лидера» [3.104]. В последние годы появились наноструктурированные термоэлектрические материалы с коэффициентом ZT около 3, и есть надежда получить вскоре наноструктурированные материалы с $ZT = 10$, что позволит увеличить КПД термоэлектрических генераторов в 2 – 3 раза [3.105]. На базе наноматериалов из теллурида свинца в настоящее время разрабатывается множество термоэлектрических проектов. Например, в лаборатории NASA Langley Research Center (США) учёные работают над специальным покрытием для высотных самолётов, где

тепло солнечной энергии непосредственно преобразовывалось бы в электричество.

3.3.7. Военные применения и безопасность

Ожидается, что применение нанотехнологий в военном деле приведет к революционным изменениям в экипировке военнослужащих, вызовет создание микроробототехнических комплексов различного назначения, принципиально изменит характер основных видов военной деятельности [3.4]. Стоит отметить ещё один важный момент. Россия – большая, многонациональная страна, и уже поэтому ее наука обречена иметь особые задачи, поставленные силовыми ведомствами. Военные действия ведутся сейчас преимущественно с использованием всё более высокоточного оружия. Космическая система наблюдения и связи важна для удержания контроля на большой территории. Один из прогнозов Артура Кларка о том, что к 2010 г. будет создана глобальная система тотального наблюдения, построенная по тому же принципу, что и сотовая связь, и интернет, – для борьбы с терроризмом [3.106].

Агентство перспективных разработок МО США реализует программу «Умная пыль», направленную на создание сверхминиатюрных устройств, способных генерировать энергию, проводить мониторинг окружающей среды, накапливать и передавать информацию. Нанотехнологии могут стать благом, но одновременно и причиной серьезных конфликтов, в том числе вооруженных. Сложившаяся в мире геополитическая ситуация в значительной степени опирается на созданную систему глобального контроля уровня вооружений и военной техники технологически развитых стран. Сегодня разработку и накопление оружия массового уничтожения можно обнаружить и вопреки желанию государства-хозяина. В случае же применения нанотехнологического оружия контроль практически невозможен, в крайнем случае, весьма проблематичен. Нанотехнологии позволяют создавать принципиально новые виды оружия в виде миниатюрных (наноразмерных) автономных роботов, которые могут быть изготовлены в огромных количествах и способны осуществлять разведывательные, диверсионные и военные операции, в том числе вывод из строя ракетно-ядерного оружия. Новое невидимое оружие может принять вид легко размно-

жаемых нанобиороботов, способных внедряться в генетическую структуру человека. Испытания такого оружия могут быть проведены скрытно, вне рамок общественного сознания. Важно и другое. Его не нужно создавать и хранить как обычное вооружение. Достаточно отладить и иметь в действии производственные комплексы в виде самовоспроизводящихся систем с коротким временем генерации оружия. Такие системы могут размещаться не обязательно на собственной территории. Они могут находиться в океанах, в космосе. Их назначение, как и назначение самого оружия, нельзя определить обычными методами.

Создается новый класс вооружения, которое использует энергетически-упакованные нанометаллы, чтобы создать мощные компактные бомбы. Финансируемые правительством США Национальные Лаборатории в Сандиа (Sandia National Laboratories), Лос-Аламосе (Los Alamos National Laboratory), и Ливермор (Lawrence Livermore National Laboratory) исследуют, как управлять потоком энергии в пределах и между молекулами. Эта область, известная как наноэнергетика, позволит строить эффективное оружие типа «save-buster bombs», которые имеют в несколько раз большую силу взрыва обычных бомб, типа «daisy cutter» или МОАВ. Американские специалисты разработали на основе наноалюминия бомбы «save-buster», ракеты и торпеды, которые перемещаются настолько быстро, что поражают цели прежде, чем какие-либо действия могут быть предприняты.

По информации зарубежных информагентств (см. «Аргументы недели» от 29.08.2008), в августе 2008 г. на военном полигоне в Баренцевом море Россия провела испытания сверхмощной «вакуумной нанобомбы». Это новое слово на рынке вооружений. Компактный боеприпас с высокотехнологичной начинкой создан «с использованием нанотехнологий» и по боевым характеристикам сопоставим с тактическим ядерным оружием. В конструкции боезаряда применены композитные взрывчатые вещества (нанопорошки), спроектированные на атомарном уровне, а в материале корпуса использованы сверхпрочные углеродные трубки. Масса взрывчатого вещества нового оружия – от 500 кг до 8 т. Тритиловый эквивалент взрыва достигает нескольких килотонн.

Против нанотехнологического оружия нет других способов защиты, кроме контрсредств, созданных на той же основе. Наличие

нанотехнологического оружия принципиально меняет военную стратегию: это путь к снижению числа военнослужащих, это скрытый характер собственной военной мощи, это возможность сокрушительного первого удара по противнику с минимальной или нулевой возможностью ответа. Военные специалисты полагают, что нация, имеющая решающее преимущество в нанотехнологии, сможет разоружить любого противника. При этом нанотехнологическая война будет беспрецедентно быстрой и глобально разрушительной.

Большое внимание уделяется нанотехнологиям для систем безопасности. Анализ проводимых в Российской Федерации работ дает основание полагать, что в ближайшие годы наиболее перспективные сферы использования нанотехнологий в системах безопасности это [3.107]:

1) устройства контроля и защиты документов от подделки (например, на основе наноматериалов, микропечати, тонких электронных схем, бумаги с добавлением наночастиц, компактных устройств считывания данных);

2) системы контроля доступа в помещения на основе наносенсоров (например, считыватели отпечатков пальца, теплового рисунка вен руки или головы, геометрической формы руки в динамике);

3) биосенсоры, простые или многофункциональные типа «электронный нос», предназначенные для обнаружения и идентификации сверхмалых количеств взрывчатых, наркотических и опасных веществ;

4) более компактные, чуткие и информативные портативные и стационарные металлоискатели и детекторы движения на основе массивов наносенсоров;

5) распределенные массивы наносенсоров типа «умная пыль» для охраны границ и периметров объектов;

6) магниторезонансные установки для точного анализа объемного содержания закрытых емкостей и грузов в аэропортах, на проходных, на таможне;

7) предназначенные для оснащения промышленных объектов повышенной опасности автоматические системы ведения огня по наземным и воздушным целям на основе наносенсоров, нанозлектронных компонентов и искусственных нейронных сетей.

Из приведенного обзора следует, что в настоящее время влияние нанотехнологий на различные отрасли народного хозяйства и готовность отраслей к восприятию нанотехнологий весьма неравномерны (рис. 3.25, 3.26). Как следует из рис. 3.25, некоторые отрасли, такие как металлургия, фармацевтика и др., запаздывают с внедрением нанотехнологий (влияние сильное, но готовность низкая), другие отрасли как бы опережают достижения нанотехнологий (готовность высокая, а влияние нанотехнологий пока недостаточно изучено или неэффективно). Подобная неравномерность в динамике распространения ключевого фактора – типичная картина для начальных фаз развития нового технологического уклада. По мере формирования составляющих его комплексов технологически сопряженных производств и образования целостных контуров расширенного воспроизводства процесс распространения нанотехнологий будет принимать все более масштабный и всепроникающий характер.

По прогнозам экспертов «Онэксим группа», сделанным накануне кризиса 2008 г., «нано» будет хорошим бизнесом, в течение ближайших 7–10 лет мировой рынок нанотехнологических продуктов и услуг будет возрастать со скоростью более 1 трлн. долл. в год. Особенно быстро будут развиваться следующие сектора рынка нанотехнологий:

- наноструктурные материалы и процессы (340 млрд долл. в год);
- наноэлектроника и энергетика (340 млрд долл. в год);
- фармацевтические препараты (300 млрд долл. в год);
- химическое производство (180 млрд долл. в год);
- аэрокосмическая промышленность (70 млрд в год).

Нанотехнология имеет огромный потенциал для использования в чрезвычайно большом и разнообразном множестве практических областей – от производства более прочных и легких конструкционных материалов в машиностроении до уменьшения времени доставки наноструктурированных лекарств в кровеносную систему, увеличения объема памяти и быстродействия компьютеров и т.д.

Глава 4. ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ И ВЕДУЩИХ СТРАНАХ МИРА

4.1. О перечне показателей распространения нанотехнологий

Измерение распространения нанотехнологий в начальной фазе развития нового технологического уклада весьма затруднено как его относительно небольшим масштабом, так и отсутствием систематически собираемых статистических данных. Лишь после структурной перестройки экономики и завершения процесса замещения старого технологического уклада новым составляющие последний производства войдут в фазу быстрого роста и попадут в поле зрения государственной статистики, а показатели их распространения станут важными параметрами управления экономическим развитием.

В современной статистике пока не ведется систематический сбор данных по распространению нанотехнологий в экономике. Приводимые ниже данные основаны на результатах отдельных исследований распространения нанотехнологий в различных сферах хозяйственной деятельности в некоторых странах. При этом, чем выше уровень развития и, соответственно, шире сфера распространения нанотехнологий, тем более представительна отражающая этот процесс статистика. Меньше всего данных о распространении нанотехнологий (из числа рассматриваемых стран) в России. Возможно, в ближайшее время ситуация улучшится – как благодаря становлению нового технологического уклада в российской экономике, так и в результате формирования системы государственного стимулирования процесса распространения нанотехнологий.

По мнению экспертов компании Lux Research, лидерами распространения нанотехнологий на рубеже 2008 г. являлись США, Япония, Германия и Южная Корея (рис. 4.1). В следующей группе стран с высоким уровнем развития нанотехнологий, но меньшей степенью активности государства оказались Израиль, Сингапур, Нидерланды, Швейцария и Швеция. Следующая после них группа стран-«мечтателей» составляют Франция, Великобритания и Китай, у которых уровень «НТ-активности» превышает уровень ре-

ального развития нанотехнологий. Россия была занесена в промежуточную зону между всеми четырьмя «квадрантами».

Согласно оценкам из [4.6], потенциальный (ожидаемый) существенный эффект применения нанотехнологий будет зависеть от достижения рекордных значений ряда технических индикаторов (физически возможных и практически реализуемых), реализация которых обеспечит нанотехнологиям доминирующее положение в новом технологическом укладе экономики:

1. Программируемое размещение реакционно-способных молекул с точностью до 1 нм.

2. Механическую сборку со скоростью превышающей 10^6 операций в секунду на одно устройство.

3. Механическую сборку 1 кг объектов за время меньше 10^4 с.

4. Создание наномеханических систем, действующих с частотой до 10^9 Гц.

5. Создание логических гейтов с объемом порядка 10^{-26} м³.

6. Создание логических гейтов, переключаемых за времена меньше 0,1 нс и рассеивающих менее 10^{-21} Дж тепла.

7. Создание компьютеров, производящих 10^{16} операций в секунду на один ватт.

8. Охлаждение систем размером 1 см³, потребляющих мощность 10^5 Ватт при комнатной температуре.

9. Создание компактных параллельных вычислительных систем производительностью 10^{15} MIPS (миллион инструкций в секунду).

10. Механохимическое преобразование энергии плотностью более 10^9 Вт/м³.

11. Электрохимическое преобразование энергии плотностью более 10^{15} Вт/м³.

12. Создание макроскопических компонентов с пределом прочности $5 \cdot 10^{10}$ Па.

13. Системы производства, способные удваивать основной капитал менее чем за 10^4 с (около 3 ч).

Многие из этих параметров превышают по величине достигнутые в современной технике параметры на порядок и более. Таким образом, оценить внедрение нанотехнологий в экономику той или иной страны можно по тому, насколько созданные в них нанопродукты приближаются к достижению перечисленных параметров и в каком объеме они производятся и используются.

Важно отметить, что на разных этапах жизненного цикла технологии роль тех или иных индикаторов меняется (рис. 4.2).

Принимая во внимание доступность статистических данных, для оценки развития нанотехнологий в разных странах нами использован следующий набор показателей.

А. Показатели уровня развития научных исследований:

1. Количество публикаций и цитирований работ по нанотехнологиям.

2. Количество патентов, зарегистрированных и используемых по нанотехнологиям.

В. Показатели развития институционально-технологической инфраструктуры:

3. Число действующих стандартов.

4. Количество зарегистрированных компаний, производящих нанопродукты

С. Показатели распространения нанотехнологий в производственной сфере:

5. Объемы инвестиций в развитие нанотехнологий.

6. Объемы производства нанопродукции и метрологического оборудования.

Д. Показатели уровня экономической активности использования нанотехнологий:

7. Изменение стоимости акций компаний, производящих и потребляющих продукцию нанотехнологий.

8. Фондовые индексы нанотехнологий.

Е. Показатели распространения нанотехнологий в сфере потребления:

9. Объемы потребления продукции, произведенной с использованием нанотехнологий, в расчете на душу населения или на единицу ВВП.

10. Доля продукции, произведенной с использованием нанотехнологий, в структуре потребления продуктов соответствующего типа.

Эти показатели охватывают как области исследований, так и производства нанопродуктов. Их сравнение в разных странах позволяет оценить относительный уровень развития нанотехнологий в конкретной стране.

4.2. Индикаторы уровня развития научных исследований

4.2.1. Количество публикаций по нанотехнологиям

Результативность науки – основа конкурентоспособности страны на мировом рынке. О результативности науки часто судят (формально) по трем основным показателям – по количеству публикаций, числу цитирований и по количеству зарегистрированных патентов. Значимость этих показателей различна для различных областей науки и технологий: для тех областей, которые находятся на ранней стадии жизненного цикла, основным показателем является количество публикаций, а рыночному буму предшествует рост патентов [4.7]. Количество публикаций в области нанотехнологий в мировом масштабе за период 1990 – 2006 гг. выросло более чем в 28 раз (рис. 4.2, 4.3). Странами-лидерами по публикационной активности на протяжении всего этого периода являлись США, Япония, Китай и Германия. По данным Lux Research в 2005 г., на Россию приходилось около 5 % общего объема публикаций в нанодомене. По данным работы [4.8] Россия заняла в 2005 г. девятую позицию, пропустив вперед США, Японию, Китай, Германию, Южную Корею, Францию, Великобританию, Италию (рис. 4.5, 4.6).

Представленные на рис. 4.5 и 4.6 распределения публикаций по странам свидетельствуют о снижении к 2007 г. ранга России в области публикаций за 10 лет с 11 до 6.

Индекс цитирования SCI (Science Citation Index) является общепризнанным признаком научного значения соответствующего источника информации. SCI – это система Филадельфийского института научной информации, в основу которой положены связи между документами по прямому, обратному и перекрестным ссылкам (цитированию). Информационную основу индекса цитирования составляют три массива:

- индекс цитирования естественных наук, собственно Science Citation Index, – SCI (более 5900 журналов);
- индекс цитирования социальных наук – Social Science Citation Index, SSCI (более 1700 журналов);
- индекс цитирования в гуманитарных науках, литературе и искусстве – Arts and Humanities Citation Index, – A&HCI (более 1100 журналов).

SCI (или его Интернет-версия Web of Science – WOS) отражает публикации в ведущих международных и национальных научных журналах (около 3600 журналов). WOS распространяется через Интернет, содержит статьи с 1945 г. В совокупности WOS охватывает более 8500 ведущих рецензируемых журналов мира. База данных установлена в России на серверах Научной Электронной Библиотеки, содержит массив с 1996 г. до настоящего времени и обновляется еженедельно.

Всего в SCI представлено около 100 российских журналов, в основном издаваемых на английском языке или имеющих английскую версию, тогда как американских, например, около 1500, т.е. почти 40% от общего числа индексируемых журналов. В то же время список российских рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, составляет около 1000 наименований, а общее число научных журналов, издаваемых в России, по крайней мере, в несколько раз больше. Относительно небольшой процент российских журналов, представленных в SCI, объясняется не только уровнем этих журналов или общим уровнем развития науки в России, но и целым рядом других объективных и субъективных причин, среди которых можно упомянуть следующие: языковой барьер, особенности отбора журналов на основании индекса цитирования, Уровень российских журналов, особенности научного развития в разных областях.

По **нанотематике** в мире выходит более 200 статей в день, отражаемых в Указателе цитированной литературы SCI. Сейчас издается 45 специализированных NANO-журналов, из них 12 появилось в 2006 г., с 2007 г. издаются NanoEthics и NanoNOW. Общее количество журналов, отражаемых в SCI и печатающих NANO-статьи, 360. Кроме того, ежедневно проходят две международные конференции (симпозиум, семинар, школа; см. об этом www.nanonet.go.jp/english; www.nanoforum.org; www.metallurgy.nist.gov/magnet) и выходит из печати 1 монография или сборник.

В работе [4.9] был оценен научный задел, с которым страна включилась в «наногонку», и как цитируются результаты российских исследователей в данной области. В списке наиболее цитируемых российских специалистов присутствуют более 50 ученых из 23 организаций, занимающихся нанопроблематикой [4.10, 4.11].

Наиболее цитируемые группы (табл. 4.1) – научные коллективы Нобелевского лауреата академика Ж.И. Алферова (ФТИ им. А.Ф. Иоффе и НОЦ РАН) и профессора Р.З. Валиева (Уфимский авиационный институт). Эти результаты подтверждают то, что метод интенсивных пластических деформаций, развитый благодаря работам школы Р.З. Валиева, и полупроводниковые гетероструктуры, разработанные школой Ж.И. Алферова, получили значительное распространение в мире.

Ситуация по публикации российских статей и их цитируемости с 1995 г. по май 2005 г. проанализирована в работе [4.9 – 4.12]. Россия находится на 9-м месте в мире по количеству публикуемых статей и на 17-м по цитируемости. В целом страна занимает шестое место по цитируемости физических статей и соответственно 12-е, 13-е и 25-е места – по материаловедческим, химическим и микробиологическим публикациям [4.12].

Таблица 4.1

Индексы цитируемости некоторых российских ученых, работающих в области наноматериалов, имеющих более 100 ссылок на работы, опубликованные с 1986 г. (CI_{86}) и за семь лет (CI_7 , 1999–2005 гг.).
(По материалам Междисциплинарного научного сайта <http://www.scientific.ru>)

№ п/п	Автор	CI_{86}	CI_7	Институт
1	Алферов Ж.И.	9214	1590	ФТИ РАН
2	Валиев Р.З.	6823	507	Уфим. Ав. Ин-т
3	Третьяков Ю.Д.	2306	317	МГУ
4	Конов В.И.	1209	419	ИОФ РАН
5	Губин С.П.	1366	224	ИОНХ РАН
6	Андриевский Р.А.	1366	173	ИПХФ РАН
7	Овидько И.А.	1000	617	ИПМ,С.-Пет. РАН

Деятельность и публикации нанобиотехнологических и наномедицинских компаний классифицируются в таком виде:

Анализ	Биотехнология
Диагностика	Молекулярная медицина
Лаборатория-на-чипе	Генная технология
Медицинские изображения	Доставка лекарств
Обработка изображений агентов	Терапевтические устройства и средства
Биодатчики	Инкапсуляция
Биоматериалы	Производство
Фармацевтические препараты и вакцины	Технологии процессов
Покрытия	Тканевая инженерия
Вспомогательная продукция	Приборостроение
Тканевая инженерия	Производства сложных составов

Как следует из рис. 4.7, объем статей в области нанобиотехнологий по группам тем Анализ, Доставка и Производство в два с лишним раза превышает среднегодовой. Как видно практически по всем темам, являющимся критическими для развития наномедицины, наблюдается более чем двукратный рост среднегодового темпа публикаций, причем Россия очень слабо участвует в этом процессе.

Таким образом, поддержание паритета с развитыми в данной сфере странами (США, Япония, Китай, ФРГ, Южная Корея, Великобритания, Италия и др.) по количеству и качеству публикаций в области нанотехнологий потребует от российских исследователей немалых усилий.

Участие в выставках – это тоже важный индикатор творческой и деловой активности организаций. Госкорпорацией «Роснано» были аналитически исследованы 1695 крупных публичных мероприятий, проведенных в 68 странах мира за период 2006 – 2008 гг. Анализ показывает, что ежегодно в мире проводится более 500 мероприятий, непосредственно связанных с научной, технической и коммерческой деятельностью в области нанотехнологий. В России в 2008 г. проведено более 10 выставок. Основные тематики проводимых мероприятий приведены на диаграмме (рис. 4.7). Особого упоминания заслуживает медицинская тематика, не выделенная в отдельную графу, так как темы, связанные с медициной, в том

или ином виде присутствуют практически на всех анализируемых мероприятиях.

4.2.2. Количество зарегистрированных патентов, используемых в нанотехнологиях

По общему количеству патентов в области нанотехнологий лидирует США – на долю американских компаний, университетов и частных лиц приходится более половины всех выданных в мире патентов. По официальной статистике количество nanoизобретений здесь превышает 3 тыс. Наибольшее число патентов (около 40 %), полученных к настоящему времени, соответствует открытиям в области обработки и обнаружения наноструктур (научные разработки).

За период 1990 – 2006 гг. количество выданных патентов в мире увеличилось почти в 25 раз, т.е. темпы роста публикаций и патентов почти совпадали (рис. 4.9). Так, количество патентов, связанных с углеродными нанотрубками, за 3 года возросло почти втрое, достигнув около 600 патентов в одном 2006 г. На рис. 4.10 показаны страны-лидеры по количеству выданных патентов. Здесь, в отличие от научных статей, ранг России существенно дальше от лидеров (19 место). Россия ни в одном из международных обзоров не упоминается в контексте патентования [4.15, 4.16].

В США фирма Carbon Nanotechnologies (www.cnanotech.com) является владельцем 54 патентов на технологии (2007 г.), связанные с углеродными нанотрубками. После слияния компаний Unidym и Carbon Nanotechnologies объединенная компания будет обладать одним из самых больших в отрасли патентных пакетов на методики и технологии, связанные с углеродными нанотрубками.

С 2002 по 2007 гг. в США было выдано более 82000 патентов и обучено более 143000 студентов, прямо или косвенно связанных с биотехнологическим сектором, демонстрирующим устойчивый рост числа компаний, лабораторий и зарплаты сотрудников [<http://www.bioworld.com>]. Основные достижения в нанобиотехнологическом секторе – это:

- функциональная геномика и техника разработки и распознавания лекарств;
- диагностические тесты;

- методы извлечения и использования стволовых клеток;
- регенерационные исследования;
- биомаркеры;
- наномасштабные системы доставки лекарств;
- исследовательские модели и соответствующее программное обеспечение.

В последнее время наблюдается некоторое снижение числа патентов, несмотря на рост венчурного инвестирования. Согласно мнению экспертов, для развития новых биотехнологий необходим постоянный приток талантливых и квалифицированных кадров. Однако с 2007 г., в связи с нарастающими проблемами в национальной экономике США и интенсификацией проектов того же рода в других странах, в США наблюдается замедление миграции научных кадров из других стран.

До недавнего времени не существовало рубрики для выделения нанотехнологий в самостоятельное направление. Из-за специфических свойств материалов в нанометровом масштабе в работе [4.10] заявки на патенты и патенты по нанотехнологии были категоризированы в шесть прикладных областей по Международной Патентной Классификации (IPC) (табл. 4.2.). Большинство технологий в шести прикладных областях, кроме наноматериалов, достигнуто убывающим процессом (сверху-вниз), где наноструктуры развиты через усовершенствование или продвижение существующих технологий миниатюризации. Наноматериалы синтезируются в основном через восходящий процесс (снизу-вверх), где наноструктуры организованы через химические или физические взаимодействия среди атомов или молекул.

Таблица 4.2

Классификация патентов и заявок на патенты в шести прикладных областях по Международной патентной классификации (IPC)

Наименование области	IPC	Определения в IPC (8-ой выпуск)
Электроника	H01L	Способы или устройства для обработки полупроводниковых приборов или приборов на твердом теле.
	H01J	Разрядные приборы с устройствами для ввода объектов или материала, подлежащих воздействию разряда

Наименование области	IPC	Определения в IPC (8-ой выпуск)
	G06N	Компьютерные системы, основанные на специфических вычислительных моделях
	G11	Накопление информации
Оптоэлектроника	G02	ОПТИКА (изготовление оптических элементов или приборов или другие соответствующие подклассы или классы; материалы как таковые)
	H01S	Устройства со стимулированным излучением
Медицина и биотехнология	A61	Медицина и ветеринария; гигиена
	C12	Биохимия; пиво; алкогольные напитки; вино; уксус; микробиология; энзимология; получение мутаций; генная инженерия
Измерения и производство	G01	Измерение; испытание
	B01	Способы и устройства общего назначения для осуществления различных физических и химических процессов
	B21	Механическая обработка металлов без снятия стружки; обработка металлов давлением
	B23	Металлорежущие станки; способы и устройства для обработки металлов, не отнесенные к другим классам
	B32B	Слоистые изделия или материалы, состоящие из плоских или объемных слоев, например из слоев ячеистой или сотовой структуры
Окружающая среда и энергия	C02F	Обработка воды, промышленных и бытовых сточных вод или отстоя сточных вод
	H01M	Способы и устройства, например батареи, для непосредственного преобразования химической энергии в электрическую
Наноматериалы	B01J	Химические или физические процессы, например катализ, коллоидная химия; аппараты для их проведения
	B81B	Микроструктурные устройства или системы, например микромеханические устройства

Наименование области	IPC	Определения в IPC (8-ой выпуск)
	B82	Нанотехнология
	B82B	Наноструктуры; их изготовление или обработка
	C01B	Неметаллические элементы; их соединения
	C01G	Соединения металлов, не отнесенных к предыдущим подклассам <u>C 01D</u> или <u>C 01F</u>
	C03;	Стекло; минеральная и шлаковая вата.
	C03B	Изготовление, формование и последующая обработка
	C03C	Химический состав стекла, глазури или эмалей; обработка поверхности стекла; обработка поверхности волокон или нитей из стекла, минералов или шлака; соединение стекла со стеклом или с другими материалами
	C04	Цементы; бетон; искусственные камни; керамика; огнеупоры (сплавы на основе тугоплавких металлов <u>C 22C</u>)
	C07	Органическая химия
	C08	Органические высокомолекулярные соединения; их получение или химическая обработка; композиции на основе этих соединений
	C09	Красители; краски; полировальные составы; природные смолы; клеящие вещества; вещества или составы, не отнесенные к другим рубрикам; использование материалов, не отнесенных к другим рубрикам
	C22	Металлургия (металлургия железа <u>C 21</u>); сплавы черных или цветных металлов; обработка сплавов или цветных металлов
	C23C	Покрытие металлического материала; покрытие других материалов металлическим материалом; поверхностная обработка металлического материала диффузией в поверхность путем химического превращения или замещения; способы покрытия вакуумным испарением, распылением, ионным внедрением или химическим осаждением паров
	C30	Выращивание кристаллов

Изобретательские действия коммерческих предприятий в области нанотехнологий проанализированы в работе [4.17]. Авторы определили количество коммерческих предприятий, которым принадлежит маленькое (1 – 5 патентов), среднее (6 – 50 патентов), и большое (более 50 патентов) число патентов по нанотехнологиям (табл. 4.3). Коммерческие предприятия с небольшим количеством заявок на патент составляют приблизительно 90 % полных заявок на патенты по нанотехнологиям в Европейском союзе и Соединенных Штатах. В Японии это отношение составляет приблизительно 80 %, (на 10 % меньше), а число коммерческих предприятий Японии, имеющих большое количество патентов (более 50), превышает 3 %, что примерно в 6-3 раза больше, чем в Европейском Союзе и Соединенных Штатах соответственно. Для Японии характерно господство в патентовании больших коммерческих предприятий: они имеют больше 50 % от всех заявок на патенты. Доля крупных предприятий, патентующих в нанобласти в Европейском союзе, составляет 12 %, в Соединенных Штатах – 23 %. Вклад мелких коммерческих предприятий в патентование в Европейском союзе и Соединенных Штатах (около 40 %) приблизительно вдвое выше, чем в Японии (около 20 %) (табл. 4.4).

Таблица 4.3

Доля и количество коммерческих предприятий ведущих стран в области нанотехнологий, выраженные через количество заявок на патенты по нанотехнологиям (1978 – 2005) [4.17]

	1 патент	2 – 5 патентов	6 – 15 патентов	16 – 50 патентов	51 и более
ЕС	61,3% (358)	27,2% (159)	7,5% (44)	3,4% (20)	0,5% (3)
US	53,9% (329)	34,3% (209)	7,4% (45)	3,4% (21)	1,0% (6)
Япония	48,0% (158)	33,4% (110)	11,2% (37)	4,0% (13)	3,3% (11)

Таблица 4.4

Доля и количество заявок на патенты по нанотехнологиям от коммерческих предприятий в общем числе заявок на патенты (1978 – 2005) [4.17]

	1	2 – 5	6 – 15	16 – 50	51 и более
ЕС	18,4% (358)	22,8% (444)	19,6% (382)	27,4% (532)	11,8% (229)
US	13,3% (329)	24,0% (595)	16,2% (400)	23,6% (584)	22,9% (567)
Япония	6,3% (158)	12,2% (305)	14,0% (351)	15,0% (375)	52,5% (1312)

На основании данных сайта Роспатента, авторами проведен анализ динамики подачи заявок на патентование в области нанотехнологий в России (рис. 4.11). Первые данные датируются 1997 г., хотя изобретения делались и раньше. Это связано с тем, что до 1998 г. не существовало соответствующей рубрики для выделения нанотехнологий в самостоятельное направление. К тому же не исключены погрешности, связанные с отнесением части патентов к другим областям.

Всплески числа патентов в 2006 г., по-видимому, связаны с принятием государственной программы и ожиданиями инвестиций. Повышенные ожидания могут спровоцировать изобретателей на патентование в надежде получить инвестиции, так как без наличия патента получить инвестиции практически невозможно. Как следует из рис. 4.12, среди отечественных заявителей в Роспатент преобладают сотрудники университетов. Стала заметной роль иностранных заявителей (21 %).

По выборке из 362 патентов средняя величина периода между подачей заявки и публикацией патента составляет более 790 суток. Поэтому полную информацию за 2007 г. можно будет увидеть только в 2009 г.

Как видно, несмотря на положительную динамику, количество патентов в России несравнимо с количеством патентов в США, где отдельные крупные фирмы имеют столько же патентов по нанотехнологиям, сколько вся Россия. По порядку величины США имеет патентов в исследуемой области в 1000 раз больше, чем Россия.

Формирование рынка интеллектуальной собственности является на сегодняшний день одним из главных направлений развития российской рыночной экономики. В то время, когда во всем мире идет активная торговля результатами интеллектуальной деятельности, в России этот сегмент рынка только начинает развиваться. В 2007 г. в системе Роспатента в рамках НИР «Исследование международного опыта систематизации изобретений, относящихся к нанотехнологиям, и анализ путей совершенствования поиска соответствующих патентных документов» были проведены исследования проблем классифицирования и поиска патентных документов по тематике, относящейся к одной из самых актуальных в настоящее время областей знаний, – области нанотехнологий. Уже на первом этапе исследований была подтверждена необходимость создания специ-

альной коллекции патентных документов, отражающих все направления нанотехнологий, на основе поступающих в ФГУ ФИПС заявок отечественных и зарубежных заявителей. С этой целью в августе 2007 г. был выпущен Приказ по ФГУ ФИПС, в соответствии с которым на всех заявках, поступающих в Институт, в обязательном порядке должны проставляться рубрики МПК подкласса В82В, охватывающие наноструктуры (группа 1/00) и их изготовление или обработку (группа 3/00). Подготовлены общие рекомендации для выполнения поисков отечественных изобретений в области нанотехнологий с использованием как российской базы данных, так и зарубежных мультинациональных БД, например esp@cenet и DWPI (база данных Дервента). Подготовлен также список ключевых слов, рекомендуемых для составления запроса на поиск по различным направлениям нанотехнологий [4.15].

В заключении к данному разделу важно подчеркнуть, что одним из показателей, которые наилучшим образом свидетельствует о развитии нанотехнологий в стране и росте числа публикаций и патентов, является квалификация ее сотрудников, которая может значительно отличаться от региона к региону. Как следует из рис. 4.14, Соединенные Штаты лидируют в настоящее время со значительным отрывом по числу квалифицированных исследователей в университетских центрах и персонала, отвечающего за проекты и предприятия в НТ-области. На втором месте с тенденцией к увеличению – Западная Европа и Япония, где растет поддержка нанотехнологий для увеличения числа квалифицированных nanotech-персонала. Однако наибольший потенциал роста в Юго-Восточной Азии, Японии и Израиле. Через 10 лет распределение стран по числу квалифицированных специалистов станет более равномерным.

4.3. Индикаторы развития институционально-технологической инфраструктуры

4.3.1. Число действующих стандартов

В соответствии со своим назначением стандартизация осуществляет выработку и установление требований к продукции и процессам и направлена на упорядочение знаний в соответствующих областях. Стандартизация и сертификация в области наноматериалов и нанотехнологий призваны регулировать качество выпускаемой

продукции путем разработки соответствующих норм, эталонов и стандартов. Необходимость разработки новых и адаптации существующих норм обусловлена особыми свойствами наноматериалов. Можно ли считать углеродные нанотрубки графитом, наночастицы серебра – серебром, а диоксид титана – тем же самым веществом независимо от его размера? Без организации процесса установления объективных требований к нанотехнологиям и нанопродукции, обеспечивающих выпуск и подтверждение соответствия, ее выход на рынок будет закрыт.

Как уже отмечалось, развитие нанотехнологий охватывает период, превышающий 30 лет. Однако стандартизацией, непосредственно связанной с нанотехнологией и нанопродукцией, стали заниматься лишь несколько лет назад. Технические комитеты по стандартизации (ТК) в странах с активно развивающейся нанотехнологией стали создаваться в 2004 – 2005 гг. [4.18 – 4.21].

В конце 2005 г. Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization – ISO, Россия вошла в Совет ISO 23 сентября 2005 г.) создала новый технический комитет ISO/TC 229 «Нанотехнологии» [4.22]. Комитет был организован под председательством Британского института стандартов, целью его является разработка международных стандартов для нанотехнологий. Первоочередные задачи ISO/TC 229 состоят в стандартизации в области нанотехнологий в следующих направлениях:

- термины и определения;
- метрология и методы испытаний и измерений;
- стандартные образцы состава и свойств;
- моделирование процессов;
- медицина и безопасность;
- воздействие на окружающую среду.

В состав технического комитета ISO/TC 229 входят следующие рабочие группы:

TC 229/WG 1: Терминология и номенклатура

TC 229/WG 2: Методы измерения

TC 229/WG 3: Здравоохранение, безопасность и окружающая среда.

Действующих стандартов в области нанотехнологий во всем мире сейчас очень мало (см. табл. 4.5). Количество стандартов, находящихся в разработке, значительно превышает это число.

Анализ принятых и разрабатываемых стандартов показывает, что в основном они формируются в четыре группы:

- стандарты на измерения и испытания;
- стандарты на качество и безопасность;
- стандарты на совместимость и взаимодействие;
- стандарты на терминологию.

Первым шагом в обеспечении обмена информацией и кооперации в области нанотехнологии является достижение согласованности по терминологии. Это окажет положительное влияние на принятие решений по патентам, исследования в области патентования, а также на другие права интеллектуальной собственности и их коммерческие применения.

В США в настоящее время стандартизацией в области нанотехнологий занимаются три организации: ASTM (американское сообщество по испытаниям и материалам), ANSI (американский национальный институт стандартов) и IEEE (технический комитет при Институте инженеров по электротехнике и электронике). Система стандартизации нанотехнологий в рамках государственной целевой программы Национальная нанотехнологическая инициатива (National Nanotechnology Initiative) поддерживается 20 департаментами и агентствами, включая Национальный институт стандартов и технологий (NIST), Управление по контролю за продуктами и лекарствами (FDA), Комиссию по безопасности потребительских товаров (CPSC) и Управление по охране окружающей среды (EPA).

Таблица 4.5

Действующие стандарты в области нанотехнологий

Организация	Обозначение	Состояние	Название
ISO	ISO 13321:1996	Стандарт, 1-е издание	Анализ размеров частиц методом фотонной корреляционной спектроскопии
	ISO 14887:2000	Стандарт, 1-е издание	Подготовка образцов – процедура диспергирования для порошков в жидкостях

Продолжение табл. 4.5

Организация	Обозначение	Состояние	Название
	ISO 9276–1:1998	Стандарт, 2-е издание	Представление результатов анализа размеров частиц, часть 1: графическое представление
	ISO 9276–1:1998/Cor 1:2004	Техническая поправка к стандарту	Представление результатов анализа размеров частиц, часть 1: графическое представление
	ISO 9276–2:2001	Стандарт, 1-е издание	Представление результатов анализа размеров частиц, часть 2: расчет среднего размера/диаметра частиц и значений моментов из распределения частиц по размерам.
	ISO 9276–4:2001	Стандарт, 1-е издание	Представление результатов анализа размеров частиц, часть 4: описание процесса классификации
	ISO 9276–5:2005	Стандарт, 1-е издание	Представление результатов анализа размеров частиц, часть 5: методы расчета, относящиеся к анализу размера частиц с использованием логарифмического нормального распределения вероятности.
	ISO/TS 13762:2001	Техническая спецификация, 1-е издание	Анализ размера частиц методом малоуглового рассеяния рентгеновского излучения
IEEE	IEEE P1650	Стандарт	Тестовые методы для измерения электрических характеристик углеродных нанотрубок
ASTM International	E2456-06	Стандарт	Терминология для нанотехнологии

Организация	Обозначение	Состояние	Название
Ростехрегулирование	ГОСТ Р 8.629-2007	Стандарт	Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапециевидальным профилем элементов. Методика поверки
	ГОСТ Р 8.628-2007	Стандарт	Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона из монокристаллического кремния. Требования к геометрическим формам, линейным размерам и выбору материала для изготовления

В феврале 2007 г. членами межведомственной Рабочей группы по нанотехнологиям Совета по науке Агентства по охране окружающей среды США, специально сформированной с этой целью в 2004 г., был подготовлен документ «Nanotechnology White Paper» [4.20], представляющий обзор влияния нанотехнологий на окружающую среду и оценки рисков наноматериалов. В США принят «Закон о нанотехнологических исследованиях и разработках в XXI веке» [4.19] для обеспечения Национальной нанотехнологической программы (National Nanotechnology Program), одним из аспектов которой является разработка фундаментального понимания причин, позволяющих контролировать и управлять процессами на наномасштабе. Аналогичная работа проводится в других странах [4.18 – 4.21].

Инженеры ISO выпустили новый документ: «ISO/TR 12885:2008, Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies», который фокусируется на изготовлении и использовании искусственно созданных наноматериалов. Технический Отчет (Technical Report –TR) использует современную информацию о нанотехнологиях, включая характеризацию, влияние на здоровье, оценки воздействия и опыт их контроля. Тех-

нический Отчет (ТО 12885:2008) широко применим в огромном диапазоне наноматериалов и приложений нанотехнологии. ТО является важным консультационным материалом, приводит советы компаниям, исследователям, рабочим и другим людям по предупреждению неблагоприятных последствий для здоровья и безопасности персонала и потребителя в процессах производства, хранения, использования и ликвидации промышленных наноматериалов.

В нашей стране в рамках Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии существует Технический комитет ТК 441 «Научно-технические технологии», занимающийся разработкой стандартов в области нанотехнологий и включающий следующие подкомитеты: ПК 1: Нанотехнологии, ПК 2: Квантоворазмерные эффекты в нанотехнологиях, ПК 3: Термины и определения, ПК 4: Методы и средства обеспечения единства измерений в нанотехнологиях, ПК 5: Нанотехнологии в микроэлектронике, ПК 6: Материалы, структуры и объекты нанотехнологии, ПК 7: Нанотехнологии и nanoиндустрия.

Однако на сегодняшний день действующих стандартов в области нанотехнологий и наноматериалов еще недостаточно. В России действуют четыре национальных стандарта на меры нанометрового диапазона, касающиеся метрологического обеспечения зондовых атомно-силовых измерительных сканирующих микроскопов и электронных растровых измерительных микроскопов (ГОСТ Р 8.628-2007 – Р 8.631-2007) [4.22]. Таким образом, интенсивность стандартизации в России сегодня значительно уступает США (В России в разработке 3 стандарта против 30 – в США).

Для успешного развития нанотехнологий, nanoиндустрии и нанорынка одним из важнейших обеспечивающих направлений является метрологическое обеспечение [4.23]. История развития науки и техники неразрывно связана с развитием системы методов и средств измерений. Переход к нанотехнологиям ставит перед наукой и техникой ряд новых специфических задач, обусловленных малыми размерами элементов и структур, с которыми имеет дело нанотехнологии. При этом, как никогда, актуален тезис: «если нельзя измерить, то невозможно создать».

Специфика нанотехнологий привела к созданию и развитию нового направления в метрологии, с которым связаны все теоретические и практические аспекты обеспечения требуемой точности и

единства измерений в нанотехнологиях. Экспертные оценки показывают, что на метрологическое обеспечение развития только микроэлектроники в направлении нанoeлектроники в США ежегодно тратится более 4,0 млрд долларов.

Наиболее известны в мире подразделения метрологии Национального института стандартов и технологии – NIST (США), Национальной физической лаборатории – NPL (Великобритания), Физико-технического института – PTB (Германия), Национального метрологического института – LNE (Франция).

Оснащение данных лабораторий включает в себя ряд приборов, позволяющих проводить измерения физических величин в нанометровом диапазоне. К ним относятся сканирующие электронные микроскопы (СЭМ), просвечивающие электронные микроскопы (ПЭМ), сканирующие туннельные микроскопы (СТМ)» атомно-силовые микроскопы (АСМ), микроскопы ближнего поля, конфокальные микроскопы, интерференционные микроскопы и ряд других приборов обеспечивающих наивысшее разрешение по измеряемым физическим величинам при нанометровых размерах исследуемого объекта.

4.3.2. Количество зарегистрированных компаний, производящих нанопродукты, и объемы их производства

Маркетинговый обзор за 2007 г. компания Lux Research начала словами «Нанотехнологии движутся от открытий к коммерциализации: в 2006 г. продано нанопродукции на 50 млрд долларов, капитальные вложения – 12 млрд долларов» (www.luxresearchinc.com/press). За последние несколько лет в ряде стран значительно выросли государственные и корпоративные инвестиции в исследования и технологические разработки в различные направления нанотехнологий. Одновременно значительно возросло число научных работ, публикаций и патентов, создано более 10 тысяч компаний, выпускающих или использующих нанопродукцию, и число их стремительно растет. В 2008 г. нанотехнологии применялись в процессе производства, как минимум, 80 групп потребительских товаров и свыше 600 видов сырьевых материалов, комплектующих изделий и промышленного оборудования. По данным отчета [4.24] только в области наномедицины насчитывается более 152 продуктов и более 120 компаний и исследовательских

институтов, разрабатывающих эти продукты. На полученную с использованием нанотехнологий продукцию приходится менее 0,1 % мирового ВВП.

Успешно выполнять сложные экспериментальные проекты помогает международная интеграция научных и технологических коллективов, как академических и университетских, так и частных компаний. Так, европейский консорциум NanoSci-ERA объединяет 17 организаций из 12 стран сообщества. Он занимается координацией деятельности ученых различных стран, формированием межнациональных исследовательских коллективов.

Крупнейшими ключевыми игроками в сфере наноматериалов на сегодня (по мнению *Global Industry Analysts, Inc., GIA*, – известной в мире аналитической компании, основанной в 1987 году в США) являются: AMAG Pharmaceuticals Inc., Advanced Nano Products Company Limited, Antaria Limited, Altair Nanotechnologies Inc., Apex NanoMaterials, ApNano Materials, Catalytic Materials, Dendritic Nanotechnologies Inc., eSpin Technologies Inc., Hyperion Catalysis International, ILJIN Nanotech Co Ltd., Integran Technologies Inc., Nanodynamics Inc., Nanoledge, Nanophase Technologies, Oxonica Plc., Shenzhen Nanotech Port Co Ltd., Sun Nanotech Company Limited and Xintek Inc.

Наиболее крупным региональным рынком **наноматериалов** на сегодняшний день являются США, где объем доходов в 2008 г. оценивается на уровне 1,1 миллиарда долларов США. Второй в мире по величине региональный рынок охватывает Западную Европу и составляет примерно 30 % мирового рынка наноматериалов. Предположительно самым быстрорастущим рынком является Азиатско-Тихоокеанский регион, где доходы стабильно росли в период с 2002 по 2008 гг. в годовом темпе более 30 %.

Стратегический прогноз, выполненный компанией *Global Industry Analysts, Inc.* (2008 г., до признания кризиса в мировой финансовой системе), оценивает мировой рынок наноматериалов в 10 миллиардов долларов к 2012 г. Половину этой суммы составит доля доходов в сегменте нанопорошков (нанооксидов). Доходы от нанометаллов по прогнозу должны приблизиться к 3 миллиардам долларов к 2015 г. Другим «миллиардным» сегментом мирового рынка наноматериалов считаются углеродные нанотрубки, рост

которого прогнозировался в десятках процентов ежегодно по 2015 г.

Производство нанотрубок. Углеродные нанотрубки (УНТ = CNT) играют значительную роль в зарождающейся нанотехнологической индустрии благодаря уникальным физико-химическим свойствам. Их прочность может в 50 раз превышать прочность стали. В настоящее время производством нанотрубок занимаются более сотни различных компаний по всему миру. Наиболее крупные производители приведены в табл. 4.6. Ассортимент производимых нанотрубок включает три типа:

- SWNT – однослойные (одностенные) нанотрубки;
- DWNT – двухслойные (двустенные) нанотрубки;
- MWNT – многослойные (многостенные) нанотрубки.

Производство углеродных нанотрубок неравномерно распределено между их разновидностями: производство MWNT во много раз превышает соответствующие показатели для SWNT. Так, мировые мощности по производству MWNT оценивались в конце 2006 г. около 271 тонн в год, SWNT – менее 7 тонн в год (источник: www.wtec.org). Общий мировой рынок CNT прогнозируется на уровне 1.9 млрд долл. к 2010 г. (см. рис. 4.15).

Таблица 4.6

Наиболее крупные производители углеродных нанотрубок

Страна	Фирма	Адрес	Объем производства, т/год
Бельгия	Nanocyl S.A.	www.nanocyl.com	40
Франция	Arkema Group	www.arkema.com	10
Великобритания	Thomas Swan&Co, Ltd.	www.thomas-swan.co.uk	
Германия	Bayer Material Science AG	www.bayermaterialscience.com	60
США	Carbon Nanotechnologies, Inc	www.cnanotech.com	100 – 150
	Hyperion Catalysis International, Inc.	www.fibrils.com	50

Страна	Фирма	Адрес	Объем производства, т/год
	NanoLab, Inc.	www.nano-lab.com	
	Carbolex, Inc.	www.carbolex.com	
	Materials and Electrochemical Research Corporation	www.mercorp.com	
	SouthWest Nano-Technologies, Inc.	www.swentnano.com	
Китай	Shenzhen Nanotechnologies Co. Ltd. (NTP)	www.nanotubes.com.cn	10
	Sun Nanotech Co. Ltd.	www.sunnano.com	
Япония	Showa Denko	www.sdk.co.jp	
	Mitsui & Co., Ltd.	www.mitsui.co.jp	
	Hodogaya Chemical	www.hodogaya.co.jp	
	NEC Corporation	www.nec.com	
Республика Корея	Iljin Nanotech Co., Ltd.	www.iljinnanotech.co.kr	
Канада	Raymor Industries Inc.	www.raymor.com	
Кипр	Rosseter Holdings Ltd.	www.e-nanoscience.com	
Норвегия	n-TEC AS	www.n-tec.no	70
Греция	Nanothinx S.A.	www.nanotubesx.com	

Рост производства SWNT осуществляется преимущественно усилиями исследователей и производителей Японии и Северной

Америки. Производственные мощности азиатского региона в 2 – 3 раза больше, чем Северной Америки и Европы вместе взятых. Ведущие позиции занимает Япония, которая является лидером в производстве MWNT. Ускоренными темпами растет производство в Китае и Южной Корее, которые могут стать в ближайшие годы основными поставщиками всех типов нанотрубок. В сентябре 2007 г. компания Bayer MaterialScience AG открыла второй завод и планирует довести производство углеродных нанотрубок Baytubes в Германии до 3 тыс. тонн в год с максимальной чистотой более 95%. Три крупные компании, производящие MWNT, – Showa Denko, Mitsui и Hodogaya Chemical – обеспечивают основной объем продукции на японском рынке. Кроме того, в Японии много начинающих компаний, производство которых в ближайшее время превысит 100 тонн в год. По прогнозам экспертов, в течение ближайших нескольких лет спрос на углеродные нанотрубки достигнет нескольких тысяч тонн в год.

О высоких темпах развития индустрии УНТ в ближайшие годы свидетельствует тот факт, что за последние 5 лет был зафиксирован значительный рост патентной активности. Только за 3 года количество патентов, связанных с УНТ, возросло почти втрое, достигнув около 600 патентов в одном 2006 году. Нанотрубки находят все большее применение в самых разнообразных областях науки и промышленности (рис. 4.17).

Средняя цена нанотрубок на сегодняшний день составляет около 117 долларов за 1 грамм. Самыми дорогими являются DWNT (средняя стоимость – 428 долл./г), самыми дешевыми – MWNT (45 долл./г). SWNT занимают среднюю позицию со средней ценой 313 долл./г. Стоимость нанотрубок зависит от их чистоты и диаметра (чем больше диаметр нанотрубок, тем они дешевле). Стоимость российских УНТ и УНВ, производящихся на лабораторных установках, достигает 12000 руб./г из-за крайне малого объема производства.

Большинство мощностей ориентировано на производство углеродных нанотрубок методом химического осаждения из паровой фазы с использованием метана в качестве источника углерода (CVD-метод). Некоторые компании производят SWNT с помощью импульсного лазерного испарения, радиочастотной (RF) плазмы

или электродугового разряда. Механизм роста нанотрубок до сих пор не до конца ясен.

Между тем, некоторые эксперты считают, что исследователи и производители УНТ недооценивают риски, связанные с их массовым производством, которое может серьезно повлиять на мировую экологию. Детальный анализ самого распространенного CVD-метода производства нанотрубок показал наличие как минимум 15 ароматических углеводородов, в том числе 4 токсичных полициклических углеродных соединения. Наиболее вредным в составе побочных продуктов производства был признан полициклический бензапирен, широко известный канцероген, действующий на ткани человека. Другие составляющие представляют собой прямую угрозу озоновому слою планеты. Поэтому на встрече Американского Химического Общества ученые предложили заняться поиском более экологически чистого метода производства нанотрубок. Либо же производителям придется серьезно "очищать" последствия CVD-техпроцесса, что, естественно, вызовет увеличение стоимости нанотрубок.

Производство нанопорошков. Промышленное производство большинства видов нанопорошков началось около 10 лет тому назад. До этого в промышленных количествах производились только кремнезем, глинозем и оксид железа. Научно-исследовательские институты и университеты выпускали в небольших объемах многие из ныне имеющихся нанопорошков для применения в наноисследованиях. Несмотря на широкий ассортимент доступных в настоящее время нанопорошков, всего лишь некоторые из них производятся в промышленных масштабах и подлежат конкурентному ценообразованию.

Цены на порошки значительно разнятся от производителя к производителю. У большинства производителей порошков нет преискурантов цен, поскольку цена на порошок прежде всего зависит от количества и только во-вторых от качества, и составляет 60 – 150 долларов за 1 килограмм. Высокая цена (500 – 1500 долл./кг) на некоторые специальные порошки (цирконий, серебро, индий-оловянные окислы) объясняется сочетанием высокой стоимости сырья и низким объемом производства. Средний заказ на такие порошки находится в пределах от 1 до 10 кг.

По всему миру производится более сотни различных видов порошков. Все нанопорошки, которые производятся в настоящее время, подразделяются на четыре группы: оксиды металлов, сложные оксиды (состоящих из двух и более металлов), порошки чистых металлов и смеси. Оксиды металлов составляют не менее 80% всей массы производимых порошков. Порошки чистых металлов составляют значительную (15 %) и все возрастающую долю всего объема производства.

Мировое производство нанопорошков распределено неравномерно. Многие страны, такие как Бразилия, Южная Африка, Россия и Австралия, являются крупными производителями сырья, но не производят наночастицы в значительных объемах. Сейчас только развитые в промышленном отношении страны стали производить наноматериалы в коммерческих количествах. Большинство из стран-производителей наноматериалов сильно зависят от импорта сырья. На США приходится более половины производства нанопорошков.

Такие отрасли промышленности как электроника, оптика и обрабатывающая промышленность потребляют более 70 % мирового производства порошков. Медицина и косметическая промышленность потребляют только 7 % нанопорошков. Нанопорошки используют для получения автомобильных нейтрализаторов (12 тыс. т), абразивов (9 тыс. т), материалов для магнитной записи (3 тыс. т), солнцезащитных материалов. По прогнозам, к 2010 г. рынок нанопорошков должен достигнуть 11 млрд долл.

В базе данных нановеществ, производимых в мире, содержится информация о более чем 1400 веществах, разбитых по 22 областям применения (Исследовательская компания Abercade).

Цены на порошки значительно разнятся от производителя к производителю. У большинства производителей порошков нет преискурантов цен, поскольку цена на порошок прежде всего зависит от количества и только во-вторых от качества. Текущая высокая цена на некоторые специальные порошки объясняется сочетанием высокой стоимости сырья и низким объемом производства. Средний заказ на такие порошки находится в пределах от 1 до 10 кг.

Согласно прогнозам компании IMS Health, доля **биотехнологических препаратов**, которые производятся с использованием тех-

нологий генной инженерии, выросла на мировом фармацевтическом рынке с 6 % в 1999 г. до 14 % в 2009 г. [4.25]. Годовой объем продаж достиг \$90 млрд. Если общемировой объем продаж фармацевтических препаратов растет с темпом 7 % в год (составив \$ 602 млрд. в 2005 г.), то продажи биотехнологических препаратов растут с темпом более 17%. Благодаря новым подходам к разработке лекарственных препаратов в последние годы мы стали свидетелями революционных прорывов в лечении таких заболеваний как рак, рассеянный склероз, ревматоидный артрит, сахарный диабет, ВИЧ и др. В результате, такие компании, как Genentech, Amgen (**AMGN**), Biogen (**BIB**), Amylin (**AMLN**), за короткий срок из небольших малоизвестных компаний превратились в лидеров мирового фармацевтического рынка (табл. 4.7). Напротив, такие типичные представители фармацевтического сектора как Pfizer (**PFE**), Merck (**MRK**), Bristol-Myers Squibb (**BMJ**) оказались в затруднительном положении из-за проблем с пополнением портфелей препаратов новыми перспективными разработками и скандалов, связанных с побочными эффектами своих важнейших продуктов. Американский биотехнологический рынок имеет стратегическую важность для всего мирового рынка биотехнологической продукции. По различным оценкам он составляет 42 – 45 % мирового рынка.

Наибольшую долю доходов глобального рынка **наноматериалов** в краткосрочной перспективе получают, по мнению экспертов, нанопорошки из оксидов и металлов. Расширяющийся спрос на такие наноматериалы, как одностенные нанотрубки и дендримеры, в настоящее время существенно способствует росту объема рынка. Среди сегментов конечного спроса на рынке наноматериалов по доходам доминируют здравоохранение и электроника. Электроника на сегодня является крупнейшим потребителем наноматериалов, но здравоохранение является наиболее перспективным и многообещающим.

Журнал *Forbes* уже несколько лет публикует список лучших потребительских нанопродуктов года (последний такой список – за 2005 г.) [4.26]. В рейтинге лучших 10 нанопродуктов за 2005 г. представлены новые разработки: **очиститель воздуха** на основе нанопорошкового агента (диоксида титана) от компании NanoTwin Technologies из города Салем, штат Нью-Гэмпшир; высокоплотная

и долговечная водоэмульсионная **краска** от Behr на основе технологии NanoGuard; оконное самоочищающееся **стекло** от компании Pilkington («активное стекло»), покрытое светоактивной пленкой толщиной в несколько десятков нанометров; полиэстеровые **«наноноски»** ArcticShield Socks от ARC Outdoors, устойчивые к образованию запаха благодаря серебряным наночастицам размером 19 нанометров в структуре волокон ткани; повседневная **одежда в стиле Нано** от Nanotex, позиционируемое как новейшее достижение текстильной промышленности, обладающее рядом ценных свойств (поглощение влаги и быстрая высыхаемость, превосходные антибактериальные свойства, предотвращение неприятных запахов); **бейсбольная бита** Easton Stealth CNT на основе технология «углеродной нанотрубки» (carbon nanotube technology); **фуллереновый крем** для лица C-60 от компании Zelens с антиоксидантными свойствами; **шоколадная жевательная резинка** Choco'la от O'Lala Foods, обладающая более мягкой консистенцией и шоколадным вкусом благодаря технологии наноинкапсуляции – заключения вещества в микроскопическую оболочку; **растительное масло** Canola Active от Shemen Industries (Canola – сорт генно-модифицированного рапса). В состав масла входят 30-нанометровые капсулы, которые, благодаря своему малому размеру, легко проникают в ткани и эффективнее доставляют питательные вещества к месту их потребления. В Canola Active эти наноструктуры служат для более эффективного усвоения фитохимических («растительных») веществ – фитостеринов. Наконец, миниатюрный **флэш-плеер** iPod Nano от Apple Computer с необычайно большим объемом памяти в 4 гигабайта. Электронную начинку iPod Nano составляют микрочипы от Samsung и Toshiba. Южнокорейская компания Samsung, которая сейчас является крупнейшим в мире производителем чипов флэш-памяти NAND и DRAM, использует при производстве полупроводниковые технологии с прецизионным уровнем точности производственных манипуляций – ниже 100 нанометров.

В табл. 4.8 представлены объемы производства нанопродукции различных секторов наноэкономики. Как видно, в настоящее время наибольший объем нанопродукции приходится на строительные материалы и косметику.

Таблица 4.7

**Биотехнологические компании, имеющие в портфеле коммерческие препараты
на основе геной инженерии [4.25]**

Компания	Рыночная капитализация, млрд. долл	Среднегодовой рост доходов за последние 5 лет, %	Основные препараты и показания к их применению	Соглашения о партнерстве с компаниями
Genentech (<u>DNA</u>)	85,8	32	Rituxan (онкология) Herceptin (онкология) Avastin (онкология) Activase (тромболитик) Protropin (гормон роста) Xolair (бронхиальная астма) Lucentis (потеря зрения) Rapiva (псориаз)	Hoffmann-La Roche, Biogen, Bayer (<u>BAY</u>), Boehringer Ingelheim, GlaxoSmithKline (<u>GSK</u>), MedImmune, Tanox, Novartis (<u>NVS</u>), Celltech Pharmaceuticals, Connetics Corporation, Serono
Amgen (<u>AMGN</u>)	81,1.	28	Atanesp (анемия) Erogen (анемия) Neulasta (анемия) Neupogen (анемия) Enbrel (ревматоидный артрит, псориаз)	Wyeth (<u>WYE</u>), Ortho Pharmaceutical
Genzyme (<u>GENZ</u>)	17,4	29	Serezyme (болезнь Гоше) Fabrazyme (болезнь Фабри) Aldurazyme (Мукополисахаридоз) Thymoglobulin (иммуносупрессор)	BioMarin Pharmaceutical

Окончание табл. 4.7

Компания	Рыночная капитализация, млрд. долл	Среднегодовой рост доходов за последние 5 лет, %	Основные препараты и показания к их применению	Соглашения о партнерстве с компаниями
Biogen (<u>BIB</u>)	14,2	73	Авопек (рассеянный склероз) Тузабри (рассеянный склероз) Ритухан (онкология) Zevalin (онкология) Амевиве (псориаз)	Genentech, Elan Corporation, Schering AG (<u>SHR</u>), PDL BioPharma (<u>PDL</u>), Sunesis Pharmaceuticals, Vetter Pharma-Fertigung, Genoptix, Vernalis
Serono (<u>SRA</u>)	12,0	16	Rebif (рассеянный склероз) Gonal-f (фолликулостимулирующий гормон) Saizen (гормон роста)	BioMarin Pharmaceutical, Genentech
Medimmune (<u>MEDI</u>)	6,1	18	Synagis (вирусная пневмония) СytoGam (цитомегаловирусная инфекция)	Abbott Laboratories (<u>ABT</u>), Schering-Plough (<u>SGP</u>)
Amylin (<u>AMLN</u>)	6,0.	586 (за 12 мес.)	Вуетта (сахарный диабет) Symlin (сахарный диабет)	Eli Lilly (<u>LLY</u>)
Imclone (<u>IMCL</u>)	2,8	127	Erbitux (онкология)	Brystol-Myers (<u>BMY</u>), Merck KGaA
BioMarin (<u>BMRN</u>)	1,2	21	Aldurazyme (Мукополисахаридоз) Naglazyme (Мукополисахаридоз)	Serono, Genzyme
Tanox (<u>TNOX</u>)	0,619	28	Xolair (бронхиальная астма)	Genentech, Novartis
Trimeris (<u>TRMS</u>)	0,214	61	Fuzeon (СПИД)	Hoffmann-La R

По данным фирмы VCC research, мировой рынок нанотехники в 2007 г. составил почти 12 млрд. долларов [4.28]. Далее ожидается увеличение рынка при среднегодовом приросте в 16 %. Рынок распределяется по сферам применения на наноматериалы, наноинструменты (включая нанолитографические установки, используемые для производства следующего поколения полупроводниковых приборов) и наноустройства (рис. 4.17 – 4.19). По оптимистическим расчетам фирмы VCC research ожидается, что рынок наноинструментов будет расти гораздо быстрее рынка наноматериалов (рис. 4.18). В результате доля наноинструментов увеличится в 2013 г. до 29 %, а доля наноматериалов снизится до 69 %. Наибольшие темпы роста характерны для сектора различных наноустройств (наномеханизмов) – 69 % в год. Среди конечных потребителей нанопродукции в 2007 г. были: защита и контроль окружающей среды (56 % рынка), электроника (21 %) и энергетика (14 %). В ближайшие 5 лет наноэлектроника, нанобиомедицина и потребительские товары (бытовая техника) на основе нанотехнологий будут развиваться наибольшими темпами (35, 56 и 46 % соответственно). Более медленным ожидается развитие наноэнергетики (13 %) и средств контроля и защиты окружающей среды (1,5 %). Мировой рынок нанороботов и NEMS-систем (наноэлектромеханических устройств) возрастет с 40 до 830 млн. долларов в 2011 г. при среднегодовом приросте 83 %. В 2011 г. доля нанооборудования составит 9 %, а доля нанороботов составит 67 % от общего рынка.

Таблица 4.8

Глобальные производственные показатели для различных наноматериалов и устройств, основанных на обзорах в международных химических журналах (2003-2004) и исследованиях рынка [4.27]

Сфера применения	Материал, устройство	Оценки объемов выпуска, тонны в год		
		2003	2005–2010	2011–2020
Использование в строительстве	Керамика, катализаторы, композиты, покрытия, тонкие пленки, порошки, металлы	10	1000	10000–100000

Сфера применения	Материал, устройство	Оценки объемов выпуска, тонны в год		
		2003	2005–2010	2011–2020
Нанокосметика	Оксиды металлов (диоксид титана, оксид цинка, оксид железа)	1000	1000	1000 или меньше
Электроника	Однослойные нанотрубки, наноэлектроника, оптоэлектронные материалы (диоксид титана, оксид цинка, оксид железа), органические светодиоды	10	100	1000 или больше
Биотехнологии	Наноинкапсуляция, целенаправленная доставка лекарственных средств, биосовместимые устройства, квантовые точки, композиты, биосенсоры	Менее 1	1	10
Инструменты, сенсоры	МЭМС, НЭМС, микроскопы со сканирующим зондом, нанолитография, инструменты для прямой записи	10	100	100-1000
Окружающая среда	Нанофильтры, мембраны	10	100	1000-10000

Опыт западных компаний показывает, что самый быстрый путь к коммерциализации лежит через рынок потребительских товаров (рис. 4.20) [4.29]. Примерами могут послужить такие успешные и известные предприятия, как американские *Angstrom Medica* (основана в 2001 г. как спин-офф лаборатории исследования наноструктурных материалов Массачусетского технологического института), выпускает нанобиопродукты для ортопедии); *NanoSpectra Biosciences, Inc.* (основана в 2001 г. для коммерциализации разработок ученых Райсовского университета), выпускает наночастицы, используемые в диагностике и лечении различных заболеваний, в частности, онкологических; *Aspen Aerogel, Inc.* (основана в 2001 г.

для коммерциализации разработок, выполненных лабораторией Aspen Systems для NASA) – мировой лидер в производстве аэрогелей – нанопористых материалов для звуко- и теплоизоляции; *ZettaCore, Inc.* (основана в 1999 г. учеными из Калифорнийского университета в Риверсайде и университета Северной Каролины при поддержке венчурного капитала), производит микросхемы памяти; британская *Nanomagnetics Instruments, Ltd.*, немецкая *Capsulation Nanoscience AG* и ряд других. По данным Комиссии безопасности потребительских товаров США (US Consumer Product Safety Commission – CPSC) за два года (к январю 2008 г.) число таких товаров возросло с 212 до 609, причем они произведены в 321 компании 20 стран [4.31].

По оценкам Европейской комиссии (2006 г.) потребуется около 2 миллионов работников для мировой наноиндустрии к 2015 г. [3.30]. Их распределение по регионам мира ожидается таким: до 0,9 млн в США, до 0,6 млн в Японии, до 0,4 в Европе, около 0,2 млн в Азиатско-Тихоокеанском районе (исключая Японию) и около 0,1 млн в остальном мире (включая Россию). Дополнительно потребуется около 5 млн рабочих мест в поддерживающих отраслях, т.е. 2,5 рабочих места на одного работника наноиндустрии. Более оптимистические прогнозы давали 10 млн рабочих мест к 2014 г. (рис. 4.21).

4.4. Индикаторы распространения нанотехнологий в производственной сфере

4.4.1. Объемы инвестиций в развитие нанотехнологий

В США «движущей силой» развития нанотехнологий является государство. Так, с 2001 г. в стране реализуется федеральная программа под названием «Национальная нанотехнологическая инициатива» (NNI) с годовым бюджетом в размере 1 млрд. долл. В состав NNI входят 23 государственных организации. Реализация программы NNI позволяет правительству США решить ряд важнейших задач, таких, как поддержка НИОКР в области нанотехнологий и коммерциализация результатов НИОКР бизнес-структурами. Кроме того, в США реализуется постановление правительства «Об исследовании и развитии нанотехнологий в XXI веке» (21st Century

Nanotechnology Research and Development Act), направленное на укрепление лидерства в области экономики и техники путем обеспечения устойчивой, долгосрочной поддержки исследований в данной сфере. В соответствии с этим документом пять государственных организаций – Национальный научный фонд, Министерство энергетики, Национальный институт стандартов и технологий, NASA, Управление по охране окружающей среды – получили от государства финансирование в размере \$ 3,7 млрд. сроком на 3 года для проведения НИОКР в области нанотехнологий. Как следует из рис. 4.22 – 4.27, с 2000 г. средства, выделяемые правительством США на развитие нанотехнологий, постоянно росли. Помимо федерального бюджета США немалые деньги вкладываются в нанотехнологии и через бюджеты различных штатов. Финансирование различных наноразработок заложено в бюджетах 63 % ведущих американских корпораций, включенных в список Dow Jones Industrial Average.

В настоящее время финансирование нанотехнологий в США, Европе и Азии выравнивается, причем вклад корпораций (частного бизнеса) в финансирование работ по нанотехнологиям постоянно растет (рис. 4.25 – 4.28). Уже в 2005 г. объем корпоративного финансирования нанотехнологий в США и Японии превышал объем государственного финансирования. Ранговое распределение на рис. 4.24 и 4.5 показывает, что по объему государственного финансирования Россия занимала в 2007 г. 8 – 9 места, а по объему корпоративного финансирования 19 – 20 места. Отметим, что эти распределения приблизительно соответствуют рангу России в распределениях числа научных публикаций и патентов (см. рис. 4.4 и 4.9).

По оценкам US NanoBusiness Alliance, уже сейчас начинается активный дележ рынка нанотехнологий между странами, а передел его закончится к 2015 г. Прогнозируется, что США займет 30 % рынка нанотехнологий (прирост – 3 % в сравнении с 2007 г). У Японии — 25 % (плюс 1 %), у стран Западной Европы — 20 % (минус 5 %) с преобладающим вкладом Германии, Великобритании и Франции. Остальное распределено между Китаем, Россией, Южной Кореей, Канадой и Австралией (минус 10 %). Таким образом, США и Япония, согласно прогнозам, сохранят свои лидирующие позиции на рынке, при снижении на нем удельного веса Западной Европы, Азии и ряда других стран.

Анализ 357 компаний из обзора Fecht et al., 2003 г. [4.30] показывает, что нанобиотехнологии будут доминировать в структуре nanoиндустрии США, Германии и Великобритании. Согласно тому же докладу нанобиотехнологический сектор является наиболее притягательным для венчурного капитала и занимает в объеме инвестирования больше половины всех средств. Биотехнология является одним из наиболее наукоемких секторов промышленности в мире, исследовательская составляющая которого является не дополнительным фактором развития, а главным и основополагающим. Так, в США в 2006 г. в исследования инвестировали \$ 27 млрд только в представленные на публичном рынке биотехнологические компании. По данным BioWorld [www.bioworld.com], биотехнологии привлекли более \$ 25 млрд для инвестиционного финансирования в 2007 г. и собрали более \$ 100 млрд за пятилетний период 2003 – 2007 гг. Как видно на диаграмме рис. 4.29, большая часть всего финансирования исследований и разработок в биотехнологическом секторе отводится на медицину. Сумма инвестиций в биотехнологические науки только университетов США с 2003 по 2010 гг. составляет более 3.5 млрд долларов. Среди университетов США приняты специальные программы для поощрения и стимулирования развития биотехнологических проектов, включая стадию коммерческого внедрения и первой стадии развития компаний, причем роль именно университетов как источников талантливых исследователей и партнеров инновационного бизнеса общепризнанна.

Ожидаемый объем нанорынка по различным направлениям в 2015 г. представлен на рис. 4.29. Как видно, большую часть рынка займут наноматериалы и наноэлектроника. Рост рынка всей электроники в среднем составляет около 7 % за год (что выше темпов развития, например, автомобильной промышленности). В то же время за последние два десятилетия средняя скорость роста рынка **лазеров на полупроводниковых наногетероструктурах** составляет 34 %, а в пиковые годы зашкаливал за 100 % (рис. 4.30). В 2000 г. рынок гетеролазеров соответствовал рынку всей полупроводниковой промышленности за 1980 г. Как следует из рис. 4.30, гетеролазеры становятся ключевым элементом рынка. Рост полупроводниковой промышленности до 300 млрд долларов в 2000 г. был обусловлен развитием Интернета. Сейчас полупроводниковые лазеры

в основном применяются в телекоммуникационном секторе, что составляет около 70 % всего рынка. Лидером в производстве нанолазеров остается Япония, за которой с небольшим отрывом идут США. Быстрыми темпами развивается рынок светодиодов (рис. 4.31).

По оценкам Lux Research (2004 г.) доля продукции наноиндустрии составит 4 % от всей промышленной продукции в 2014 г., причем с использованием нанотехнологий будут производиться 100 % компьютеров, 85 % – бытовой электроники, 23 % – фармацевтики и 21 % – автомобилей.

4.4.2. Объемы производства метрологического оборудования

О важности метрологии свидетельствует наименование ежегодной научно-практической конференции «Точность рождает качество». Наноструктуры являются многочастичными системами, крайне редко поддающимися аналитическому исследованию. Поэтому теоретические исследования нанотехнологий и управление ими требуют использования математического моделирования с большим объемом вычислительной работы. Прогресс в области моделирования нанотехнологий, требующего использования колоссальных вычислительных ресурсов, связывается с разработкой в настоящее время квантовых компьютеров. Квантовая информатика является **первой сопряженной базовой технологией**, способной обеспечить ускорение развития нанонауки и нанотехнологий. О квантовых компьютерах коротко сказано в главе 3.

Экспериментальные исследования нанотехнологий проводятся с помощью уникальных установок:

- сканирующих и трансмиссионных электронных микроскопов (SEM, TEM),
- атомных силовых и сканирующих туннельных микроскопов (AFM, STM),
- установок магнито-резонансной силовой микроскопии (MRFM)
- и других экспериментальных методик.

Создание соответствующей приборной базы является **второй сопряженной с нанотехнологиями базовой областью**, необходимой для ее развития.

В то время как электронный микроскоп остается важным инструментом для множества измерений, с приближением технологии к наномасштабу его все чаще дополняют сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ), а растущая плотность упаковки элементов требует метрологической информации в трех измерениях. Основа нанометрологии – прецизионное позиционирование. Размеры и количество элементов, например, в интегральных схемах и магнитных устройствах записи данных, а значит, и тактико-технические характеристики продукции, прямо обусловлены достигнутым уровнем точности позиционирования и обработки поверхностей. Это в свою очередь определяет размеры оборудования, требуемого для производства схем и записи на носители, его массу, скорость, энергоемкость и стоимость.

С момента изобретения Г. Биннингом и Г. Рорером первого варианта сканирующего туннельного зондового микроскопа в 1982 г. прошло всего 25 лет, но за это время он превратился в один из мощнейших инструментов нанотехнологии. Сейчас известны десятки различных вариантов зондовой сканирующей микроскопии (SPM – scanning probe microscopy). Как видно из названия, общее у этих методов – наличие зонда (чаще всего это хорошо заостренная игла с радиусом при вершине ~ 10 нм) и сканирующего механизма, способного перемещать его над поверхностью образца в трех измерениях. Грубое позиционирование осуществляют трехкоординатными моторизованными столами. Тонкое сканирование реализуют с помощью трехкоординатных пьезоактюаторов, позволяющих перемещать иглу или образец с точностью в доли ангстрема на десятки микрометров по осям x и y , и на единицы микрометров – по z . Все известные в настоящее время методы SPM можно условно разбить на три основные группы:

- сканирующая туннельная микроскопия; в ней между электропроводящим острием и образцом приложено небольшое напряжение ($\sim 0,01 - 10$ В) и регистрируется туннельный ток в зазоре, зависящий от свойств и расположения атомов на исследуемой поверхности образца;
- атомно-силовая микроскопия; в ней регистрируют изменения силы притяжения иглы к поверхности от точки к точке. Игла расположена на конце консольной балочки (кантилевера), имеющей известную жесткость и способной изгибаться под действием не-

больших ван-дер-ваальсовых сил, которые возникают между исследуемой поверхностью и кончиком острия. Деформацию кантилевера регистрируют по отклонению лазерного луча, падающего на его тыльную поверхность, или с помощью пьезорезистивного эффекта, возникающего в самом кантилевере при изгибе;

- ближнепольная оптическая микроскопия; в ней зондом служит оптический волновод (световолокно), сужающийся на том конце, который обращен к образцу, до диаметра меньше длины волны света. Световая волна при этом не выходит из волновода на большое расстояние, а лишь слегка «вываливается» из его кончика. На другом конце волновода установлены лазер и приемник отраженного от свободного торца света. При малом расстоянии между исследуемой поверхностью и кончиком зонда амплитуда и фаза отраженной световой волны меняются, что и служит сигналом, используемым при построении трехмерного изображения поверхности.

Зондовыми методами можно исследовать разнообразные материалы: проводящие, диэлектрические, биологические и другие. Они могут использоваться для локального определения атомных конфигураций, магнитных, электрических, тепловых, химических и других свойств поверхности. Особенно интересны попытки зарегистрировать спин-зависимые явления, определяющие величину туннельного тока в зависимости от поляризации одного-единственного электрона в атоме на исследуемой поверхности. Это прямой путь к решению задач одноэлектроники и спинтроники. Очень важно, что помимо исследовательских функций сканирующая туннельная микроскопия может выполнять еще и активные – обеспечивать захват отдельных атомов, перенос их в новую позицию, атомарную сборку проводников шириной в один атом, локальные химические реакции, манипулирование отдельными молекулами.

Рынок сканирующих зондовых микроскопов, являющихся базой для проведения наноразработок, динамично развивается с темпом роста примерно 13 % в год. Объем мирового рынка составляет примерно 150 млн долл. (для сравнения – общий объем нанорынка – 11,6 млрд. долл.). Производством оборудования (инструментария) для нанотехнологий занимаются более двух десятков компаний. Наиболее активными из них являются Veeco и Asylum Research (обе из США), Seiko (Япония) и Компания НТ-МДТ (Россия,

г. Зеленоград). Компания Veeco (США) – ведущий мировой производитель оборудования для исследования поверхности на наноровне: сканирующих зондовых микроскопов, механических и оптических профилометров и др.

В России несколько компаний производят нанооборудование. Из общего количества предприятий России, занимающихся исследованиями в сфере нанотехнологий, всего около 4 % разрабатывают приборы для обеспечения этих исследований. Наиболее успешной компанией, производящей оборудование для нанотехнологий, является NT-MDT (г. Зеленоград). Продуктовая линейка включает 4 модельных ряда (платформы), а также широкий ассортимент аксессуаров и расходных материалов: комплекс «НаноФаб 100», платформа ИНТЕГРА, платформа СОЛВЕР, платформа НАНО-ЭДЬЮКАТОР, СЗМ зонды и пр. (рис. 4.32). Комплекс «НаноФаб 100» состоит из отдельных высоковакуумных и сверхвысоковакуумных аналитических или технологических модулей, каждый из которых реализует групповой или локальный метод нанотехнологии на стомиллиметровой пластине, в частности методы зондовой микроскопии, фокусированных ионных пучков, электронной микроскопии, молекулярно-лучевой эпитаксии, импульсного лазерного осаждения, плазменные технологии. Платформа включает более тридцати различных модулей и постоянно расширяется.

Имея представительства в 52 странах, компания NT-MDT постоянно наращивает объемы продаж (рис. 4.33), увеличив их за 10 лет более чем в 30 раз. В 2007 г. на долю NT-MDT пришлось 20 – 30 % стоимости всех проданных СЗМ-приборов в Западной Европе. Успешно инсталлировано почти 2000 приборов в большинстве научных и промышленных центров Европы, Азии и Северной Америки. Выработка в компании составляет 5,5 млн. руб в год на человека. Инвестиции в разработки составляют 15 – 20 % от годового оборота. Важно отметить роль государства в развитии компании: в 2003 г. NT-MDT выиграла инновационный конкурс Минпромнауки и получила инвестиции в размере 400 млн руб. на три года. Благодаря этому удалось создать большую группу продукции, позволяющую успешно конкурировать на мировом рынке.

В концерне "Наноиндустрия" (www.nanotech.ru/cn/t/nano.php) был разработан на базе СЗМ нанотехнологический комплекс «Умка». Он представлен в 3-х разновидностях: базовая («учебная»),

«низковольтная» и «газонаполненные» модели. Основные поставщики – некоторые ВУЗы, лаборатории, исследовательские центры. К настоящему времени продано около 50 установок «Умка». Компания «СМ-Консалт» осуществила разработку нового программного обеспечения для нанотехнологического комплекса «УМКА», что существенно упрощает использование комплекса, повышает качество визуализации образцов и снижает квалификационные требования к начальной компьютерной подготовке пользователей за счет упрощения пользовательского интерфейса и более оптимальной работы.

В ООО «Диагностика–М» (Москва) разработан просвечивающий рентгеновский микроскоп (ПРМ) для максимального напряжения 100 кВ на разборной трубке с собственной системой откачки и фокусным пятном 0,1 мкм при 20 кВ. Специализированный под нанообъекты микроскоп на низких ускоряющих напряжениях (5 – 25 кВ) может быть выполнен в настольном варианте при небольших габаритных размерах и весе.

Компания «АИСТ-НТ» (г. Зеленоград) разработала новый полностью автоматизированный СЗМ – SmartSPM, который позволяет автоматически настраивать регистрирующую систему, подводить зонд к образцу и устанавливать параметры сканирования (www.aist-nt.ru).

О некоторых других средствах измерений в нанобласти. В области нанотехнологий появляются все более сложные задачи, что приводит к появлению новых требований к используемому оборудованию. Помимо оборудования, непосредственно изготавливаемого для исследований в сфере нанотехнологий, в России производятся (со времен СССР) установки, которые помимо общего назначения также могут использоваться в аттестации порошковых и компактированных наноматериалов, например, рентгеновский дифрактометр ДРОН-7 (ОАО «НПО «Буревестник»). В Технологическом институте сверхтвердых и новых углеродных материалов (Троицк) создан и используется не имеющий аналогов в мире прибор «НаноСкан» (www.ntcstm.troitsk.ru). Использование жесткого кантилевера и инденторов из материала тверже алмаза позволяет существенно расширить область исследуемых веществ и проводить исследования механических свойств и обработку поверхности алмаза и других сверхтвердых материалов. В настоящее время при-

бор используется в 12 научных организациях России, Германии, Японии, Америки. К 2012 г. будет достроен единственный в России реально продвинутый в реализации проект современного источника нейтронов постоянного действия – высокопоточный исследовательский реактор ПИК в Петербургском институте ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН (г. Гатчина, Ленинградская обл.), с помощью которого возможно существенное увеличение качества и количества исследований в области нанотехнологий в России.

Оптическая установка НТАСНІ в реальном времени выявляет, распознает и автоматически классифицирует дефекты в кристаллах кремния с разрешением 70 нм в области глубокого ультрафиолета [4.33]. В США создан лазерный комплекс, позволяющий независимо манипулировать сразу 200 нанообъектами в трех измерениях. Системы такого уровня требуют прецизионной обработки микроскопической оптики. Установка для производства микрооптики произвольной формы, созданная по заказу организаций DARPA, Raytheon и Lockheed-Martin, имеет многоосевую сверхточную систему обработки для формирования практически любой мыслимой оптической поверхности. Бесконтактный лазерный датчик положения и перемещения на линзах с ограниченной дифракцией, разработанный компанией OPTRA, позволяет измерять положение и смещения до 100 кГц в диапазоне 100 мкм с разрешением 15 нм с расстояния 3 мм практически для любого материала в широком диапазоне температур.

Двухфотонная трехмерная литография, разработанная по заказу МО США, позволяет создавать трехмерные структуры из любых материалов, от металлов до полимеров с разрешением менее 200 нм. Система автоматически вырезает сложные МЭМС, массивы сенсоров, актюаторы и микромашины. Также технология позволяет производить устройства трехмерной интегральной оптики, шаблоны фотонных кристаллов, мультиплексоры и демультимплексоры, оптические резонаторы высокой добротности и волноводы.

Для выращивания гетероструктуры заданной толщины с монокристаллическими гетерограницами и с заданным профилем легирования применяют Молекулярно-пучковую эпитаксию (МПЭ) или молекулярно-лучевую эпитаксию (МЛЭ) — эпитаксиальный рост в условиях сверхвысокого вакуума. В установках МПЭ (рис. 4.34)

имеется возможность исследовать качество пленок «in situ» (то есть прямо в ростовой камере во время роста).

Эллипсометр Nanofilm позволяет, измерять толщину пленок с вертикальным разрешением 0,1 нм на поверхности объектов произвольной формы с формированием высококонтрастной карты толщины с микрометровым горизонтальным разрешением (nanoustroystva.ru/metr).

Американская компания Zyvex Instruments, основанная в 1997 г., является лидером в производстве интегрированных (комплексных) систем для нанотехнологий в электронике (www.eltm.ru/index.sema). Точность позиционирования зондов составляет 5 нм, диаметр точки соприкосновения зонда – 20 нм. Компания Zyvex уже несколько лет производит системы наноманипуляторов с тремя степенями свободы для захвата, измерения, позиционирования и сборки микро- и нано- образцов. Грубое перемещение каждого манипулятора на 12 мм по трем осям с разрешением 100 нм. Точное позиционирование до 100 мкм с разрешением лучше 5 нм по осям и 360° с разрешением 6 мкрад вокруг оси. Применяется для НИОКР в энергетике (топливные ячейки, источники питания микроустройств), разработке материалов (композиты нового поколения, нанотрубки, наночастицы, изучение поверхности), электронике (полупроводники, хранение данных, разработка квантовых вычислений), биотехнологии (манипулирование клетками и изучение тканей). Микропривод на основе электротермических актюаторов обеспечивает контролируемое раскрытие и сжатие щипцов с амплитудой до 16 мкм и силой до 210 мкН. Для измерения таких величин ведутся работы по созданию наномасштабного эталона силы.

Самый передовой и мощный в мире электронный микроскоп, имеющий беспрецедентно высокое разрешение, смонтирован и запущен в Канадском Центре электронной микроскопии университета макмастер (Canadian Centre for Electron Microscopy at McMaster University), г. Гамильтон, Штат Онтарио [www.mcmaster.ca]. Разрешающая способность нового микроскопа Titan 80–300 Cubed позволяет проводить идентификацию атомов, измерять их химический статус и даже обнаруживать электроны, связывающие эти атомы. Микроскоп изготовлен в Голландии компанией FEI и стоит 15 млн долларов США.

Появление нового микроскопа Titan 80–300 Cubed (в придачу к существующим криогенным системам) выдвигает Университет в лидеры Канады в области нанотехнологии и ставит их в число наиболее продвинутых nano исследовательских организаций в мире.

Исследователи Национального института стандартов и технологии США (NIST) и Университета им. Джонса Хопкинса (The Johns Hopkins University) сконструировали уникальный спектрометр для исследования свойств новых материалов (nano-info.ru/post). Прибор, получивший название MACS – Multi-Axis Crystal Spectrometer (Много-осевой кристалл-дифракционный спектрометр), имеет беспрецедентную чувствительность и быстродействие, что позволяет использовать его в экспресс-анализе наноматериалов в лабораторных и промышленных образцах. Образец материала облучается пучком нейтронов с низкой кинетической энергией, которые рассеиваются атомной решеткой материала образца в специфических направлениях и со специфическими скоростями, что и характеризует структуру и организацию атомов в материале. Анализ рассеяния нейтронов может многое сказать о физических свойствах материала. Используя MACS, можно получить детальную информацию, например, о магнитных свойствах материала, даже используя образец nano-структурированной тонкой пленки. MACS имеет 20 детекторов, расположенных полукругом за площадкой с образцом. Разработка спектрометра MACS производится при поддержке Национального Фонда научных исследований (National Science Foundation) США.

Таким образом, развитие квантовой информатики, экспериментальных «наноконструкций» и международных стандартов является необходимым условием прогресса нанотехнологий. Оценить развитие исследований в области нанотехнологий в экономику той или иной страны можно по тому, насколько развито в них создание теоретических и экспериментальных средств исследования наноструктур, ведутся ли в ней работы во всех вышеперечисленных направлениях, приближают ли созданные в них нанопродукты к достижению рекордных параметров технических устройств, в каких масштабах и в скольких областях используются нанотехнологии .

4.5. Индикаторы уровня экономической активности компаний, производящих и потребляющих нанопродукты

4.5.1. Динамика стоимости акций компаний на фондовых рынках

Оценка компаний, участвующих в том или ином бизнесе, производится двумя способами: по стоимости активов на основании бухгалтерской отчетности и по котировке акций на фондовом рынке. Акции (ценные бумаги) являются свидетельством наличия капитала у компании. Фондовый рынок позволяет капиталам уходить из застойных или недостаточно прибыльных отраслей и стекаться в наиболее перспективные секторы экономики. Поэтому эксперты банков и фондовых бирж разработали ряд специальных индексов для оценки «инновативности» (способности к созданию нововведений) различных компаний, производящих нанопродукты и ориентированных на подключение инвесторов к участию в развитии данного сектора экономики. Эксперты накануне кризиса (2008 г.) оценили ежегодные темпы роста акций в период до 2010 г. в пределах от 10 до 25 % для следующих пяти НТ-секторов

- наноматериалы,
- нано-ИТ-изделия,
- продукты медицинского назначения,
- наноинструменты/приборы,
- наноэнергетика.

Ниже более подробно исследованы нанобиотехнологические и наномедицинские компании. Так, за более чем 30-летнюю историю развития фондового рынка, из более чем 1500 биотехнологических компаний около 1000 (70) имеют уже определенную биржевую историю, то есть, оценены независимыми трейдерами и аналитиками фондового рынка. Среди порядка 300 нанобиотехнологических и наномедицинских компаний только 45 (15 %) к настоящему времени каким-то образом оценены фондовым рынком, а имеют более-менее достоверную историю – только 25 – 26 компаний (6 – 7 %). Остальные нанобиотехнологические и наномедицинские компании еще проходят либо стартовую, либо раннюю стадии развития.

Если следовать аналогии с развитием биотехнологического сектора – выход на рынок около 30 компаний в год – то нас ждет период массового выхода нанобиокомпаний передовых стран в ста-

дию экспансий, когда они будут стремительно развиваться и поглощать квалифицированную молодую рабочую силу. Россия существенно отстает в настоящее время от передовых стран в коммерциализации нанотехнологий. В этой ситуации для России огромной проблемой станет удержание собственных кадров для работы в молодых отечественных наноконпаниях, большинство из которых еще в стартовой стадии и работа в которых может не выдержать сравнения по многим показателям с аналогичными компаниями развитых стран. Для России, имеющей исторически хороший креативный потенциал, относительно низкая стоимость стартового этапа исследований позволяет сосредоточить множество поисковых исследований в университетах страны, учитывая их междисциплинарный характер (по образцу всех передовых стран), которые обеспечивали бы в первую очередь отработку идей, выполнение этих работ и обучение студентов.

Выполненный авторами кластерный анализ 24 компаний, занимающихся разработками в области нано-биомедицины (табл. 4.9), показал, что нанобиотехнологические компании разделяются на 7 групп (кластеров) по следующим показателям:

1. Market Capitalisation – произведение курсовой стоимости акций компании на число акций, составляющих ее акционерный капитал.

2. Book Value/Share – Балансовая стоимость на акцию – отношение акционерного капитала к общему числу обыкновенных акций. Балансовая стоимость на акцию отражает бухгалтерскую оценку стоимости акций, которая может не совпадать с рыночной оценкой.

3. Cash/Share – сумма наличных и их эквивалентов относительно одной акции.

Важно учесть, что весьма крупные компании, участвующие на фондовых рынках, имеют диверсифицированную продукцию, среди которой нанопродукция занимает не самую большую часть.

Из табл. 4.9 следует, что большинство компаний сектора нанобиотехнологий расположены в плотной области с рыночной капитализацией до 1 миллиарда долларов США и балансовой стоимостью до 16 долларов на акцию, с наличными средствами до 5,5 долларов на акцию. Очень мало крупных компаний, и экспоненциально быстро нарастает число компаний с малыми оборота-

ми, капитализацией и доходами. Из исследованных 24 нанобиотехнологических компаний ни одна не попала в кластер «крупные компании с отличными финансовыми показателями» и в кластер «раскрученные бренды, переоцененные рынком». Доля нанобиотехнологических компаний наибольшая среди компаний «твердых середняков» и «развивающихся компаний с большим наличным оборотом».

Таблица 4.9

Распределение нанобиокомпаний по кластерам в соответствии с их экономическими показателями на фондовом рынке (расчет авторов по данным www.yahoo.com)

Наименование нанобиокомпаний	Акционерный капитал (Market Cap.), млн.долларов	Балансовая стоимость акции (Book Value/Share), доллар	Наличные средства (Cash/Share), доллар
Твердые середняки (всего 55 биокомпаний)			
Affymetrix, Inc.	298	8,65	7,14
Amgen, Inc.	52 390	16,44	6,58
Invitrogen Corporation	2 540	18,91	7,14
Развивающиеся компании с большим наличным оборотом (16)			
Abraxis Bioscience, Inc.	2 460	29,94	17,63
Слабые компании с надеждой на рост (165)			
Albany Molecular Research, Inc.	441	10,14	3,26
Celera Corporation	860	7,79	4,17
Средние компании (107)			
Becton, Dickinson and Co.	17 120	17,89	2,75
Genzyme Corporation	17 510	24,86	3,56

Окончание табл. 4.9

Наименование нанобио- компаний	Акционерный капитал (Market Cap.), млн.долларов	Балансовая стои- мость акции (Book Value/Share), доллар	Наличные средства Cash/Share), доллар
Очень слабые компании с отрицательной доходностью (511)			
Acusphere, Inc.	25	0,51	0,56
Flamel Technologies SA (ADR)	145	2,27	1,71
IGI Laboratories, Inc.	14	0,28	0,06
ImaRx Therapeutics, Inc.	609 944	1,02	1,28
Introgen Therapeutics, Inc	21	0,36	0,57
Labopharm Inc.	46	0,79	1,14
MDRNA, Inc.	8	1,47	1,47
Novavax, Inc.	126	1,02	0,75
pSivida Corp.	17	1,65	0,85
QLT Inc. (USA)	186	2,95	1,70
Quantum Group, Inc.	5	- 4,61	0,26
Rexahn Pharmaceuticals, Inc.	59	0,12	0,13
RXi Pharmaceuticals Corporation	128	0,85	0,92
SeraCare Life Sciences, Inc.	28	2,72	0,51
SurModics, Inc.	473	7,21	1,45
Uluru Inc.	59	0,42	0,22
Крупные компании с отличными финансовыми показателями (4)			
Раскрученные бренды, переоцененные рынком (10)			

Как видно из рис. 4.35, 4.36, динамика биржевой истории компаний, позиционируемых на рынке нанопродукции, и, в частности, нанобиокомпаний, в целом близка к динамике индекса высоких технологий NASDAQ. Их биржевые истории отражают не столько ситуацию на рынке именно нанотехнологий, сколько глобальную ситуацию с наукоемкими компаниями, отличающимися весьма диверсифицированной продукцией. Падение индексов сейчас связано исключительно с мировым финансовым кризисом.

Чистая прибыль, общая выручка, расходы на исследования и разработки крупнейших нанобиотехнологических компаний США более чем в два раза превышают аналогичные показатели компаний Западной Европы. Причем рост этих показателей составляет не менее 5 – 8 % в год, несмотря на развивающийся во всем мире финансовый кризис. Эти данные коррелируют с ростом объема венчурного капитала, инвестируемого ежегодно в биотехнологии в США (рис. 3.36). Объем венчурных инвестиций в США за период 2002 – 2007 гг. в разработки, связанные со здоровьем человека (фармацевтика, терапевтические средства и т.п.), максимален и значительно превышает венчурные инвестиции во все остальные субсектора. Также весьма интересно, что темп венчурных инвестиций в биосектор вырос в период, захватывающий известный биржевой кризис высокотехнологичных компаний с 2000 по 2003 гг., когда индекс Nasdaq Composite упал почти на 80% к максимальному значению в начале 2000 г. (этот период выделен красной рамкой на рис. 3.37).

Это свидетельствует о том, что верно мнение экспертов о наличии интенсивных структурных сдвигов в экономике США, несмотря, а может быть, и благодаря современному финансовому кризису. Причем эти новые технологии и производства находятся на передовых рубежах современной науки, поглощают все больше ресурсов на НИОКР и эксплуатационные расходы. Причем, среди лидеров нового технологического уклада – именно нанобиотехнологические компании.

4.5.2. Фондовые индексы нанотехнологий (индексы инновативности)

Специально разрабатываемые фондовые индексы являются индикаторами взвешенного состояния нанокompаний с точки зрения

значительного числа финансовых аналитиков, инвесторов и трейдеров. Основная цель введения фондовых индексов – контролировать интегральные характеристики и тенденции развития соответствующего сектора рынка. Ниже приведен краткий обзор нескольких нанотехнологических индексов.

«**Индекс инновативности**». Специалисты одного из ведущих мировых банков – Credit Suisse (со штаб-квартирой в Цюрихе, Швейцария) – разработали несколько новых (банковских) продуктов на основе нового «Индекса инновативности» (способности к созданию нововведений) применительно к развитию нанотехнологий (НТ) и шире – наноиндустрии (НИ) в мировом масштабе (Credit Suisse Global Nanotechnology Index). Основная продекламированная предпосылка этих экспертов состоит в том, что в ближайшем будущем НТ/НИ окажется прорывным направлением в развитии экономики, науки и техники, и которые произведут революцию в повседневной жизни людей. В качестве одного из базовых критериев определено, что компании, отнесенные к сфере НТ, должны иметь более 10 % нанопродуктов в общем объеме продаж или обладать соответствующим сегментом рынка.

Специальный индекс (Credit Suisse Global Nanotechnology Index), далее SDY, ориентирован на подключение инвесторов к участию в развитии данного сектора экономики. Набор (банковских) продуктов на основе Credit Suisse Global Nanotechnology Index предлагает инвесторам доступ к 25 видам ценных бумаг в сфере НТ. Индекс корректируется каждые 6 месяцев с целью выявления новых компаний-лидеров рынка в каждом из секторов, а также для учета разного рода новых событий/изменений ситуации в данной области (выход на IPO, появление новых продуктов и т.п., рис. 4.38).

Merrill Lynch Nanotech Index (NNZ). Этот индекс представляет собой диверсифицированное отображение рынка нанотехнологий, торгуемых в Соединенных Штатах. Большинство компонентов (ценных бумаг) в индексе участвуют в следующих отраслях:

1. полупроводники;
2. биотехнологии;
3. приборы;
4. датчики;
5. диагностика;

6. разработки лекарственных средств;
7. геномика;
8. материалы.

Merrill Lynch Nanotech индекс строится на основании обзора компаний, поставляющих информацию в области нанотехнологий. Чтобы быть включенными в индекс, компании должны иметь значительную часть своей будущей прибыли, связанной с нанотехнологиями. Этот равновзвешенный индекс состоит из 25 активов нанотехнологических компаний. Составляющие индекса обновляются два раза в год по усмотрению Merrill Lynch. Компании, активно работающие в этой сфере, но не зависящие существенно от нанотехнологий (в силу диверсификации продукции), такие как IBM, GE и 3М – исключены из рассмотрения. Большую часть индекса составляют компании, относящиеся к производству инструментария (приборов), материалов, электроники и биотехнологий (табл. 4.10).

Таблица. 4.10

Разбитие индекса NNZ по отраслям

Sector	Companies	Percentage
Materials	7	28%
Instrumentation	5	20%
Biotech	4	16%
Semiconductors	3	12%
Imaging	2	8%
Venture Capital	2	8%
Energy	1	4%
Intellectual Property	1	4%
Total	25	100%
Sources: ML TechStrat and Factset		

Динамика изменения индекса является барометром ситуации на рынке нанотехнологических компаний (рис. 4.39).

The Lux Nanotech Index™. Это один из наиболее известных фондовых индексов, модифицированный равновзвешенный индекс, составленный из 26 компаний, торгующихся на бирже, деятельность которых ведется в области нанотехнологий (табл. 4.11). Индекс был создан компанией LUX Research, Inc и является ее торго-

вой маркой. Американская фондовая биржа выступает в качестве агента для расчета этого индекса. Значение индекса распространяется каждые 15 с в объединенной системе информации о сделках по ценным бумагам на Нью-Йоркской и региональных фондовых биржах в период с 9:30 утра и 16:15 вечера среднеамериканского времени под символом "LUXNI". Индекс имеет цель отслеживать эффективности наноконпаний по всем трем основным отраслям воздействия нанотехнологий:

- 1) материалы,
- 2) электроника и ИТ,
- 3) здравоохранение и биология.

Индекс включает в себя компании, которые участвуют в финансировании развития нанотехнологий, разработки прикладных исследований, производства товаров, поставки инструментов и приборов для нанотехнологических исследований. Чтобы быть включенным в индекс, компоненты должны удовлетворять следующим факторам.

1. Котироваться на Нью-Йоркской фондовой бирже и Американской фондовой бирже или котироваться на NASDAQ или Small Cap Market.

2. Обладать рыночной стоимостью не менее 75 млн. долл. США.

3. Среднесуточный объем торгов за последние три месяца не менее из 50000 акций.

Главное – логика цепочки создания стоимости конечного продукта – отделения наноматериалов и промежуточных продуктов от конечной продукции. Методика была введена в октябре 2004 г.

Таблица 4.11

Список компаний-компонентов индекса The Lux Nanotech Index™

Наименование	Аббрев	Сектор	Назначение
Accelrys	ACCL	Electronics and IT	Nanotools
Altair Nanotechnologies	ALTI	Materials and manufacturing	Nanomaterials
American Pharmaceutical Partners	APPX	Healthcare and life sciences	Nano-enabled products
Arrowhead Research	ARWR	[Proxy for multiple sectors]	[Proxy for multiple stages]

Окончание табл. 4.11

Наименование	Аббрев	Сектор	Назначение
Elan	ELN	Healthcare and life sciences	Nano-enabled products
FEI Company	FEIC	Electronics and IT	Nanotools
Flamel Technologies	FLML	Healthcare and life sciences	Nano-enabled products
Headwaters	HW	Materials and manufacturing	Nanointermediates
Nanophase Technologies	NANX	Materials and manufacturing	Nanomaterials
Nanosphere	NSCH	Healthcare and life sciences	Nano-enabled products
NVE	NVEC	Electronics and IT	Nanointermediates
Symyx Technologies	SMMX	Materials and manufacturing	Nanotools
Harris & Harris Group	TINY	[Proxy for multiple sectors]	[Proxy for multiple stages]
Veeco Instruments	VECO	Electronics and IT	Nanotools
Air Products & Chemicals	APD	Materials and Manufacturing	Nanointermediates
EI Du Pont de Nemours & Company	DD	Materials and Manufacturing	Nanointermediates
General Electric	GE	Materials and Manufacturing	Nano-enabled products
Hewlett-Packard	HPQ	Electronics and IT	Nano-enabled products
Intel	INTC	Electronics and IT	Nano-enabled products
International Business Machines	IBM	Electronics and IT	Nano-enabled products
Toyota	TM	Materials and Manufacturing	Nano-enabled products
3M	MMM	Materials and Manufacturing	Nanointermediates, nano-enabled products

Динамика вышеприведенного индекса нанотехнологий показана на рис. 4.40.

Каждый из представленных выше индексов представляет интерес как методика оценки фондовым рынком потенциала и перспективы развития соответствующих секторов инновационной экономики. Однако эти индексы включают лишь малую часть наноконкомпаний. Так, для нанобиотехнологических компаний – это 25 из 290, то есть 8,6 % от общего числа. Тем не менее, приведенные индексы, являясь ограниченным инструментом для оценок рынка, приспособлены к развивающимся нанотехнологиям и позволяют оценить тенденции их проникновения в экономику.

На рис. 4.41 представлена динамика группы индексов высокотехнологичных компаний с января 2008 г. по середину июня 2009 г., то есть за период обострения глобального финансового кризиса. Для наглядности все индексы были приведены к единице на начало 2008 г. Приведенные индексы характеризуются следующими данными:

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ИНДЕКС SP500 включает 500 крупнейших американских компаний, охватывающих практически весь спектр реального сектора экономики;

СЕКТОРАЛЬНЫЙ ИНДЕКС мировой экономики **NASDAQ Health Care Index (ИХС)** включает 481 компанию мира, основная сфера деятельности которых связана со здравоохранением и чьи ценные бумаги котируются на NASDAQ (заметим, что около 15% ВВП США связаны со здравоохранением);

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИНДЕКСЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ отдельные отрасли или группы специализированных предприятий. Это – индекс **NYSE Arca Biotechnology Index**, включающий 20 американских компаний-лидеров биотехнологической отрасли, чьи бумаги котируются на Нью-Йоркской бирже NYSE, и **ISE-CCM Nanotechnology Index**, включающий 20 крупнейших по рыночной капитализации компаний Америки, Европы и Азии, чья деятельность плотно связана с исследованиями и применением нанотехнологий в следующих сферах:

- Биотехнологии (Biotechnology),

- Химия (Chemistry),
- Физика (Physics),
- Информационные технологии (Information Technology),
- Техника (Engineering),
- Производство (Manufacturing).

Индекс рассчитывается компанией Cronus Capital Markets (CCM, США).

Как следует из рис. 4.41, индексы, связанные с высокотехнологичными компаниями, работающими в сфере здравоохранения NASDAQ Health Care Index (IXHC) и NASDAQ NeuroInsights Neurotech Index (NERV), перед началом кризиса показывают лучшую динамику, которая переходит в преимущество компаний, входящих в эти индексы. С марта 2009 г. эти индексы демонстрируют устойчивый рост, несмотря на продолжающийся кризис. Это обстоятельство свидетельствует о формировании сопряженных производств нового технологического уклада в экономике развитых стран мира.

4.5.3. Частота обращений СМИ к тематике наноиндустрии. Общественное внимание к нанотехнологиям

Степень общественного внимания к нанотехнологиям можно оценить, если построить временные зависимости упоминания определенных нанотехнологий в Интернете. Количество и динамика (временная зависимость) таких упоминаний отражают как рекламную деятельность наноконпаний, так и внимание общества к ним в силу экономических интересов и беспокойства о безопасности.

Для поиска упоминаний в Интернете нанотехнологий в качестве репрезентативного был выбран наиболее обширный набор нанотехнологий из их списочного определения. Такой набор нанотехнологий используется в Австралии (табл. 4.12). Динамика упоминаний некоторых из этих нанотехнологий за 10 лет с 1998 по 2008 гг. представлена на рис. 4.42.

Таблица 4.12

Набор нанотехнологий из их списочного определения Австралии

Наноматериалы	Нанопроизводство
Наномедицина	Нанотоксикология
Наноэлектроника	Наноэкология
Молекулярная электроника	Нанобиология
Органическая электроника	Квантовые компьютеры
Нанофотоника	Наноэнергетика
Нанобиотехнология	Наноправление
Нанофабрикация	Нанороботы
Нанометрология	Нановооружение

Полученные из Интернет данные дают следующие результаты.

По степени внимания (количеству упоминаний) лидируют:

- наноматериалы;
- наномедицина;
- наноэлектроника;
- молекулярная и органическая электроника;
- квантовые компьютеры;
- нанофотоника;
- нанобиотехнология.

Линейный рост демонстрируют: наноматериалы и нанобиотехнология. Ускоренный (экспоненциальный) рост характерен для более молодых направлений:

- наноэлектроника;
- органическая электроника;
- нанофотоника;
- нанофабрикация;
- наномедицина.

Логистической кривой (с насыщением) могут быть описаны:

- наноэкология;
- нанобиология;
- наноэнергетика.

Для молекулярной электроники и наноэнергетики линейный рост упоминаний сменяется резким увеличением: в 2008 г. для молекулярной электроники, а для наноэнергетики в 2005 г. происходит беспрецедентный, почти 6-кратный рост упоминаний, сменяющийся плато. В то же время органическая электроника и нано-

фотоника демонстрируют постоянно ускоряющийся рост упоминаний.

Таким образом, вышеприведенный анализ десятка индикаторов развития нанотехнологий показал, что темпы роста практически всех показателей превышают темпы роста ВВП во всех странах и достигают по ряду направлений 30 – 50 % прироста в год. В странах-лидерах (США, Япония, Европейский союз), где темпы развития nanoиндустрии особенно высоки, все возрастающую долю в финансирование наноразработок вносит бизнес. Причем в США доля бизнеса превышает долю государственного и местного (штатов) финансирования почти в полтора раза. Столь высокие темпы развития nanoиндустрии в ведущих странах практически по всем направлениям народного хозяйства свидетельствуют о том, что нанотехнологии становятся ключевым фактором нового технологического уклада экономики.

В России, несмотря на имеющиеся достижения и разработки в области nanoиндустрии, существует значительный разрыв между высоким качеством проводимых исследований, созданных научно-технологических заделов и низким уровнем инфраструктуры nanoиндустрии в стране и медленной коммерциализацией имеющихся разработок. По ряду показателей отставание России от мировых лидеров в этой области на 2007 г. составляло от 2 до 1000 раз. Слабая восприимчивость промышленности к разработкам в области нанотехнологий и примитивные стратегии финансовых структур в условиях перехода мировой экономики на инновационный путь развития являются главными сдерживающими факторами. Благоприятная обстановка с ценами на экспортируемое из России сырье не была использована для форсированного развития nanoиндустрии, которая сулит существенные конкурентные преимущества тем странам, где стратегия на инновационное развитие активно поддерживается государством и бизнесом. Природная рента, формирующаяся за счет экспорта энергоносителей и сырьевых товаров в объеме около 60 млрд. долларов в год, не была использована для структурной перестройки экономики на новой технологической основе, уйдя на погашение внешнего долга, накопление Стабилизационного фонда и другие формы вывоза капитала за рубеж.

Ускорение решения задач по развитию в России работ в области нанотехнологий и наноматериалов и освоение достигнутых результатов промышленностью возможно только при наличии масштабной и незамедлительной государственной поддержки в финансовой, организационной, кадровой, нормативно-правовой сферах.

Внедрение нанотехнологий в экономику не может быть основано просто на использовании достижений фундаментальной науки. Оно должно быть связано с активным и плодотворным сотрудничеством между бизнесом, промышленностью, наукой и государством. С целью получения максимального экономического эффекта от результатов исследований и разработок в области нанотехнологий, очень важно обеспечить своевременный их перевод в инновационную продукцию.

Среди разнообразных научно-технических достижений и перспективных идей в области нанотехнологий необходимо уже на начальной стадии исследований и разработок тщательно отобрать те, которые можно достаточно быстро внедрить в промышленное производство и продвинуть на рынок. Сделать их приоритетными и поддержать серьезными фундаментальными исследованиями.

Задача заключается не в том, чтобы построить бизнес, подходящий для нанотехнологий, а в том, чтобы создать нанотехнологии, подходящие для бизнеса.

Глава 5. СТАНОВЛЕНИЕ НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА В РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКЕ

Период замещения технологических укладов в лидирующих странах, отягощенных избыточными мощностями устаревшего ТУ, создает для отстающих стран окно возможностей для технологического рывка. Именно таким образом происходили «экономические чудеса» прошлого века. Основательно разрушенные после второй мировой войны экономики Японии и Западной Европы были восстановлены на основе нового для того времени четвертого технологического уклада, быстрый рост которого вывел их в мировые лидеры. Уже в 60-е годы Япония и новые индустриальные страны раньше других спрогнозировали контуры нового, пятого технологического уклада. Создав своевременный задел для развития его ключевого фактора – микроэлектроники – они опередили другие страны в модернизации его несущих отраслей и сумели вырваться вперед в ходе замещения четвертого технологического уклада пятым и обусловленного этим процессом структурного кризиса 70-х годов.

Еще раньше аналогичный рывок при переходе от второго технологического уклада к третьему был совершен Россией и США, вырвавшихся в число мировых лидеров в конце XIX столетия. Следующий рывок был совершен США в процессе замещения третьего технологического уклада четвертым, когда в результате структурного кризиса 30-х годов и последовавшей за ним второй мировой войны США захватили лидерство в мировой капиталистической системе. Россия, растерзанная революцией и гражданской войной, сошла с длинной волны экономического роста третьего технологического уклада. Последовавшие затем индустриализация и электрификация экономики, хотя и сократили разрыв с передовыми странами, но заложили относительно устаревшую технологическую структуру экономики. Значительная ее часть была воспроизведена после войны, что породило технологическую многоукладность советской экономики, отяжелившую ее структуру и сделавшую невозможным опережающее развитие на новых длинных волнах роста четвертого и пятого технологических укладов [5.1].

Происходящий сегодня процесс замещения пятого технологического уклада шестым вновь открывает для России возможности технологического рывка и опережающего роста на гребне новой длинной волны экономического роста. Необходимым для этого условием является своевременное создание заделов для становления ключевого фактора и ядра нового технологического уклада, а также опережающая модернизация его несущих отраслей. Ниже анализируются имеющиеся для этого предпосылки.

5.1. Предпосылки модернизации российской экономики

Разумеется, становление нового технологического уклада, как и развитие его ключевого фактора – нанотехнологий – происходит не на пустом месте. Предпосылки для этого создаются в ходе предшествующего периода технико-экономического развития.

Проведенный в [1.3] межстрановой количественный анализ траекторий технико-экономического развития показал, что техническое развитие нашей экономики проходило по той же траектории, что и других стран. При этом оно было существенно более медленным. Относительно более низкие темпы технического развития советской экономики объяснялись ее воспроизводящейся технологической многоукладностью, затруднявшей своевременное перераспределение ресурсов в освоение новых технологий. К началу 90-х гг. одновременное воспроизводство III, IV, и V-го технологических укладов, одновременно существовавших в советской экономической структуре, стабилизировалось. При этом, вследствие отсутствия механизма перераспределения ресурсов из устаревших технологических укладов в новый, расширение последнего происходило намного медленнее, чем в странах с развитой рыночной экономикой.

С переходом пятого ТУ в фазу роста технологическое отставание советской экономики стало быстро увеличиваться. Темпы роста отраслей пятого ТУ, начиная с 80-х годов прошлого века, в развитых и новых индустриальных странах достигали 25 – 30 % в год, в 3 – 4 раза превосходя темпы роста промышленного производства в целом [5.2], а вклад их в прирост ВВП достигал в 80 – 90-е годы 50 % [5.3, с.10]. Это свидетельствует о вступлении в тот период пятого технологического уклада в фазу быстрого роста, сопровож-

давшуюся быстрым повышением эффективности экономики. Сложившаяся к тому времени в СССР административная система экономического управления оказалась неспособна к структурной перестройке на основе нового технологического уклада. Это стало одной из причин распада Советского Союза и отказа от системы централизованного планирования народного хозяйства, что не привело, однако, к автоматическому формированию эффективных механизмов и институтов развития.

Важной предпосылкой становления нового технологического уклада является уровень развития предыдущего. Для измерения уровня развития пятого ТУ в России были использованы показатели производства товаров-представителей ядра пятого технологического уклада, а также показатели состояния несущих отраслей этого технологического уклада – насыщенности рынка средствами связи, вычислительной техникой, электроникой, а также плотность сети Интернет. Динамические ряды соответствующих показателей по России и другим странам обрабатывались методом главных компонентов, первым из которых является обобщенной характеристикой роста пятого ТУ (рис. 5.1, [1.11]). В отличие от развитых капиталистических стран, где с середины 80-х годов быстро расширялся V-й технологический уклад, темпы его роста в экономике СССР в это время резко упали.

Как было показано в [1.3], развитие производств четвертого технологического уклада происходило в СССР с запаздыванием (по сравнению с глобальной траекторией ТЭР) на три десятилетия. И сейчас, когда V-й ТУ перешел в фазу быстрого роста, величина его ядра в российской экономике в десятки раз ниже развитых стран, о чем свидетельствует производство изделий электронной техники в разных странах на душу населения (табл. 5.1). Доля России на мировом рынке электронной техники и ее компонентов составляет не более 0,1 – 0,3 %. Такую же долю (0,2 %) имеет Россия и на рынке информационных услуг, что в 25 раз меньше Китая и в 15 раз меньше Индии [5.4]. Не удивительно, что вклад информационно-коммуникационных технологий в экономический рост в России втрое ниже развитых стран и уступает даже Таиланду [5.5].

**Производство изделий электронной техники в разных странах
на душу населения, долл. [5.4]**

США	1260
Япония	1100
ЕС	500
Россия	14

Вместе с тем, по уровню развития одного из несущих направлений пятого ТУ – аэрокосмических технологий – Россия занимает одно из ведущих мест в мире. В частности, доля российских фирм на рынке космических запусков достигает трети [5.2]. Передовые позиции сохраняются на рынке военной авиатехники. Правда, доля доходов российских компаний на мировом рынке космических технологий составляет всего около 2 % [5.6].

Хотя в целом, информационный сектор в российской экономике развивается весьма динамично, его вес составляет всего 5-7% ВВП по сравнению с 30 – 45 % в развитых странах [5.3, 5.4]. При объеме мирового рынка программного обеспечения в 400 – 500 млрд. долл. в год отечественное участие в нем составляет чуть больше 200 млн. долл., т.е. 0,04 %.

Как следует из результатов измерений и имеющихся оценок, на сегодняшнем этапе роста пятого технологического уклада, достигшего фазы зрелости, его распространение в России происходит в несущих отраслях, в то время как ядро остается недоразвитым. «В отраслях, относящихся к ядру пятого ТУ, таких как производство изделий микроэлектроники и электронной техники, радиотехники, оптоэлектроники, гражданского авиастроения, высокосортной стали, композитных и новых материалов, промышленного оборудования для наукоемких отраслей, точного и электронного приборостроения, приборов и устройств для систем связи и современных систем коммуникаций, компьютеров и других компонентов вычислительной техники, по сравнению с уровнем 1990 – 1991 гг. произошел значительный спад», – констатирует академик Е.А. Федосов. «Отставание от мирового уровня в этих технологиях преодолеть очень трудно, даже при условии внушительных инвестиций» [5.7].

В фазе зрелости доминирующего ТУ преодоление технологического отставания в области его ключевых технологий требует колоссальных инвестиций, в то время как приобретение импортной техники позволяет быстро удовлетворять имеющиеся потребности. Соответственно это и происходит в нашей стране, о чем свидетельствуют показатели роста парка персональных компьютеров, числа пользователей Интернет, объема экспорта программных услуг и другие показатели расширения использования технологий пятого технологического уклада в его несущих отраслях с темпом около 20 – 50 % в год [5.8].

Из этого следует, что расширение пятого технологического уклада в России носит догоняющий имитационный характер. Расширение несущих отраслей пятого технологического уклада происходит на импортной технологической базе, что лишает шансов на адекватное развитие ключевых технологий его ядра. Это означает втягивание российской экономики в ловушку неэквивалентного обмена с зарубежным ядром этого технологического уклада, в котором генерируется основная часть интеллектуальной ренты.

Судя по анализу распространения нового (шестого) технологического уклада в разных странах, его развитие в России также идет с отставанием. Но это отставание происходит в начальной фазе развития и может быть преодолено в фазе роста. Для этого нужно до крупномасштабной структурной перестройки мировой экономики освоить ключевые производства ядра нового технологического уклада, дальнейшее расширение которого позволит получать интеллектуальную ренту в глобальном масштабе. Российская наука имеет достаточный для этого потенциал уже полученных знаний и весьма перспективные достижения, своевременное практическое освоение которых может обеспечить лидирующее положение российских предприятий на гребне очередной длинной волны экономического роста. Российским ученым принадлежит приоритет в открытии технологий клонирования организмов, стволовых клеток, оптикоэлектронных измерений. Проведенный выше обзор имеющихся научных результатов позволяет сделать вывод о том, что российский научно-технический потенциал располагают необходимыми предпосылками опережающего развития нового технологического уклада [5.9].

Проблемой остается своевременное практическое освоение имеющихся научно-технических заделов в ключевых направлениях становления нового технологического уклада. Хотя российская наука и образование имеют достаточный для этого кадровый потенциал, недостаток финансирования приводит к утечке умов и технологических знаний за рубеж. За время реформ уехало около 5 млн. специалистов – это больше, чем во время и после Гражданской войны [5.10]. По имеющимся данным, до половины выпускников российских вузов, специализирующихся в области молекулярной биологии и генетики, уезжают за рубеж. Приходится констатировать, что за исключением ядерной и авиакосмической промышленности, обладающих накопленными конкурентными преимуществами, российская промышленность не располагает механизмами освоения ключевых производств нового технологического уклада. Их скорейшее создание является решающим фактором будущего развития страны.

5.2. Борьба за глобальное лидерство в формировании нового технологического уклада

Смена технологических укладов, как уже указывалось, открывает возможности опережающего развития для стран, первыми осваивающими ключевой фактор нового ТУ. Формируя траекторию его роста, они получают возможность извлечения интеллектуальной ренты в масштабах мирового рынка, наращивая за счет этого свои конкурентные преимущества и обеспечивая глобальной лидерство на новой длинной волне экономического роста.

Корпорацией RAND были выделены 16 прикладных направлений технологической революции, определяющей переход к шестому технологическому укладу. Согласно представленным ею результатам анализа, наибольшие шансы добиться успеха по всем 16 прикладным направлениям имеют лишь 7 из 29 рассмотренных RAND стран: США, ЕС, Южная Корея, Японии в Азии, Австралия и Израиль. Перспектива освоения 12 направлений технологических приложений оценивается RAND как реальная для четырех стран: Китая и Индии в Азии, Польши и России в Восточной Европе. Возможностями развития 9 направлений обладают 7 из 29 стран: Чили, Бразилия, Колумбия, Мексика, Турция, Индонезия, Южная

Африка. Менее трети из 16 направлений будут доступны таким странам, как Фиджи, Доминиканская Республика, Грузия, Непал, Пакистан, Египет, Иран, Иордания, Кения, Камерун и Чад.

В исследовании RAND обращает на себя внимание, что в группе стран, к которым отнесена Россия, ее перспективы оцениваются наиболее скептически. Ожидается, что Китай и Индия сделают шаг в сближении с лидерами. России же грозит примыкание к группе менее развитых в технологическом отношении стран (Бразилия, Чили, Мексика и Турция). Такая оценка связывается с трудностями, испытанными российской экономикой в 1990-е годы, которые отразились на состоянии научно-исследовательской базы, фондах научных библиотек, привлекательности научно-исследовательского труда в собственном отечестве. Указывается, что без активной научно-технической политики нашей стране будет трудно соперничать не только с Японией, США, рядом других высокоразвитых стран, но и с энергично усиливающими свои сектора НИОКР Китаем и Индией. С точки зрения RAND, Китай, Индия, Польша и Россия уступают лидерам, поскольку более слабые движущие силы технологического развития сочетаются в этих странах с относительно высокими барьерами на этом пути. Вместе с тем, ситуации в нашей стране противопоставляется положение в Китае, где наряду с квалифицированной рабочей силой растет число исследователей. Известно, какое большое внимание уделяется в Китае подготовке специалистов высшей квалификации в лучших университетах США и Канады [5.11]. Китайские граждане лидируют среди иностранцев, получающих в США степень доктора наук. При этом акцент делается на подготовке в первую очередь китайских специалистов по техническим и естественным наукам.

Нынешние лидеры демонстрируют высокую активность в научно-технической сфере для сохранения и упрочения своих ведущих позиций. Приобрела широкую известность «Национальная нанотехнологическая инициатива» (National Nanotechnology Initiative) США, выдвинутая еще в 2000 г. Президентом Клинтонем. Целью этой инициативы является реализация программы научных исследований мирового класса в сфере нанотехнологий в целях обеспечения лидерства Соединенных Штатов в жизненно важных областях, включая космос, сельское хозяйство, энергетику, защиту ок-

ружающей среды, здравоохранение, информационные технологии, транспортные системы и национальную оборону [5.12, 5.13, 5.14].

Несмотря на финансовый кризис и ухудшение состояния государственного бюджета, лидеры быстро наращивают бюджетное финансирование исследований в сфере нанотехнологий [5.15], поощряют частные инвестиции в эту сферу. К примеру, США продемонстрировали тенденцию к увеличению правительственных расходов на НИОКР в кризисных условиях 2000 – 2002 гг., когда снижались частные расходы на эти цели. Не меньшее внимание на опережающем развитии НИОКР в обеспечении глобальной конкурентоспособности в будущем уделяется в Европе. Европа не сумела стать лидером в развитии информационных и коммуникационных технологий и теперь озабочена тем, что подобное может произойти с технологиями новой волны. Прежде всего, речь идет о нанотехнологиях, которым в Евросоюзе уделяется повышенное внимание. Обеспечить в перспективе сдвиг структуры европейской экономики в сторону высоких технологий призвана активная поддержка нанотехнологических исследований Европейской Комиссией и отдельными государствами-членами ЕС. Как говорится в докладе Европейских Комиссий, во времена кризиса Европа не должна уменьшать инвестиции в исследования. Напротив, государства-члены должны сосредоточиться на подготовке к тому, чтобы максимально использовать следующий экономический подъем. В этой связи связанные со знаниями меры и структурные реформы рассматриваются как еще более важные, чем во время подъема экономики [5.16, с. 3].

Сопоставительный анализ места и перспектив объединенной Европы в технологическом соперничестве с США и Японией представлен в ряде исследований, выполненных под эгидой Европейских Комиссий [5.15, 5.17]. С позиций высокотехнологичного экспорта современная ситуация в ЕС выглядит относительно благополучной. Однако европейцы не удовлетворены потенциалом своего дальнейшего развития, способностью его наращивать и использовать. Более низкая интенсивность исследований и разработок (доля затрат на них в ВВП) рассматривается как определенная угроза для конкурентных позиций ЕС, в частности, по отношению к США. Кроме того, вызывает озабоченность менее четкая по сравнению с США и Японией научная и технологическая специализация объе-

диненной Европы в быстро растущих областях знаний. При этом научная специализация США (медицинское оборудование, фармацевтика, специальное машиностроение, материаловедение) по многим направлениям контрастирует со специализацией Японии (аудиовизуальная электроника, электронные компоненты, оптика, электротехника). В связи с рассредоточенностью по разным направлениям научных усилий ЕС говорится о риске нехватки критической массы знаний, а также о риске фрагментации и дублирования усилий [5.16, с. 12].

Сопоставление между ЕС и его главными конкурентами расходов на исследования и разработки, осуществляемых бизнесом, приводит к выводу, что более низкая интенсивность общего финансирования НИОКР в ЕС почти на 85% объясняется относительно низкой активностью здесь частного сектора [5.15, с. 10]. Как в ЕС, так и в США примерно три четверти всех расходов бизнеса на исследования и разработки сконцентрированы в обрабатывающей промышленности [5.15, с. 30]. Однако по сравнению с ЕС, значительно большая часть этих расходов приходится в США на высокотехнологичные отрасли (табл. 5.2). Такое распределение расходов на исследования и разработки сказывается на их результатах. Хотя в общей патентной активности ЕС превосходит США, последние лидируют по патентам в сфере высоких технологий.

Таблица 5.2

Доля в ВВП расходов бизнеса на исследования и разработки в обрабатывающей промышленности и распределение этой доли между типами отраслей в 2003 году [5.15, с. 31], %

	Обрабатывающая промышленность в це-	Высокие технологии	Технологии выше среднего	Технологии ниже среднего	Низкие технологии
ЕС-27	1,02	0,56	0,35	0,07	0,04
США	1,18	0,81	0,25	0,05	0,07

Несмотря на большую общественную поддержку европейских нанотехнологий, частные инвестиции в исследование таких технологий остаются гораздо более низкими по сравнению с главными конкурентами Европы. Если в ЕС только одна треть общего финансирования этих исследований обеспечивается частными источни-

ками, то в США на них приходится 52 %, а в Японии почти две трети. Частное финансирование нанотехнологических исследований в США по объему почти вдвое превышает финансирование в ЕС [5.15, с. 52].

В последние годы число создаваемых в ЕС нанотехнологических компаний было значительно ниже, чем в США. Как следствие, общее количество таких компаний в США намного больше, чем в Европе. Кроме того, европейские компании, главным образом расположенные в Германии и Великобритании, намного меньше по объему товарооборота, чем их американские конкуренты. Все это приводит к меньшему вкладу европейского частного сектора в нанотехнологические исследования по сравнению с частным сектором США. Такая активность американского бизнеса сказывается на патентной активности в сфере нанотехнологий. В целом, констатируется отставание ЕС от США в разработке и освоении нанотехнологий [5.15, с. 52].

Наблюдаемая неблагоприятная для ЕС ситуация в ряде высоких технологий объясняется несколькими причинами. Сказывается более низкая доля отраслей с такими технологиями в ЕС и инерция этой отраслевой структуры. Уменьшить эту инерцию способен высокотехнологичный венчурный капитал. Однако средний размер такого бизнеса в ЕС в девять раз меньше, чем в США [5.15, с. 12]. Следовательно, для европейских венчуров проблематично преодоление входных барьеров на часть высокотехнологичных рынков. Лидирующие по своим размерам нанотехнологические компании США способны создавать такого рода барьеры уже за счет эффекта масштаба. В США большинство компаний, для которых данные доступны, имеет средний размер, т.е. товарооборот от 10 до 500 млн долл. США (рис. 5.2). Большинство германских и британских компаний намного меньше с товарооборотом ниже 10 миллионов долларов США, в то время как в Японии преобладают компании с оборотом более 500 млн долларов США.

Фактором, снижающим размеры европейского венчурного бизнеса, является его более низкая доходность. Препятствием для роста этой доходности может быть невозможность реализовать кластерный эффект, характерный для нововведений формирующегося технологического уклада. Достижение такого эффекта требует определенной скоординированности как нововведений, так и лежа-

щих в их основе исследований и разработок. В ЕС наблюдается более высокая их фрагментация по сравнению с США, что связано и с менее тесными отношениями в Европе между наукой и практикой. Европейская наука относительно недостаточно представлена среди наиболее перспективных направлений технологического развития. От этого, от дефицита координации особенно страдают исследования, требующие комплексных подходов, такие как лазеры, полупроводники и биотехнологии [5.15, с. 14].

Сопоставление участников нанотехнологического соперничества свидетельствует об определенных различиях в ставках бизнеса на развитие отдельных сегментов нанотехнологии (рис. 5.3).

Деятельность многих компаний Германии и Японии сосредоточена на разработке и производстве нанотехнологических инструментов и устройств. С учетом начальной фазы развития шестого технологического уклада такой выбор способен обеспечить сильные позиции этих стран в фазе зрелости этого уклада вследствие контроля над производством инструментальной базы нанотехнологий. Вместе с тем для такого контроля важно занимать лидирующие позиции и в сфере соответствующих исследований и разработок. Наблюдаемое снижение патентной активности в сегменте наноинструментов (рис. 5.4) может свидетельствовать как о повышении закрытости разработок, так и о возрастающей сложности дальнейших инноваций в этом сегменте.

Хотя прогнозы говорят о сохранении лидирующими странами своих ведущих позиций в условиях подъема новой длинной волны, все более явным соперником этим лидерам становится Китай. Еще в 1986 году Китай принял Национальную программу научных исследований в области высоких технологий («National High-Tech Research & Development Program»), известную как Программа 863, в качестве ответа на глобальные вызовы новой технологической революции и конкуренции. Укрепление инновационного потенциала стало отправной точкой в стратегии развития китайской науки и техники. С 1997 г. в Китае реализуется Национальная программа важнейших фундаментальных исследований (Программа 973), призванная обеспечить научную основу для будущего развития страны, выхода ее на передовые технологические рубежи. В замыслах по превращению Китая к 2050 г. в научную супердержаву решающий шаг намечен на ближайшие 15 лет. За этот период намечается

снижение зависимости от иностранных технологий, достижение такого уровня «эндогенного» инновационного развития стратегических высоких технологий, который гарантирует национальную безопасность Китая, сильные позиции в глобальной научной и экономической конкуренции. Эти замыслы получают мощную финансовую поддержку со стороны центрального правительства и провинциальных администраций. По общим расходам на НИОКР к 2020 г. Китай, как ожидается, будет уступать только США (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Доля стран и регионов в финансировании НИОКР [5.19], %

	2004 г.	2005 г.	2000 г. (оценка)	2020 г. (прогноз)
Европа	24,6	23,8	23,4	20,0
Северная и Южная Америка	37,8	37,5	37,1	35,0
США	32,7	32,0	31,3	28,0
Азия	37,6	38,7	39,5	45,0
Китай	11,8	12,8	13,6	20,0
Япония	13,0	12,6	12,4	12,0

Хотя Китай еще уступает лидерам в заявках на патентование технологий новейшей длинной волны, исследования в сфере нанотехнологий ведутся весьма активно, поскольку именно эти технологии рассматриваются в качестве ключа к будущим экономическим успехам страны, к превращению ее в научную супердержаву.

С учетом паритета покупательной способности национальных валют, Китай по правительственным расходам на нанотехнологии уже вышел на второе место в мире, оттеснив Японию и Германию. Быстро растут и корпоративные расходы на эти цели, увеличившись только за 2006 г. на 68 % [5.20].

Проводимые в Китае нанотехнологические исследования ориентированы на решение энергетических и экологических проблем Симптоматична инициатива китайской Академии наук по превращению солнечной энергии в главный источник энергии для Китая к 2050 г.

С конца 1990-х гг. Министерство науки и техники Китая (MOST) и Национальный фонд науки Китая (NSFC) наращивают поддержку развитию нанонауки и нанотехнологии. С тех пор соответствующие фундаментальные и прикладные исследования стали приоритетными в институтах китайской Академии наук (CAS) и многих университетах. В Национальном плане долгосрочного развития 2006 – 2020 гг. (National Long Term Development Layout) нанонауке и нанотехнологии посвящена одна из четырех национальных программ фундаментальных исследований. В сфере разработки китайских ученых большинство аспектов нанонауки и нанотехнологии [5.21]. С 2001 г. Министерство науки и техники КНР и Госстандарт КНР реализуют проект разработки стандартов нанотехнологий и наноматериалов. Высокий уровень достижений в этой сфере рассматривается как одно из средств обеспечения ведущих позиций в нанотехнологическом соперничестве.

Фактически Китай придерживается смешанной стратегии в экономическом развитии. В отраслях предшествующей длинной волны реализуется стратегия догоняющего развития при использовании конкурентных преимуществ Китая в стоимости рабочей силы. Вместе с тем, с выходом на передовые научные рубежи создаются условия для стратегии научно-технического лидерства [5.22]. Для реализации двух последних стратегий предпринимаются организационные меры в промышленной сфере. При поддержке центральных ведомств 103 предприятия, включая крупные государственные и другие научно-технические предприятия, стали экспериментальными центрами инноваций, «подтягивая» за собой другие предприятия и усиливая их потенциал новаторства и конкурентоспособность. В течение ближайших 3 – 5 лет количество экспериментальных предприятий увеличится до 500 [5.23].

5.3. Меры по стимулированию распространения нанотехнологий в России

Меры по обеспечению скоординированного и целенаправленного развития нанотехнологий начали предприниматься в России фактически одновременно с национальной нанотехнологической инициативой США. Так, еще в 2000 г. была разработана и утверждена программа «Военная наноэлектроника Вооруженных Сил

Российской Федерации» на период до 2010 г., целью которой является определение путей достижения паритета с мировыми разработчиками военной электроники к 2010 г. в области создания технологий формирования элементов нанометровых размеров и на их основе элементной базы наноэлектроники. Правительством РФ 21 августа 2001 г. была принята федеральная целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002 – 2006 гг.». Постановлением Правительства РФ от 14 ноября 2002 г. № 825 в нее были добавлены разделы, связанные с нанонаукой и нанотехнологиями. Финансирование по этим направлениям возросло с принятием Правительством РФ 6 июля 2006 г. федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 гг.». Президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии» (поручение Президента Российской Федерации от 24 апреля 2007 г. № Пр-688) прямо связала будущее нашей страны с ее результатами в наносфере. Как указывается в этом документе, участие России в создании нанотехнологий и формировании рынка соответствующей продукции определит ее реальное место в современном мире и, соответственно, ее экономические и политические возможности.

Заметным шагом к преодолению ситуации, когда у различных ведомств свои проекты работ по нанотехнологии, стала «Программа развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 г.», принятая к реализации Правительством РФ 4 мая 2008 года. В этой программе выделены девять тематических направлений деятельности национальной нанотехнологической сети и семь целевых индикаторов (табл. 5.4):

- 1) наноэлектроника;
- 2) nanoинженерия;
- 3) функциональные наноматериалы и высокочистые вещества;
- 4) функциональные наноматериалы для энергетики;
- 5) функциональные наноматериалы для космической техники;
- 6) nanoбиотехнологии;
- 7) конструкционные наноматериалы;
- 8) композитные наноматериалы;
- 9) nanoтехнологии для систем безопасности.

Таблица 5.4

**Важнейшие целевые индикаторы ФЦП «Развитие инфраструктуры
наноиндустрии в Российской Федерации на 2008 — 2010 годы»**

	Индикатор	Единица измерения	2008 год	2009 год	2010 год
1.	Удельный вес научных, инновационно-технологических, внедренческих и коммерческих организаций, имеющих доступ к различным составляющим инфраструктуры наноиндустрии, в общем числе российских организаций, участвующих в исследованиях, разработках и производстве продукции наноиндустрии	процентов	40	70	90
2.	Удельная оснащенность (стоимость оборудования) одного сотрудника, занятого в исследованиях и разработках в рамках национальной нанотехнологической сети	тыс. рублей	420	650	860
3.	Средний возраст научного и специального оборудования, приборов и устройств головных организаций отраслей в составе национальной нанотехнологической сети	лет	12	8	5
4.	Количество организаций, использующих исследовательское, метрологическое и технологическое оборудование в режиме коллективного пользования	единиц	70	100	120
5.	Доля молодых ученых (специалистов), работающих в научных, инновационных, внедренческих и коммерческих организациях – участниках Программы	процентов	40	60	80

Окончание табл. 5.4

	Индикатор	Единица измерения	2008 год	2009 год	2010 год
6.	Количество созданных новых рабочих мест для высококвалифицированных работников	единиц	500	1500	2500
7.	Число студентов и аспирантов, привлеченных к работе (прошедших практику) на новом нанотехнологическом оборудовании	человек	100	150	200

В России в последнее время выделяются крупные государственные средства на развитие нанотехнологий. Так, в 2009 г. инвестиции на эти цели через госкорпорацию Роснано должны составить 21 млрд руб., в рамках федеральных целевых программ – более 10 млрд. руб. Однако российский рынок нанотехнологий находится на начальном этапе своего становления. На настоящий момент доля России в общемировом технологическом секторе составляет около 0,3 %, а на рынке нанотехнологий около 0,04 %. Во многом здесь сказался тот факт, что Россия обратила свое внимание на наноразработки на 7 – 10 лет позже, чем зарубежные страны. Вовлеченность бизнеса в инвестиционный процесс нанотехнологической отрасли остается крайне низкой.

В подходе к развитию nanoиндустрии в России заметно большое влияние опыта Национальной нанотехнологической инициативы США (ННИ). Однако имеются и значительные различия.

Стремление к развитию компетенции в разных областях нанотехнологии не мешает США выделять приоритетные для себя направления, наращивать конкурентные преимущества в этих направлениях. Известная американская организация Foresight Nanotech Institute в конце 2007 г. опубликовала Дорожную Карту развития нанотехнологий (Nanotechnology Roadmap) [5.24], в которой выделила два таких направления для реализации Соединенными Штатами. Первое – разработка технологий атомарной точности для создания чистых источников энергии и рентабельной энергетической инфраструктуры. Второе – разработка технологий атомарной точности для создания наноструктурных медикаментов и мно-

гофункциональных терапевтических устройств для здравоохранения.

Вопрос о том, на основе каких нанотехнологий Россия будет развивать или формировать свои сравнительные преимущества в глобальной конкуренции, до сих пор не имеет такого ответа, который способен служить официальным руководством к действию.

Национальная нанотехнологическая инициатива (ННИ) – это стратегический план, фиксирующий консенсус участвующих агентств относительно целей и приоритетов действий в нанотехнологической сфере.¹ Выделены восемь программных направлений, призванные обеспечить реализацию целей ННИ. Программные направления разворачиваются в задачи соответствующих групп агентств. Планируемые инвестиции в рамках ННИ фиксируются по отдельным агентствам, а в рамках каждого из агентств – по программным направлениям. В настоящее время ННИ охватывает деятельность двадцати пяти федеральных агентств. У тринадцати из них имеются свои бюджеты нанотехнологических исследований и разработок. Собственного бюджета у Национальной нанотехнологической инициативы нет, однако через планирование бюджетов агентств она влияет на формирование Федерального бюджета.

Как видно из Стратегии деятельности Государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий» до 2020 г., структура инвестиций этого основного канала господдержки отечественной nanoиндустрии не имеет столь четкой регламентации, как в ННИ. Требования к составу и содержанию проектов в области нанотехнологий, предлагаемых к финансированию за счет средств ГК «Роснотех» (Роснано), не предусматривают в явном виде учета того, что делается в рамках Федеральных целевых программах. Указывается, что инструмент ориентирования участников таких проектов – дорожные карты в области nanoиндустрии. Коль скоро дорожная карта – это детальный комплексный план достижения поставленной цели, то подготовка соответствующих планов для отечественной nanoиндустрии предполагает определение целевых

¹ Как отметил Барак Обама в своей инаугурационной речи, «успех нашей экономики всегда зависел не только от объема ВВП, но и от того, куда наше богатство направлялось».

для страны ниш нанотехнологического рынка. Вопрос о таких нишах до сих пор остается открытым.

В США агентства в пределах своей компетенции выполняют собственные нанотехнологические программы, получающие через ННИ межведомственную согласованность. ННИ дает не просто общие целевые установки, но выявляет главные проблемные области, где необходимо сосредоточение ресурсов для обеспечения успеха всей инициативы. В рамках ННИ выделяются как важнейшие прикладные возможности нанотехнологий, так и исследовательские задачи, решение которых имеет критическое значение для реализации этих возможностей. Таким образом, ведомственные амбиции и интересы подчиняются национальным целям.

В России при формулировке приоритетных направлений развития науки, технологий не столько фиксируются требующие решения проблемы, сколько описываются соответствующие предметные области, развитие которых стоит в повестке дня. Как указывается в «Комплексной программе научно-технологического развития и технологической модернизации экономики Российской Федерации до 2015 г.», «отсутствие проблемы внутри каждого приоритетного направления или критической технологии допускает включение в программу любого научного проекта, наиболее удовлетворяющего условиям конкурса лишь по формальным признакам. В итоге реализация программы сводится к разрозненным результатам, из которых лишь немногие могут быть полезны государству. Сам факт распыленности результатов реализации программ сдерживает развитие отраслевых инновационных структур и коммерциализации передовых технологий».

В США ежегодный межведомственный анализ результатов реализации целей и приоритетов ННИ прилагается к бюджетному посланию президента. Законом («Акт об исследованиях и развитии нанотехнологии в XXI веке») установлена периодическая экспертиза ННИ внешними консультативными органами. Речь идет об использовании двух независимых экспертных органов. Во-первых, при президенте действует Национальный нанотехнологический координационный совет (NNAP), консультирующий президента и Национальный совет по науке и технологиям в вопросах, касающихся ННИ. Этот экспертный орган должен давать оценку федеральной программе нанотехнологических исследований каждые

два года. Во-вторых, в соответствии с Законом раз в три года экспертизу НИИ должен проводить Национальный исследовательский совет при Национальных академиях (NRC/NA).

Важно, что функции координации действий в сфере нанотехнологий и функции организационно-технического обеспечения (самой координации и ее экспертизы) в США выполняют разные органы. Координацию действий Федерального правительства в сфере нанотехнологических исследований осуществляет Подкомитет по науке, инженерии и технологии на наноуровне (NSET). Этот подкомитет работает под руководством Национального совета по науке и технологиям (NSTC) как подразделения Комитета по технологии (CT). Организационно-технические функции в НИИ сосредоточены в Национальном нанотехнологическом координационном бюро. Оно занимается организационным обеспечением координации, но не непосредственно ей самой. Когда это бюро организует академический анализ результатов деятельности Подкомитета по науке, инженерии и технологии на наноуровне, обеспечивается в существенной мере независимая от этого подкомитета экспертиза. Таким образом, снижается влияние экспертируемых органов на экспертирующие органы.

Среди основных принципов, положенных в основу формирования национальной нанотехнологической сети и представленных в «Программе развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 г.», фигурирует коллегиальность принятия решений, связанных с реализацией целей и задач Программы, а также широкое использование независимой и межведомственной экспертизы в этих целях. В ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008 – 2010 годы» говорится о том, что экспертиза и отбор проектов в структурообразующих направлениях Программы основываются на принципах объективности, компетентности и независимости. Однако нормативные документы, таким образом, наделяют многие организации экспертными функциями, что эти функции оказываются пересекающимися со сферой ответственности тех же организаций.

В России Министерство образования и науки, его Федеральное агентство по науке и инновациям (Роснаука) фактически совмещают координационные и организационно-технические функции. Программой развития наноиндустрии в Российской Федерации до

2015 г. функции организации экспертных проверок результатов, полученных в ходе реализации этой программы, возлагаются на само Минобрнауки. Получается, что основной проверяемый организует деятельность своего проверяющего. Подобным образом контракт на обеспечение функционирования системы независимой экспертизы для принятия управленческих решений по реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 годы» получило подведомственное Минобрнауки РФ Государственное учреждение «Государственная дирекция целевой научно-технической программы» [5.25].

Совмещение управленческих функций и экспертизы результатов реализации этих функций наблюдается и на уровне научного координатора Программы развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 г., в качестве которого выступает федеральное государственное учреждение Российский научный центр «Курчатовский институт». На него возлагается и проведение фундаментальных поисковых, научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ в области нанотехнологий и наноматериалов, и научная координация планов таких работ, исключая дублирование их тематики, и экспертиза достигнутых результатов, и определение возможности их промышленного освоения. Такое совмещение не способствует сохранению научным координатором беспристрастности в отношении чужих разработок.

Можно резюмировать, что определяемые существующими нормативными документами условия экспертизы нанотехнологических мероприятий, их координации, выделения приоритетных направлений действий и их финансового обеспечения требуют существенной корректировки для реализации целей Президентской инициативы «Стратегия развития nanoиндустрии».

При конкретизации этой стратегии необходимо учитывать, что новые научные идеи и технологии не могут успешно развиваться и превращаться в инновационные рыночные продукты в условиях наличия отсталого промышленного сектора. Лидирующие позиции в мире во многих областях фундаментальной науки не могут быть реализованы из-за отставания почти во всех областях промышленных инноваций и базовых технологий. Сектор науки не может развиваться в условиях отсталого промышленного сектора, также как

возрождение науки и технологий не будет происходить без спроса со стороны отечественных предприятий на инновационную продукцию [5.26].

5.4. Теоретические основы стратегии опережающего развития в условиях смены технологических укладов

Каждая очередная длинная волна экономического развития вымывает из экономики лишь часть прежних продуктов и отраслей. Остающиеся в разной мере подвержены модернизации. Например, железнодорожный транспорт – один из символов (наряду с углем, текстилем) второй длинной волны. Его существенно потеснил автомобиль, олицетворяющий четвертую. Вместе с тем, железнодорожный транспорт, перейдя на электрическую тягу, впитав достижения автоматике, словно обрел второе дыхание. Металлорежущие станки с числовым программным управлением – еще один пример высокоэффективного соединения традиционных и новых технологий. Расширение производства нетканых материалов не привело к исчезновению ткачества. Оно освоило использование синтетических нитей. При всех изменениях очевидна преемственность в сельскохозяйственном производстве. Более того, сегодня заметной новацией в нем становится возврат к забытому старому, к экологически чистым технологиям. При принципиальном обновлении отраслевой технологии можно говорить о формировании новой отрасли. Так, перевод электрогенерации на атомную основу по сути дела означал формирование новой отрасли.

Вопрос о взаимосвязи технологий и отраслей разных длинных волн важен для выработки структурной и научно-технической политики перехода к технологической базе новой длинной волны. Считается, что инновационный рост как стратегическое направление развития глобальной экономики в предстоящие десятилетия будет обеспечиваться преимущественно за счет конвергенции технологий [5.27].

Помимо конкуренции старых и новых отраслей за ресурсы необходимо учитывать следующие типы межотраслевых связей:

1. Зрелые отрасли – источник первоначальных материальных и финансовых ресурсов (исходного капитала) для новых производств.

2. Зрелые отрасли предъявляют первичный (помимо военно-промышленного комплекса, непроектного потребления, экспорта) спрос на новую продукцию. Таким образом, возникает первый контур накопления в новых отраслях.

3. По мере укрепления этих отраслей возрастает роль их собственного спроса на новую продукцию, формируется второй контур накопления в новых отраслях (контур самонакопления).

От широты охвата этих связей зависит точность представлений о закономерностях потока инвестиций в технологии и отрасли, олицетворяющие новый длинный цикл.

Традиционно формирование новой технологической базы экономики моделируется в теории длинных волн S-образной логистической кривой. Однако это идеализированное описание перехода от фазы зарождения к фазе зрелости такой волны. Реально это переход сопровождается существенными пульсациями, что было отмечено еще на рубеже 1990-х [5.28, 1.3]. Мнения группируются вокруг того, одну или две вершины имеет интенсивность потока нововведений. Принимая во внимание все многообразие межотраслевых связей, можно выделить три вершины в динамике ресурсного обеспечения рассматриваемого потока.

Первая связана с инвестициями, питаемыми сформировавшимися производствами текущей волны, но направляемыми на создание задела в перспективных технологиях и продуктах. Фактически речь идет о вложениях, ведущих к зарождению новой длинной волны. Такие вложения могут активизироваться уже на завершающем этапе формирования кластера базисных нововведений текущей волны.

Вторая вершина определяется теми возможностями усовершенствования технологий и продуктов достигшей фазы зрелости волны, которые открываются в ходе исследований и разработок по технологиям следующей волны. Эта вершина в существенной мере может формироваться за счет спроса на результаты такого рода НИОКР со стороны зрелых отраслей текущей волны.

Третья вершина связана с развитием новейшего технологического комплекса (кластера базовых нововведений новой волны) главным образом на собственной основе.

Существование и взаимодействие отраслей, воплощающих разные длинные волны технологического развития – один из факторов наблюдаемого уменьшения амплитуды этих волн. Расшире-

ние переходящего фонда технологий – весьма важный кумулятивный процесс долгосрочного технико-экономического развития выступает своего рода демпфером этого развития, сохраняющим, тем не менее, его волновой характер. Поэтому можно ожидать, что для очередной (шестой) длинной волны это демпфирующее влияние будет сильнее, чем для предшествующих волн.

Как уже отмечалось, наряду с отраслями ядра нового (шестого) технологического уклада в его развитие будут вовлечены здравоохранение, сельское хозяйство, ряд несущих отраслей предшествующего пятого технологического уклада: электротехническая, авиационная, ракетно-космическая, атомная отрасли промышленности, приборостроение, станкостроение, образование, связь. Массовый спрос на нанотехнологические технологии и продукцию со стороны этих отраслей имеет решающее значение для развития отечественной наноиндустрии и нанонауки. Ликвидация отсталости нашей экономики в несущих отраслях нового технологического уклада, является поэтому одной из первоочередных задач.

5.5. Возможности технологического развития в условиях кризиса мировой экономики

Переживаемый в настоящее время кризис мировой экономики сказался на всех ее ведущих отраслях, включая высокотехнологические. Индустрия высоких технологий, основную часть которой составляют производства пятого технологического уклада, переживает самый тяжелый кризис за свою историю. Падение производства затронуло даже таких монополистов, как Microsoft, долгое время символизировавший современный технологический уклад. Обвал продаж наблюдается во всех сегментах составной части ключевого фактора этого технологического уклада рынка электроники – от микрочипов до мобильных телефонов. Из-за снижения спроса на свою продукцию вследствие экономического кризиса были вынуждены сокращать рабочие места такие, например, фирмы, как Nokia, Royal Philips Electronics, Sun Microsystems и IBM, как французско-итальянская компания STMicroelectronics, выпускающая различную полупроводниковую продукцию, японская компания TDK, специализирующаяся на производстве информационных носителей и электронных комплектующих, ASML Holding NV, крупнейший в

Европе производитель оборудования для производства полупроводников, американская Texas Instruments Inc., являющаяся одним из мировых лидеров по производству микрочипов. Крупнейший в мире производитель микрочипов Intel в рамках реструктуризации бизнеса был вынужден пойти на закрытие сборочных заводов в Малайзии и на Филиппинах, фабрик по производству микросхем в Хилсборо (штат Орегон, США) и Санта-Кларе (Калифорния). Немецкая компания Qimonda, филиал концерна Infineon объявила себе банкротом, хотя получила щедрую помощь от акционеров (325 млн. евро).

Кризис достигших фазы зрелости отраслей дает дополнительные шансы тем, кто уступает лидерам в развитии этих отраслей. Уже сама по себе фаза зрелости позволяет говорить о снижении входных барьеров для отраслевых новичков, об окнах возможностей для преследующих лидеров [5.29]. Кроме того, при кризисе снижается капитализация располагающих передовыми технологиями фирм. Как следствие, более реалистичным становится вариант приобретения к используемым в этих фирмах технологиям через приобретение контрольных пакетов акций. Кроме того, снижение потребности лидеров в высокотехнологичном оборудовании повышает его доступность для решающих задачи догоняющего развития стран. Так в 1970-е годы Южная Корея широко использовала возможности приобретения оборудования и технологий японского кораблестроения, когда встал вопрос о сокращении его избыточных мощностей.

Отечественная история также дает впечатляющие примеры своевременного заимствования новых технологий. Так, Советская Россия не упустила шанс приобретения необходимых для индустриализации страны технологий в период Великой депрессии 1930-х годов. В этот период западные компании особенно нуждались в заказах, и СССР получил возможность в короткие сроки овладеть передовой техникой и производственными навыками. Оплата осуществлялась за счет валютной выручки от экспорта традиционных товаров (зерна, продуктов питания, леса, нефти, пушнины, цветных металлов), продажи музейных ценностей и т.д. По договору иностранная фирма была обязана подготовить строительный или технологический проект с полным описанием и спецификациями оборудования, станков и механизмов; передать советскому заказчику

своей производственный опыт (технологические секреты, патенты и др.); прислать в СССР квалифицированных специалистов для наблюдения за строительством и пуском объекта; разрешить определенному числу советских инженеров и рабочих осваивать производственные методы компании на ее предприятиях в ходе зарубежной практики и командировок. По отечественным данным, в 1923 – 1933 гг. в тяжелой промышленности СССР было заключено 170 договоров о технической помощи: 73 с германскими компаниями, 59 с американскими, 11 с французскими, 9 со шведскими, 18 с фирмами других стран. Такие крупнейшие в Европе предприятия, как ДнепрогЭС, Сталинградский и ряд других тракторных заводов, Магнитогорский металлургический комбинат, Нижегородский (Горьковский) автозавод являлись предприятиями американского типа и происхождения. Сталинградский тракторный завод был сооружен в США, размонтирован, перевезен и собран под наблюдением американских инженеров. Фирмы США играли ведущую роль в проектировании советских предприятий, а примерно половина оборудования производилась в Германии в основном по американским спецификациям. По поставкам оборудования 1-е место занимала Германия, 2-е – США, 3-е – Великобритания. Компании International General Electric, Ford Motor Company, International Harvester, Dupont de Nemours стали ведущими зарубежными партнерами СССР [5.30, 5.31].

Конечно, даже в условиях кризиса получение доступа к передовым технологиям и навыкам остается сложной задачей.² Зарубежные фирмы избавляются от наименее эффективных подразделений. При сокращении рабочих мест увольняют, прежде всего, таких работников, которых при необходимости можно будет найти на рын-

² Как отмечают Д.Ливанов и А. Пономарев, «среди поздней советской и постсоветской элиты было широко распространено мнение, что за первичные ресурсы любые необходимые и сколь угодно высокие технологии можно и нужно купить. Однако надо отдавать себе отчет в том, что есть технологии, которыми с нами никто не поделится — просто потому, что они являются фактором глобальной конкурентоспособности. Поэтому одновременно с политикой модернизации и массированного заимствования технологий нам необходимо думать и о том, как на следующем шаге мы: а) сможем поддерживать обретенную конкурентоспособность, б) организуем прорыв на лидирующие позиции». («Эксперт» №5 (644), 9 февраля 2009).

ке труда. Даже в условиях кризиса ведущие фирмы озабочены усилением своих позиций в инновационной конкуренции. Так в IBM, несмотря на разразившийся экономический кризис, намерены по-прежнему выделять на исследования до 10 % доходов [5.32]. Однако при всем стремлении фирм к сохранению своего инновационного потенциала в отдельных случаях сокращения затрагивают подразделения, занятые исследованиями и разработками. Привлечение зарубежных специалистов по технологиям, где наблюдается отставание, как мера догоняющего развития имеет больше шансов на успех в условиях кризиса, сопровождающегося экономической депрессией в лидирующих странах.

Стремление к развитию зрелых отраслей оправдано, если оно обеспечивает наращивание инвестиционного потенциала, укрепляет технологическую базу для последующего движения вверх по лестнице развития. Вместе с тем, существует риск консервации сырьевой специализации национальной экономики.

Шансы выйти на лидирующие позиции выглядят более предпочтительными при конкуренции в растущих отраслях, на динамичных рынках. Здесь шанс преследователю дает как раз его меньшая обремененность уже накопленными, но устаревающими производственными фондами. От преследователя требуется в таком случае способность осмыслить новые идеи и разработки и опережающим образом воплотить их в производстве в промышленных масштабах. Успех более вероятен, когда удастся добиться опережения еще на стадии диагностики назревающего прорыва.

Искусство опережения во многом состоит в том, чтобы разглядеть растущие возможности там, где об этом еще не сигнализируют рынки. Ставка на поддержку только протестированных рынком бизнесов во многом выхолащивает стратегию действий на опережение. Опыт технологических революций свидетельствует о том, что в ускоренном воплощении новых научных знаний в производство – ключ к успеху России в конкуренции на динамичных рынках.

В этой связи оправдана ревизия спектра международных конкурентных стратегий на динамических рынках. Выделяют две таких стратегии: научно-технического лидерства и динамического нагнывания. Первой стратегии в послевоенный период придерживались США, примером второй может служить создание авиацион-

ной промышленности Бразилии. Ряд признаков этих стратегий приведен в табл. 5.5. Динамическое наверстывание в представленной трактовке фактически является стратегией динамического арьергарда. Речь идет о соперничестве между преследователями за опережаемое освоение рынков, оставляемых лидером.

Значительные потери нашей страной научно-технического потенциала на фоне его быстрого наращивания лидерами мировой научной сферы (США и ЕС) порождают сомнения в возможности сконцентрировать усилия и вырваться вперед. Представляется маловероятным, что США и ЕС не смогут ответить на подобный вызов, сосредоточив свои в несколько раз превосходящие ресурсы на том же направлении. Означает ли это, что уделом России остается лишь освоение зарубежных технологий, для чего имеющийся у нее научный потенциал вполне достаточен? Для следования такой стратегии у нашей страны, возможно, даже слишком развитая фундаментальная наука [5.22].

Таблица 5.5

**Виды международных конкурентных стратегий
на динамичных рынках [5.22, с. 59]**

	Научно-техническое лидерство	Динамическое наверстывание
Участие страны в НИОКР	Активные самостоятельные исследования	Активная адаптация и внедрение зарубежных разработок
Цель национальных компаний	Монополия на новых рынках	Монополия на оставляемых страной-лидером рынках
Задача государства	Финансирование фундаментальной науки	Координация усилий национальных фирм в прикладных НИОКР и внешнеторговой экспансии
Отношение к иностранным компаниям	Конкуренты	Конкуренты, источники технологии

Искомый путь подсказывают известные факты, когда научно-технический прорыв и его коммерциализация происходят в разных странах. Открытие деления ядер урана О. Гамом и Ф. Штрассманом было сделано в Германии, а первыми этим открытием восполь-

зовались США. С другой стороны, изобретенный в США транзистор впервые получил коммерческое воплощение в Японии, благодаря компании «Сони». Таким образом, коммерциализация (или иное использование) революционных изобретений и открытий не привязаны жестко к месту их совершения. Главный фактор коммерциализации — наличие подготовленных научных кадров, способных разобраться в сути прорыва и направить его в практическое русло [5.22]. Можно назвать этот путь стратегией опережающей коммерциализации фундаментальных открытий [5.33, 5.34].

Однако и в случае, когда пионером коммерциализации является страна-первооткрыватель, возможности преследователей не ограничиваются стратегией динамического намерстывания. Уже отмеченная ранее инерционность в развитии новых отраслей странами-лидерами научных исследований приводит к тому, что лидер оказывается заложником предшествующих успехов. По мере получения дополнительных научных результатов, касающихся этих отраслей, обнаруживается оборотная сторона лидерства в создании их производственного аппарата, связанная с трудностями обновления уже накопленных фондов. Эта инерционность снижает скорость коммерциализации очередных открытий, придает развитию неравномерный характер даже при равномерном пополнении научных знаний. Тем самым получают шанс на успех страны-преследователи, располагающие, во-первых, достаточной научной базой для доведения такого рода результатов до прикладных разработок, во-вторых, технологической и финансовой базой для внедрения этих разработок в производство. Можно назвать такой подход к соперничеству на динамичных рынках стратегией опережающей коммерциализации дополняющих нововведений.

Условия успеха этой стратегии близки к необходимым предпосылкам осуществления стратегии опережающей коммерциализации фундаментальных открытий. Среди таких предпосылок, имеющихся в России:

- существование научных кадров, способных перейти в коммерческий сектор для эксплуатации фундаментальных открытий;
- участие российских ученых в международном научно-техническом сотрудничестве, повышающее доступность для них результатов передовых исследований;
- появление компаний со значительным финансовым потен-

циалом, заинтересованных в диверсификации своей деятельности и завоевании монополии на глобальных рынках новых товаров и услуг;

- наличие устойчивых коллективов, имеющих систематический опыт разработки инженерно сложных изделий и доведения их до необходимого уровня качества.

По оценке А.Рей, одновременное выполнение всего спектра такого рода условий связано с редким стечением обстоятельств [5.22]. Однако, существенно повлиять на ситуацию способна активная научно-техническая и структурная политика государства. Оно может поддерживать собственную фундаментальную науку, пусть даже по более узкому фронту исследований, чем располагающие большими ресурсами страны-лидеры. Наличие такой науки важно для восприятия чужих открытий, накапливания собственных заделов в соответствующих областях знаний, создания кадрового потенциала для прикладных НИОКР. Все это благоприятствует комбинированию зарубежных и отечественных открытий, что может иметь критическое значение для коммерциализации последних, придания ей уникальных качеств.

Стратегия опережающей коммерциализация научных открытий соединяет в себе некоторые качества как стратегии научно-технического лидерства, так и стратегии динамического намерстывания (см. табл. 5.6). Привлекательным качеством стратегии опережающей коммерциализации научных открытий является более гибкое отношение к иностранным конкурентам. Наличие собственных результатов в сфере НИОКР открывает перспективу реальной технологической кооперации с зарубежными компаниями, вплоть до совместной коммерциализации принадлежащих разным сторонам, но взаимодополняющих открытий. Представленная стратегия – наиболее надежный путь приобщения к перспективным технологическим разработкам стран-лидеров. Иные последствия при привлечении из этих стран прямых иностранных инвестиций в рамках стратегии динамического намерстывания. В таком случае более вероятен приход в страну технологий, воплощающих уже коммерциализированные открытия.

Таблица 5.6

Стратегия опережающей коммерциализации научных открытий

Участие страны в НИОКР	Сочетание самостоятельных исследований и адаптации зарубежных разработок
Цель национальных компаний	Монополия на новых рынках, завоевание с помощью собственных разработок части рынков, контролируемых странами-лидерами
Задача государства	Финансирование фундаментальной науки наряду с координацией усилий национальных фирм в прикладных НИОКР и внешнеторговой экспансии
Отношение к иностранным компаниям	Конкуренты, источники технологии, партнеры по совместной коммерциализации отечественных и зарубежных разработок, когда их объединение дает большой интеграционный эффект

Важным элементом стратегии опережающей коммерциализации научных открытий является осуществление самостоятельных НИОКР. Если такого рода разработки ведутся в стране в исследовательских центрах, принадлежащих иностранным компаниям, оснований для обмена открытиями с отечественными компаниями у них не возникает. Чаще всего такие центры оказываются загруженными фрагментарными разработками, тогда как интеграция результатов НИОКР происходит в странах, где базируются центральные органы управления транснациональной компании. Для стратегии опережающей коммерциализации открытий необходима не только научно-исследовательская база. Без достаточной мощной промышленной и финансовой инфраструктуры трудно рассчитывать на форсированный переход от опытных образцов к серийному производству, на лидерство в заполнении новых рынков.

В стратегических разработках для российской экономики просматривается готовность сочетать стратегии лидерства в одних отраслях со стратегиями догоняющего развития в других отраслях. Актуальной задачей является дополнение такого подхода стратегией опережающей коммерциализации в тех направлениях формирования нового технологического уклада, где стремление к лидерству еще на предваряющей коммерциализацию стадии чревато распылением ресурсов.

Задача долгосрочной стратегии страны – четкое определение с учетом имеющихся у нее ресурсов технологических направлений (отраслей), где целесообразна ставка на:

- лидерство;
- догоняющее развитие (динамическое наверстывание);
- опережающую коммерциализацию.

Комбинированной стратегии экономического развития отвечает множественность ориентиров выбора приоритетов политики технико-экономического развития.

Во-первых, важно не подорвать позиции отраслей, формирующих текущий инвестиционный потенциал страны.

Во-вторых, необходима поддержка отраслей, развитие которых противодействует анклавизации экономики. Такими являются отрасли потребительского сектора. К этому структурному приоритету близко выявление в качестве ключевых звеньев промышленной структуры тех отраслей, что замыкают межотраслевые технологические цепочки и способны обеспечить наиболее высокий мультипликативный эффект роста отечественного производства и занятости. Ускоренное развитие этих отраслей – «локомотив» для смежных производств, которые в свою очередь стимулируют развитие своих поставщиков и т.д. [5.35].

В-третьих, особого внимания заслуживают отрасли, приоритетность которых может быть воплощена не в общие преференции, но в поддержку конкретных отраслевых проектов. Такая возможность имеется, например, в авиастроении.

В-четвертых, оправданы меры по укреплению отраслей, способствующих сокращению издержек в остальной экономике. Здесь в первую очередь можно говорить о развитии транспортной и информационной инфраструктуры. Как этот приоритет, так и противодействие анклавизации экономики допустимо рассматривать как политику нейтрализации искажающего влияния на рыночные решения со стороны экстерналий.

В-пятых, к приоритетным, особенно в условиях становления постиндустриальной экономики, относится сфера формирования человеческого капитала, включая здравоохранение, образование, науку. Порой предлагается рассматривать в качестве приоритетных исключительно институты, связанные с развитием личности и через человека влияющие на состояние экономики [5.36]. Однако при

столь радикальном отказе от приоритетов в промышленной сфере человеческий капитал не дает ожидавшейся отдачи для национальной экономики, столкнувшись с низким спросом на себя со стороны производства [5.37]. Приоритеты в промышленной и социальной сферах дополняют друг друга.

В-шестых, структурным приоритетом является создание и наращивание конкурентных преимуществ в стратегических отраслях, перспектива лидерства в которых является реальной и сулит увеличение доли страны в мировой добавленной стоимости. М. Бест относит к стратегическим отрасли, в которых международное конкурентное преимущество может быть обеспечено путем достижения организационного превосходства [5.37]. Хотя это определение стратегических отраслей скрывает конкурентную роль технологии, его достоинством является ориентация долгосрочного развития не только на снижение издержек, но, прежде всего, на более совершенную организацию обновления производства. Именно организационное превосходство позволяет выйти на лидирующие позиции при сопоставимом качестве технологических ресурсов. Сопоставительный анализ развития наноиндустрии в США и ЕС показал, что американское лидерство здесь в существенной мере поддерживается организационными механизмами.

Транснациональная диффузия знаний повышает значение организационного фактора экономического роста, но не устраняет, а лишь модифицирует влияние технологического фактора. Выбор отраслевых приоритетов с учетом организационного фактора не означает, что технологические обстоятельства могут при этом не приниматься во внимание. Влияние этих обстоятельств представлено в разных теоретических схемах: «лестнице развития» (У. Рос-тоу) [5.38], «ромбе» детерминантов конкурентного преимущества (М. Портер) [5.39], включающем родственные и поддерживающие отрасли и факторные условия.

«Лестница развития» предполагает наличие строгого упорядочения на множестве ступеней. Каждая ступень характеризуется набором технологий, знаний и навыков и совокупностью рынков тех товаров и услуг, которые может создавать при помощи этой информации фирма (а значит, и страна). Таким образом, компании (государства), находящиеся на одной ступени технологического развития, являются потенциальными конкурентами, имея возмож-

ность за сравнительно небольшой в исторических масштабах период времени переключиться, к примеру, с выпуска тепловозов на производство автомобилей. Напротив, в отсутствие необходимых знаний, навыков и сопутствующих отраслей переход от тяжелого машиностроения к самолетостроению обычно оказывается длительным и болезненным. «Лестница развития» помогает упорядочить разные типы национальных инновационных систем, исходя из следующих их возможностей:

- обеспечение перехода на некоторую конкретную ступень этой лестницы;
- следование за лидером на некоторой дистанции (модель «лягущих гусей»);
- развитие способностей к соперничеству с лидерами в темпах восхождения по рассматриваемой лестнице.

Только обретение таких способностей позволяет рассчитывать на превращение страны из догоняющей в одного из лидеров мировой экономики. В виду влияния технологических обстоятельств на выбор отраслевых приоритетов важна точная диагностика текущего этапа развития страны. Для выработки верных ориентиров развития России важно уточнение переживаемого ею этапа модернизации. В технологическом отношении позднеиндустриальной модернизации соответствует переход к массовому выпуску стандартной продукции, главным образом технически сложных предметов длительного пользования для личного потребления, на основе научной организации труда и поточно-конвейерного производства. Результатом позднеиндустриальной модернизации стало общество массового потребления. Высокий платежеспособный спрос населения со своей стороны немало содействовал развитию национального производства технически сложных предметов потребления длительного пользования, современной сферы услуг, науки и образования.

Необходимо признать, что в нашей стране еще не завершился этап позднеиндустриального развития. Более того, по ряду направлений (бесплатное здравоохранение и образование) наблюдается откат от прежде достигнутых рубежей. Поэтому России предстоит провести позднеиндустриальную модернизацию и одновременно наращивать существующие заделы в области высоких технологий.

В Комплексной программе научно-технологического развития и технологической модернизации экономики Российской Федерации до 2015 г. приоритетное направление развития науки, технологий и техники определяется как тематическое направление научно-технологического развития межотраслевого (междисциплинарного) значения, способное внести наибольший вклад в обеспечение безопасности страны, ускорение экономического роста, повышение конкурентоспособности страны за счет развития технологической базы экономики и наукоемких производств. Приоритетные направления представляют собой те области реального сектора экономики России, в которых применение новых технологий и техники может принести наибольший совокупный эффект.

Эти направления детализируются в рамках Перечня критических технологий Российской Федерации. Среди комплекса межотраслевых (междисциплинарных) технологических решений, которые создают предпосылки для дальнейшего развития различных тематических технологических направлений, имеют широкий потенциальный круг инновационных приложений в разных отраслях экономики и вносят в совокупности наибольший вклад в решение важнейших проблем реализации приоритетных направлений развития науки, техники и технологий (таково определение критической технологии в Комплексной программе научно-технологического развития и технологической модернизации экономики Российской Федерации до 2015 г.), отдельные составляющие обычно имеют разную доступность на мировом технологическом рынке. Чтобы критические технологии стали инструментом формирования приоритетных направлений научных исследований, эти технологии должны выделять своего рода «узкие места» в технологическом развитии.

Перечень критических технологий Российской Федерации, утвержденный распоряжением Правительства РФ № 1243-р от 25 августа 2008 г., в большинстве позиций представляет технологии нового технологического уклада. Однако в этом Перечне они фигурируют в весьма агрегированном виде, например, технологии новых и возобновляемых источников энергии; технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Наша страна является одним из лидеров в развитии атомной энергетики.

Для сохранения Россией ведущих позиций в этой сфере нужна не просто констатация важности технологии атомной энергетики, а выделение конкретных направлений исследований и разработок, без которых лидирующие позиции будут утрачены.

Некоторое уточнение приоритетов, призванных обеспечить мировое технологическое лидерство российской атомной энергетики, содержится в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации [5.40]. Речь идет о стимулировании исследований и разработок в области замкнутого топливного цикла (реакторы на быстрых нейтронах, фабрикация и рецикл новых типов ядерного топлива), обеспечение поддержки перспективных разработок по высокотемпературным реакторам. Однако и такое уточнение не позволяет сориентироваться в том, какие технологические проблемы способны помешать лидерству российской атомной энергетики.

В процессе корректировки и уточнения приоритетных направлений и критических технологий важно фиксировать в виде их перечня узкие технологические места в развитии не только новейших отраслей и обслуживающих их уже существующих отраслей, но и тех отраслей, которые формируют в настоящее время инвестиционный потенциал страны или через спрос на продукцию новейших отраслей позволяют нарастить их выпуск до конкурентоспособных масштабов производства и таким образом помогают преодолеть входные барьеры на международные рынки высокотехнологичной продукции.³

³ Как свидетельствует теория и подтверждает практика, в период становления технологического уклада одним из основных сдерживающих его рост факторов выступают ограничения спроса. По словам М.Ананяна, «Нанотехнологии – дорогой бизнес. Все определяется только одним – насколько развит рынок. И на Западе он пока только развивается, хотя значительно быстрее, чем у нас. В России, как правило, нет глобального понимания, как можно системно использовать нанотехнологии. Например, сегодня мы можем производить 100 килограммов нанодисперсных противозносных составов в месяц. Они достаточно дороги – 20 долларов грамм. Только на этой технологии можно в месяц зарабатывать 2 млн долларов. Но не зарабатываем. Рынка нет. Мы пока не используем розничные продажи, в малых объемах это невыгодно. Выгодна работа с крупными энергетическими системами, системами водоснабжения, транспортными средствами, везде, где есть значительные объемы» (<http://www.vz.ru/economy/2007/8/7/99398.html>).

Исходя из роли отдельных отраслей в формировании новой длинной волны (нового технологического уклада), возможна следующая классификация перспективных технологий:

1. Технологические решения, коммерциализация которых представляет собой нововведения очередной (возникающей) длинной волны;

2. Разработки для улучшающих нововведений (технологий или продуктов) уже существующих производств, чтобы они могли обеспечить зарождающиеся производства новой длинной волны качественными материальными ресурсами;

3. Технологические решения для улучшающих нововведений и повышения эффективности отраслей, выступающих «дойными ковами» национальной экономики, вносящих большой вклад в ее инвестиционный потенциал;

4. Разработки для улучшающих нововведений и повышения конкурентоспособности уже существующих отраслей, спрос которых на продукцию очередной длинной волны помогает реализовать эффект масштаба в производстве этой продукции.

Первая группа критических технологий – это основа и для базисных нововведений, формирующих новые отрасли, и для фрагментарного внедрения соответствующих разработок в уже существующие отрасли с целями, выделенными в пунктах 2 – 4 приведенной классификации.

Что касается пункта 4 данной классификации, то основные претенденты на роль соответствующих критических технологий – это, скорее всего, разработки, обеспечивающие улучшающие инновации в производстве предметов потребления.

Функциональное значение самой классификации критических технологий состоит в том, что она дает некоторые системные ориентиры для формирования как самого перечня этих технологий, так и индикаторов решения стратегических задач в области развития науки и инноваций. Конкретизация критических технологий призвана повысить уровень координации прикладных и фундаментальных исследований. Такая конкретизация – способна стать рычагом в организационном обеспечении технологического развития страны, более строго определяя как задачи, так и ответственность государственных органов, реализующих национальную научно-техническую политику. Речь может идти о более четкой фиксации

государственного заказа фундаментальной науке в соответствии с государственной научно-технической и инновационной политикой. Другое дело, что выработка такой политики – сфера совместных усилий государства, науки и бизнеса. Успешная стратегия развития науки и технологии должна быть интегрирована с общей стратегией развития частного бизнеса и промышленного сектора и должна оперативно реагировать на их потребности [5.26]. Сам госзаказ науке должен носить стимулирующий, а не запретительный характер, когда ограничивается свобода научного творчества, научной инициативы.

5.6. Приоритетные направления научно-технической политики

В период становления нового уклада приоритетное внимание должно уделяться его продукции, имеющей наилучшие перспективы массового спроса в достаточно близкой перспективе. За счет этого может быть достигнут эффект масштаба в производстве, а удешевление новой продукции будет способствовать развитию формирующегося уклада на его собственной основе. Важным фактором формирования в России нового (шестого) технологического уклада является спрос на его продукцию и технологии со стороны уже конкурентоспособных отраслей и отраслей, повышение конкурентоспособности которых достаточно реально. Большая роль здесь могут сыграть оборонные производства (авиационных, судостроительных, ракетно-космической промышленности и т.д.) и гражданские высоко- и среднетехнологичные отрасли (электроники, гражданского авиастроения, автомобилестроения и др.).

Например, спектр направлений применения нанотехнологии в аэрокосмической технике включает:

Наноматериалы: объемные наноматериалы (наноккомпозиты, нанокерамические материалы, наноструктурные сплавы, нанопористые материалы); нанопокрyтия и наномембраны; волокна на основе углеродных нанотрубок; жидкие наноматериалы (ферромагнитные жидкости, электроуправляемые клеи);

Двигательные установки: усовершенствование топлив (нанокатализаторы сгорания, наноккомпозитные топлива, нанокатализаторы фазового перехода, наногели); усовершенствование систем подачи

топлива; усовершенствование камер сгорания; усовершенствование систем управления газовыми потоками;

Энергетические системы: генерация энергии, преобразование энергии, хранение энергии, передача энергии (высокотемпературные сверхпроводники);

Системы связи и управления: средства навигации (квантовые гироскопы); наноэлектроника; нанофотоника; наноманитоэлектроника; бионика; передача данных;

Сенсоры;

Исполнительные механизмы: микро- и наноманипуляторы; космические наноаппараты;

Условия работы экипажа и др.

В близкой перспективе массовое применение может найти такая патентованная разработка Курчатовского института как покрытие нового поколения – так называемая нанопленка. Ионная имплантация – это научное название изобретения – изменяет структуру металла. При нанесении нанопленки на любые металлические детали их срок службы увеличивается многократно. Опробование этой разработки на металлорежущих станках показало, что срок работы инструмента увеличился в двенадцать раз. Кроме того, повысились стойкость и качество обрабатываемой поверхности. Это изобретение изменит в первую очередь российскую оборонную промышленность. Авиационные двигатели, двигатели кораблей, бронетехника и артиллерийские орудия станут прочнее. Как известно, двигатель новейшего американского истребителя «Раптор» покрыт суперпрочной керамической пленкой. В результате курчатовской разработки страна получает колоссальную экономию на инструменте, который раньше надо было закупать на Западе. Сейчас прикладными вопросами фундаментальной разработки Курчатовского института занимается Рыбинская авиационная академия. Промышленное внедрение осуществляет «НПО Сатурн». Предприятие по производству металлических инструментов с нанопокрывтием построят на его базе в Ярославской области. Однако, если главными потребителями новой технологии останутся лишь российские авиазаводы, эффект массового спроса не будет реализован в полной мере.

Коль скоро эта технология способна стать весомым фактором конкурентоспособности российской экономики, развитие и широ-

кое использование ионной имплантации должно стать конкретным ориентиром для проектировщиков и производителей соответствующего оборудования, для всего спектра потенциальных потребителей.

Массовый спрос на продукцию нового технологического уклада способны предъявить и такие базовые для отечественной промышленности отрасли как химия, металлургия, топливно-энергетический комплекс, железнодорожный транспорт, сельское хозяйство.

В металлургии примером использования нанотехнологий может служить внедрение ОАО «Северсталь» технологий и освоение серийного производства уникальных для России марок стали с двукратным повышением эксплуатационных характеристик (свариваемости и хладостойкости). Разработку соответствующей технологии выполнило ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов "Прометей"». Она позволяет получать высококачественную металлопродукцию, в частности, листовой прокат толщиной до 40 мм, трубы большого диаметра для морских трубопроводов, хладостойкие сварочные материалы. Новые материалы предназначены для строительства конструкций по освоению нефтегазовых месторождений арктического шельфа, эксплуатирующихся в экстремальных условиях (до -50°C), судостроительной, нефтегазовой и машиностроительной промышленности.

В области нефтегазовой промышленности на первое место по важности использования выходит нанокатализ. Новые компоненты позволят обрабатывать сырую нефть намного эффективнее, быстрее и с меньшими затратами. Также с помощью нанотехнологий нефтегазовая промышленность получит ряд датчиков и самовосстанавливающихся материалов, способных защищать окружающее пространство от утечек нефти.

Новые технологии для переработки легкого углеводородного сырья (специальные реакторы с нанопористыми каталитическими мембранами) будут способствовать обеспечению выполнения Россией принятых на себя обязательств по Киотскому протоколу. По оценкам, с помощью этих технологий можно перерабатывать до трети выбрасываемых в России в атмосферу попутных газов (т.е.

около 10 млрд. м³/год), что позволит обеспечить дополнительный объем стоимости продукции и услуг до 200 млрд рублей в год.

Как уже отмечалось, Россия владеет технологией изготовления светодиодов сверхвысокой яркости, непосредственно используемых для освещения жилья. В случае замещения ламп в различных светильниках на светодиоды к 2012 г. российский рынок светодиодной светотехники достигнет 70 млрд рублей. И продукция отечественной nanoиндустрии должна играть на нем определяющую роль [5.41].

При выработке структурной политики, выборе стратегий лидерства, опережающего или догоняющего развития, опережающей коммерциализации для отдельных отраслей, определении масштабов их государственной поддержки надо принимать во внимание внешние эффекты (экстерналии), проявляющиеся во влиянии этих отраслей на становление нового технологического уклада.

Производство нанопродукции, имеющей массовый спрос в гражданском секторе экономики, – средство удешевления поставок этой продукции и в оборонный сектор экономики. При этом важную роль в генерировании такого спроса должны сыграть заказы госкорпораций – РЖД, Газпром, Роснефть, Ростехнологии, региональные и муниципальные хозяйственные организации должны стать приобретателями передовой продукции нового технологического уклада. Определенные стимулы могут быть созданы и для массовых потребителей, включая запрет на приобретение устаревших, энергозатратных и экологоемких продуктов (к примеру, введенный в ряде развитых стран запрет на приобретение ламп накаливания).

Поскольку нанотехнологии – ключевой фактор зарождающегося шестого технологического уклада, ведущие позиции в соответствующей этому укладу инновационной конкуренции будет занимать тот, кто будет лидером в производстве приборостроительной базы для nanoиндустрии. Технологии создания наносистемной техники отсутствуют в действующем перечне критических технологий (присутствуют технологии механотроники и создания микросистемной техники). Обеспечивающие развитие nanoиндустриальной приборной базы научные исследования должны быть отнесены к приоритетным.

На сегодняшний день наша страна имеет довольно хорошие позиции в этой сфере. Как известно, в России существует производство необходимого в сфере наноиндустрии уникального оборудования, включая сверхвысоковакуумные комплексы, зондовые нанолаборатории, сканирующие зондовые микроскопы. Важно закрепление России на ведущих позициях с учетом перспективных требований к наносистемной технике и действий конкурентов.

Анализ распределения отечественных нанопроектов по уровню ожидаемых результатов показал, что доля уникальных проектов не превышает 3 %, что является тревожным индикатором, указывающим на вполне вероятные риски утраты отечественными учеными позиций в мировом «нанопространстве». НИР класса «Сенсоры и приборы» – единственное в России нанонаправление, по которому имеются уникальные разработки и отсутствуют невостребованные проекты [5.27].

Хотя в докладе руководителя Минобрнауки создание научного, аналитического и технологического оборудования для наноиндустрии [5.41] фигурирует как одно из приоритетных направлений НИОКР в сфере нанотехнологий, в «Программе развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года» этот приоритет в явном виде не выражен.

Как говорится в Стратегии развития электронной промышленности России на период до 2025 г., основное оборудование для наноэлектроники уже находится в стадии опытных образцов: степер-сканер экстремального ультрафиолета (EUV), установки нанопечати (наноимпринт), системы безмасочной литографии, атомарного импульса газофазного осаждения и т.д., и продолжение работ в этом направлении должно рассматриваться как один из приоритетов.

Необходим анализ патентной базы наносистемной техники с целью заблаговременного приобретения некоторых зарубежных лицензий. Государству следует предложить полностью оплачивать расходы отечественных авторов (индивидуальных изобретателей и небольших исследовательских организаций) отечественных перспективных разработок на их патентование при готовности авторов согласовывать с государством продажу лицензий на эти разработки [по некоторым оценкам стоимость европейского патента доходит до 115 – 120 тыс. евро, 5.42].

Особого внимания заслуживает приборостроение для нанометрологии [О современном состоянии метрологического обеспечения нанотехнологий, включая приборостроение для нанометрологии см. 5.43]. Следует иметь в виду, что освоение каждого нового технологического уровня в микро- и нанoeлектронике требует соответствующих изменений в метрологическом обеспечении производства. Утрата собственного спецтехнологического машиностроения вызывает необходимость приобретения всего комплекта технологического и контрольного оборудования за рубежом. Стоимость его чрезвычайно высока, она составляет величину порядка млн. долларов за единицу и доходит до значений 8 – 10 млн. долларов за отдельные, но самые главные виды оборудования (фотолитографические установки) [5.44].

Для снижения угроз, связанных с нанотехнологиями особое значение при развитии метрологии, стандартизации и сертификации в сфере нанотехнологий и наноматериалов приобретает такое направление, как экспресс-методы регистрации электрических, оптических, магнитных, акустических и других видов полей наноразмерных объектов и их влияния на экосистему.

5.7. Институты развития нового технологического уклада

В условиях инновационного соперничества большую роль играют тесные связи между производителями оборудования для новейших технологий и его потребителями, своего рода кластеризация подотраслей. Такое сотрудничество благоприятствует доведению оборудования до высоких кондиций. Ускоряется обновление оборудования в соответствии с меняющимися запросами потребителей. Как показал опыт Японии, фактическое запараллеливание проектирования новой конечной продукции и необходимого для ее производства оборудования – мощный фактор усиления конкурентных позиций в условиях инновационного соперничества.

Сохраняющаяся слабость межотраслевой координации инноваций дает определенные основания для столь категоричного утверждения, что НИС как система сегодня реально в России не существует, доминирует отраслевой, а не системный подход, поэтому НИС получается как набор элементов, а не система. Как следствие не используются механизмы конвергенции технологий, отраслей,

науки и образования и др. [5.45]. Изменить ситуацию призваны, в частности, федеральные целевые программы. Однако крайне низкий уровень координации диагностируется в качестве основного недостатка самих этих программ [5.27].

В ходе становления шестого технологического уклада формирование кластеров сопряженных производств охватит многие отрасли и подотрасли. Так в обозримой перспективе намечается сотрудничество производителей железнодорожной техники и производителей композитных материалов и продуктов нанотехнологий [5.46]. Эти продукты найдут применение в разработке и внедрении новых видов бумаги и картона [5.47]. Кроме того, предусматривается разработка методов получения быстрорастущих и высокопродуктивных лесных пород с заданными хозяйственными свойствами на основе биотехнологий, методов лесной генетики и селекции;

На новой технологической базе будут развиваться связь химической промышленности и других отраслей. Речь идет о создании этой промышленностью материалов на базе нанотехнологий со специфическими эксплуатационными свойствами (сверхпрочность, твердость, химо-термостойкость, химическая и каталитическая активность и др.) для аэрокосмической отрасли, атомных станций, авто-судостроения, для разработки и производства современных образцов вооружений, лекарственных препаратов и т.д. [5.48].

Трудно переоценить ту роль в координации инновационных процессов, которую играют крупные компании и бизнес-группы. Они являются системными интеграторами инновационного процесса, который проходит в самых разных звеньях инновационной системы – в университетах, в Академии наук, в малом бизнесе. Крупные наукоемкие компании могут взять на себя масштабные финансовые и технологические риски при разработке новых технологий. Такие компании контролируют сбытовые каналы, являются владельцами форматов и стандартов, что становится важным конкурентным преимуществом на высокотехнологичных рынках. Кроме того, они создают и развивают технологические платформы. Неразвитость подобных компаний – главная стратегическая слабость нашей национальной инновационной системы [5.49].

Дефицит интегрирующих компаний, узость круга стратегически ориентированных на технологическое развитие частных инвесторов, слабости финансовой системы, недостатки государственного

финансирования широкомасштабных проектов модернизации, трудности, с которыми сталкивается налаживание производства сложной продукции отечественного машиностроения – обстоятельства разворачивают промышленную политику в сторону установления контроля над ключевыми звеньями производственно-сбытового цикла в рамках госкорпораций. Эти трудности связаны с ослаблением кооперационных связей, которые рвутся, прежде всего, в производстве комплектующих деталей и малотоннажных средств, которые не всегда рентабельны, но жизненно необходимы для выпуска финальной продукции. К задачам госкорпораций можно отнести и централизацию дефицитных в нашей стране проектных и инжиниринговых компетенций.

Вместе с тем, госкорпорации не могут рассматриваться в качестве своеобразной панацеи становления нового технологического уклада – всепроникающий характер нанотехнологий и нанопродуктов свидетельствует об ограниченных возможностях выстраивания и обновления технологических связей за счет их локализации в рамках госкорпораций и вертикально-интегрированных холдингов, имеющих довольно инерционную организационную структуру.

Свойственные госкорпорациям варианты координации экономической деятельности, ориентированные на выпуск относительно типовой продукции, могут сочетаться с более мягкими вариантами интеграции в виде разного рода сетевых структур. Имеются в виду не только стратегические альянсы, но и кооперационные структуры, в которых выделяется лидер, выступающий интегратором разработок своих партнеров по инновационной деятельности.⁴ Такое лидерство позволяет претендовать и на соответствующую долю

⁴ Научный системный интегратор – так специалисты группы ОН-ЭКСИМ предлагают называть универсальную сетевую структуру, которая совмещает в себе массу функций— от постановки и обоснования задачи до внедрения разработанной технологии в промышленное производство. Ядро такой структуры — небольшая компания, сотрудники которой хорошо понимают рынок, способны сформулировать техническую задачу, разбить ее на составляющие и разместить заказы на выполнение разработок по всему миру. Затем в опытной лаборатории, которая также может находиться в любой стране, полученный продукт протестируют, после чего центральная компания разместит заказы на его производство в серийном масштабе, а затем начнет продавать его на глобальном рынке. (http://strf.ru/innovation.aspx?CatalogId=223&d_no=17205).

распределяемой между инновационными партнерами технологической ренты. Во многих случаях именно через лидерство в системной интеграции реализуема в современных условиях стратегия опережающей коммерциализации научных достижений. Временное участие в инновационной кооперации под руководством внешних лидеров может быть оправданным средством приобщения к опыту системной интеграции. Однако, чтобы не оставаться постоянно на вторых ролях, необходимы собственные исследования и разработки на прорывных направлениях.

В повестке дня остается формирование нормативной базы для «мягких» форм экономической интеграции предприятий взамен прекратившего свое действие Закона РФ «О финансово-промышленных группах». Среди задач такого рода нормативной базы – регламентация возможностей маневрирования ресурсами и обязательствами в рамках интегрированных структур.

Когда актуальной является задача расширения планового горизонта рыночных агентов, следует помнить об опыте японских керецу, продемонстрировавших способность решать долгосрочные задачи, опираясь на государственное индикативное планирование и преобладание стратегических инвесторов (поставщики, потребители, банки) среди своих акционеров.

Модернизация переходящих из пятого в шестой технологический уклад отраслей отечественной промышленности побудит их при наличии конкурентной среды самим искать перспективные научно-технические разработки, поддерживать научные исследования. Однако еще длительное время на этапе фундаментальных исследований новых технологий ключевая роль будет сохраняться за государством. Оно не устраняется от поддержки и прикладных исследований даже в достигших лидирующих позиций странах.

Среди актуальных мер государственной поддержки инновационного развития:

- субсидирование расходов на защиту интеллектуальной собственности на отечественные изобретения и разработки за рубежом;
- разрешение страховым компаниям и пенсионным фондам участвовать в венчурных проектах;
- сохранение информационной инфраструктуры научно-исследовательских работ, поддержание сети научно-технических

библиотек, субсидирование их деятельности по предоставлению услуг пользования информационными сетями и базами данных и закупке научной литературы;

- поддержание функционирования опытных стендов, экспериментальных установок и опытных производств, создание сети технологических центров и парков коллективного пользования;

- защита интеллектуальной собственности, обеспечение прав на нее;

- учет всех затрат предприятий на цели проведения НИОКР, модернизации производства и внедрения новых технологий в составе издержек производства, их освобождение от налогообложения;

- активное вовлечение в осуществление приоритетных направлений научно-технического потенциала СНГ [5.50].

Практика стимулирования НИОКР при помощи налоговых инструментов успешно существует во многих развитых странах [5.51]. С 2008 г. российским предприятиям разрешено относить на издержки производства 100% инвестиций в НИОКР. Это рассматривается как колоссальный прорыв, хотя во всем мире уже больше 10 лет действуют гораздо более серьезные налоговые льготы, позволяющие относить на издержки 120 – 150 % вложений в НИОКР. Причем не общий параметр по экономике, он дифференцируется по наиболее важным для той или иной страны секторам экономики [5.49]. Помимо такого косвенного (через налоговые льготы) оправдано и прямое софинансирование государством корпоративных исследований по приоритетным направлениям.

На этапе коммерциализации новых технологий частно-государственное партнерство приобретает особое значение. Уже дополнение перечня критических технологий более четким списком использующих их подотраслей, инновационные предприятия которых вправе рассчитывать на поддержку государства, способно существенно снизить риск частных инвестиций в новейшие производства.

Широко признаваемая ныне идея развития частно-государственного партнерства может, тем не менее, оказаться дискредитированной при упрощенном подходе к ее реализации. Такое упрощение просматривается в фокусировке внимания, прежде всего, на прямой финансовой подпитке государством частного бизнеса. Од-

нако не меньшее значение для инновационной активности этого бизнеса имеют спросовые ограничения. В этой связи одним из основных направлений частно-государственного партнерства призваны стать закупки созданными в России госкорпорациями для своих нужд продукции частных поставщиков.

Такое взаимодействие оправдано, например, при налаживании отечественным частным бизнесом производства элементной базы для микро- и нанoeлектроники. Участие в реализации проектов в этой сфере ведущих зарубежных технологических партнеров способно ускорить преодоление имеющегося здесь отставания нашей экономики.

Следует учитывать, что формирование перечня критических технологий имеет самое непосредственное отношение к реализации Федерального закона «О порядке осуществления иностранных инвестиций в хозяйственные общества, имеющие стратегическое значение для обеспечения обороны страны и безопасности государства». Расплывчатость формулировок этого перечня грозит невозможностью реализации позитивного потенциала технологического сотрудничества с иностранными партнерами в сферах, где оно способно ускорить преодоление отставания России от мировых лидеров. В таких случаях лучше не запрещать инвестиционное взаимодействие с иностранными обладателями передовых технологий, а научиться, по примеру Китая, четко оговаривать и отслеживать национальные технологические интересы.

Большое внимание, уделяемое в последние годы так называемым институтам развития и в стратегических разработках, и в практических мерах (Российская венчурная компания, Роснано, Банк развития, Инвестиционный фонд), обусловлено необходимостью обновления и укрепления связей между наукой и производством. Однако отдача от этих начинаний порой оказывается гораздо ниже ожидаемой. Так на грани ликвидации оказалась Российская венчурная компания, значительная часть денег которой размещена в банках, а не в инновационных проектах [5.52]. Таковы последствия низкой отдачи мелкофрагментарного обновления отсталого промышленного сектора страны [следует отметить, что вопросы к отдаче от венчурных инвестиций в нанотехнологии возникают не только при отсталости промышленного сектора. Мировые объемы венчурного финансирования нанотехнологий в 2006 – 2007 гг. сни-

зились с 738 до 702 млн долл., 5.27]. Среди основных резервов повышения эффективности институтов развития – смещение их активности в направлении поддержки проектов, предусматривающих отечественное лидерство в системной интеграции.

На результатах деятельности российских институтов развития сказываются и завышенные ожидания от инновационной активности мелких фирм. Помогать становлению мелких фирм нужно, но не следует ожидать (как это нередко делают), что увеличение их числа непосредственно выведет нас на инновационный путь развития [5.53].

Широко признано, что одним из наиболее слабых мест отечественной инновационной системы является низкая активность в сфере коммерциализации научных разработок. Принципиальный вклад в изменение такой ситуации, как было представлено выше, должно внести преодоление отсталости отраслей, способных служить массовым рынком сбыта для новых продуктов и технологий.

Даже при наличии такого рынка, специалисты по коммерциализации научных разработок не могут быть в достаточной количестве рекрутированы из самой научной среды. Подготовка, своего рода селекция этих специалистов должна быть выделена в отдельное направление научно-технической политики. Такие специалисты могут сформироваться только при тесных связях образовательных учреждений с наукой и бизнесом, только общаясь с энтузиастами системной интеграции и коммерциализации, приобщаясь к их менталитету и ценностям.

Для этого наряду с государственной поддержкой развития фундаментальных исследований в университетах, необходимо стимулирование преподавательской деятельности сотрудников научных институтов, исследовательских подразделений промышленных фирм. В частности, для таких сотрудников оправдано применение своих нормативов преподавательской нагрузки при их работе по совместительству в образовательных учреждениях. В условиях дефицита отечественных инжиниринговых компетенций целесообразно привлечение к преподаванию иностранных специалистов соответствующего профиля. К тому же, эти специалисты – носители информации о передовых зарубежных технологиях, еще не применяемых в нашей стране.

Уже имеющий длительную историю опыт создания образовательных центров в наукоградах следует сочетать с формированием в них или достаточно близком расстоянии технологических зон, технопарков, технохабов.⁵

Естественная форма интеграции науки и производства – это исследования, проводимые самими производственными компаниями. Хотя к осуществлению таких исследований подталкивает инновационная конкуренция, многие развитые страны предпринимают дополнительные меры по их стимулированию. Например, в 2005 г. правительство Бельгии приняло решение стимулировать научную активность частного сектора, снизив налог на заработную плату ученых. Компании, ведущие НИР или сотрудничающие с научными организациями, могут оставлять себе 50 % от объема налогов с заработной платы. Похожие меры реализуются в Италии: здесь с 2003 г. налоговую субсидию получают предприятия, не менее 10 % прибыли которых используются для финансирования издержек на научный персонал. Налоговую субсидию в размере 10 % от подоходного налога получают научные работники, вернувшиеся в Италию с постоянного места жительства за рубежом (в течение пяти лет после возвращения). В Норвегии в 2002 г. запущена программа по налоговому стимулированию «Skattefunn», которая также ориентирована на поддержку научных кадров [5.27]. Такого рода меры оправданы и в нашей стране.

⁵ По словам А. Корзникова, руководителя специального проекта группы ОНЭКСИМ, технохаб — это комплекс из офисов и научных лабораторий, в котором, помимо вполне «технопарковых» элементов, также есть: 1) производственные помещения, где можно разместить мастерские, чтобы изготовить то, что нарисовано на бумаге; 2) стендовые залы, где можно испытать модельные образцы и посмотреть результаты. К руководству таким технохабом предполагается привлекать управляющую компанию с мировым именем, а в качестве резидентов — как отечественные, так и зарубежные компании. Технохабы рассматриваются как «мостики» между наукой и бизнесом, обеспечивающие: 1) трансфер знаний и изобретений в технологии, а также трансфер технологий — в коммерческие продукты; 2) необходимую концентрацию венчурного капитала для запуска инновационного бизнеса; 3) создание сети суперсовременных научно-технических центров, которые могут являться частью технохаба. (http://strf.ru/innovation.aspx?CatalogId=223&d_no=17205)

5.8. Макроэкономические условия опережающего развития российской экономики

Несмотря на происходящее в последние годы оживление экономики, ее общее состояние определяется последствиями предшествующего продолжительного и резкого падения производства и инвестиций. К 1998 г. уровень производства в России сократился по сравнению с 1990 г. на 42 %, а инвестиции в основной капитал – на 79 %. Хотя с 1999 г. наблюдается устойчивый рост ВВП, сегодня он едва дотягивает до дореформенного уровня (рис. 5.5, [5.54, 5.55, 5.56]) и остается меньше, чем в любой стране «восьмерки», вдвое меньше, чем в Индии и вчетверо меньше, чем в Китае.

При этом существенно ухудшилась структура производства – в отличие от других успешно развивающихся стран, наращивающих производство товаров с высокой добавленной стоимостью, в России увеличение ВВП обеспечивалось главным образом экспортом энергоносителей и ростом торговли. В структуре промышленного производства резко выросла доля топливно-энергетического и химико-металлургического комплексов при сокращении доли машиностроения (рис. 5.6) – характерная черта стран сырьевой периферии. Отрасли с высокой добавленной стоимостью продолжали деградировать. Наибольшие разрушения произошли в наукоемкой промышленности, инвестиционном и сельскохозяйственном машиностроении, в легкой промышленности и производстве промышленных товаров народного потребления, где уровень производства упал во много раз, а также в отраслевой науке.

Падение объемов производства пока не сопровождалось столь же масштабным выбытием основных фондов. Вместе с тем вследствие четырехкратного сокращения производственных инвестиций степень их износа достигла в прошлом году более 46 % [5.60]. При этом коэффициент обновления составил 3,4 %, предопределяя нарастающее технологическое отставание российской экономики. Средний возраст оборудования превысил 20 – 30 лет, что вдвое больше, чем в развитых странах. При этом наиболее серьезный регресс охватил самые современные производства и, на фоне продолжающегося в мире НТП, выразился в отставании России на 15 – 20 лет по уровню развития ключевых технологий современного технологического уклада. Большинство производств ядра совре-

менного ТУ, практически свернуто, произошло фактически полное их вытеснение с внутреннего рынка импортными аналогами.

На мировых рынках высокотехнологичной продукции Россия занимает менее 0,3 % – это более чем на 2 порядка меньше, чем США, на порядок меньше, чем Мексика, втрое меньше, чем Филиппины [5.61]. По оценкам экспертов, производства высокотехнологической бытовой электроники, приборостроение и станкостроение оказались в зоне «некомпенсируемого технологического отставания» [5.62]. Стремительное разрушение ядра современного технологического уклада означает разрушение технологической основы устойчивого экономического роста, закрепление отсталости российской экономики.

Выше было показано, что структурный кризис преодолевается внедрением новых технологий, открывающих производственные возможности, освоение которых обеспечивает прорыв в повышении эффективности экономики и переход к новому этапу ее роста. При нормальном течении кризиса сокращение экономической активности не затрагивает перспективных производств нового технологического уклада, имеющих потенциал роста и способных стать «локомотивами» будущего экономического развития страны. Наоборот, в это время на фоне общего спада наблюдаются рост производства принципиально новых товаров, подъем инвестиционной и инновационной активности в перспективных направлениях. Инвестиции в новые технологии, оказываются более привлекательны, чем в теряющие рентабельность сложившиеся воспроизводственные структуры. Происходит «созидательное разрушение» [5.63] технологической структуры, ее модернизация на основе расширения нового технологического уклада, что создает новые возможности для экономического роста. При этом происходит переток капитала из устаревших производств в новые, так как продолжение инвестиций в сложившихся направлениях оказывается более рискованным, чем инвестиции в нововведения [5.64].

Экономический кризис в России кардинально отличается от классического механизма обновления технологической структуры экономики и носит патологический характер. Спад производства в высокотехнологичных отраслях оказался намного больше среднего по промышленности. При этом спад производства тем больше, чем выше технический уровень отрасли. Резко снизилась инновацион-

ная активность предприятий. Если в конце 80-х годов доля промышленных предприятий, ведущих разработку и внедрение нововведений в СССР, составляла около 2/3, то к настоящему времени она снизилась ниже 10% (в развитых странах эта доля превышает 70 %) [5.65]. Интенсивность инновационной деятельности в обрабатывающей промышленности упала до 1 %, а уровень инновационности продукции снизился до 10 % [5.8].

Самые серьезные разрушения произошли в научно-техническом потенциале страны, который является главным источником современного экономического роста. При этом наибольшему разрушению подверглась прикладная наука, ставшая жертвой приватизации, уничтожившей большую часть отраслевых НИИ и КБ. В результате корпоративный сектор остался без науки. В развитых странах корпоративными промышленными структурами выполняются 2/3 НИОКР, в то время как в России всего 6 % [5.66].

Дальнейшее снижение конкурентоспособности российской экономики предопределяется профилем ее инновационной системы – по всем показателям инновационной активности она существенно отстает от развитых стран (рис. 5.7, [5.8]).

В структуре затрат на технологические инновации в промышленности доминируют маркетинговые исследования и производственное проектирование (50 %), в то время как затраты на НИОКР составляют лишь 10 %, в то время как в развитых странах это соотношение обратное [5.67]. То есть освоение новой техники приобретает явно имитационный характер.

Стремительная деградация научно-производственного потенциала страны предопределяет сползание российской экономики на периферию мировой экономической системы. Сырьевая специализация, крайне низкая оплата труда, ничтожное финансирование научных исследований, бегство капитала и утечка умов, вымывание национального дохода через обслуживание внешнего долга, – все эти характерные черты периферийной страны сегодня в полной мере присущи российской экономике. По показателям средней продолжительности жизни, доли оплаты труда в используемом ВВП, индексу развития человеческого капитала, доли вывозимого капитала в фонде накопления Россия опустилась до уровня отстающих стран.

Проведенные выше измерения показали сохраняющуюся технологическую многоукладность российской экономики, воспроизводство которой приобрело патологические черты. Если в успешно развивающихся странах технологическая многоукладность преодолевается за счет относительно более высоких темпов развития передовых технологических укладов (темп роста пятого ТУ в новых индустриальных странах, Китае Индии, Бразилии более чем пятикратно превышает общие темпы экономического роста), то в Российской экономике, наоборот, наблюдается снижение их веса.

Экономика распалась на относительно благополучный экспортно-ориентированный сырьевой сектор и сужающийся под давлением импорта внутренний сектор, который все больше отстает от зарубежных конкурентов и разрушается. При этом воспроизводственный контур сырьевого сектора замкнулся на мировой рынок, изолируясь от внутреннего. В результате доходы от экспорта сырья и энергоносителей остаются за рубежом, лишь в незначительной степени трансформируясь в спрос на отечественную продукцию, что лишает экономику механизмов самостоятельного воспроизводства. Это наглядно видно по национальному профилю российской промышленности (рис. 5.8, [5.68]).

Дезинтеграция экономики усиливается в процессе воспроизводства сложившихся контуров перераспределения добавленной стоимости между секторами. По оценкам [5.69], через «ножницы цен» и заниженный курс национальной валюты внутренне ориентированный сектор передавал экспортно-ориентированному сектору и торговле большую часть создаваемой им добавленной стоимости. В свою очередь, денежные власти изымали из экспортно-ориентированного сектора около 7 % ВВП в Стабилизационный фонд, размещая его за рубежом. Более чем пятикратное превышение нормы прибыли в экспортно-ориентированном секторе по сравнению с внутренне ориентированным постоянно воспроизводит и усиливает их разрыв, отражаясь в более чем двукратном различии интенсивности обновления основных фондов, возможностях привлечения трудовых ресурсов и инвестиций [5.69]. И в настоящее время, по свидетельству МЭРТ, главным источником роста инвестиций остается добывающий сектор [5.70].

Вместе с резким сокращением производства наукоемкой продукции эти тенденции обрекают российскую экономику на некви-

валентный внешнеэкономический обмен и нарастающее технологическое отставание. Экспортируя сырье и импортируя готовые изделия, Россия теряет невозпроизводимую природную ренту, обменивая ее на интеллектуальную ренту и финансируя, таким образом, научно-технический прогресс и экономический рост за рубежом.

Хаотическая ломка структуры российской экономики в ходе радикальных реформ привела к ее дезинтеграции и распаду некогда целостных технологических цепочек на автономные элементы, частично встроившиеся во внешние воспроизводственные контуры. «Сухим остатком» этой политики стал вывоз из России более полу триллиона долларов капитала, половина из которого осуществлена самим государством.

Игнорирование структурных особенностей российской экономики и линия на самоустранение государства от ответственности за ее регулирование – в надежде на автоматическое действие механизмов рыночной самоорганизации – спровоцировало процессы дезинтеграции экономики и нарастания хаоса. Примитивизация экономической политики и ее сведение к постулатам «Вашингтонского консенсуса» неизбежно влекли за собой разрушение основных воспроизводственных контуров экономики и ее распад на автономно функционирующие сектора.

Преодоление тенденций деградации научно-производственного потенциала требует резкого наращивания инвестиционной и инновационной активности. Согласно оценкам Л.И. Абалкина, «для реальной модернизации экономики отечественные инвестиции в течение ближайших 15 лет должны расти примерно на 18 % к предыдущему году. Такова первая и решающая предпосылка создания благоприятного инвестиционного климата» [5.71, с. 6-7]. По нашим оценкам, для выхода в режим расширенного воспроизводства основного капитала объем производственных инвестиций должен быть увеличен вдвое, а НИОКР – втрое. Сделать это надо в ближайшие два-три года, поскольку вследствие запредельного износа устаревших производственных фондов до половины их может выбыть уже до конца текущего десятилетия [5.72].

Имеющиеся механизмы инвестиционной деятельности не способны решить эту задачу. Ни фондовый рынок, ни банковская система не выполняют своих функций по аккумулярованию сбереже-

ний и их трансформации в инвестиции. Главными инвесторами являются сами производственные предприятия, на долю которых приходится более 60% всего объема инвестиций в промышленности. При этом в отсутствие реальных механизмов рефинансирования Центральным банком трудно рассчитывать на то, что банковская система сможет обеспечить необходимый уровень инвестиционной активности. Ограниченность финансовых возможностей обновления производства сохраняется, занимая первое место среди факторов, которые мешают развитию 4/5 общего числа предприятий [5.73]. При этом совокупный вклад банков в финансирование инвестиций в основной капитал не превышает 10 %. Еще меньше инвестиционный вклад фондового рынка, который в России обслуживает главным образом финансовых спекулянтов.

Вместе с тем финансовые возможности предприятий, несущих основную нагрузку поддержания инвестиционной активности в экономике, весьма ограничены (рис. 5.9). Объем амортизационных отчислений, являющихся главным источником финансирования инвестиций, составляет 2,2 % к объему основных фондов (в 1990 г. – 14 %) при необходимости их обновления наполовину. Как отмечается в [5.74] «ежегодный износ фондов в промышленности составляет 5-7%, а их восстановление – 1 – 1,5 %. Фактически имеется постоянный дисбаланс «износ-восстановление» в пропорции примерно 3:1, что делает неизбежным полную изношенность всех основных фондов. Так, износ энергетического оборудования большинства крупнейших тепловых электростанций превышает 60 % (рис. 5.10).

Невелики и возможности финансирования инвестиций за счет прибыли. За исключением экспортно-ориентированных отраслей топливно-энергетического и химико-металлургического комплексов, в которых объем прибыли остается весьма высоким благодаря благоприятной внешнеэкономической конъюнктуре, рентабельность во внутренне ориентированных отраслях промышленности в среднем составляет около 6 – 8 %, не позволяя финансировать расширенное воспроизводство основного капитала.

Треть предприятий обрабатывающей промышленности, строительства, сельского хозяйства являются хронически убыточными [5.70, 5.75]. Как констатируется в [5.76, с. 29 – 33] «анализ рентабельности активов нефинансовых корпораций показывает, что

предлагаемые на макроуровне финансового рынка условия кредитования доступны только организациям, занимающимся добычей полезных ископаемых, производством кокса и нефтепродуктов, химическим и металлургическим производством, а также организациям связи».

Наряду с охарактеризованным выше распадом экономики на внешне и внутренне ориентированные воспроизводственные контуры, в результате проводившейся макроэкономической политики произошла дезинтеграции финансовой и производственной сфер. Первая – сфера обращения капитала – характеризуется сверхвысокими прибылями и высокой скоростью обращения денег, относительно невысокими рисками. Вторая – производственная сфера – характеризуется низкой прибыльностью и низкой скоростью обращения денег, высокими рисками и общей деградацией производственного потенциала.

Дезинтеграция экономики стала следствием процессов перераспределения национального богатства через приватизацию, финансовые пирамиды, экспорт природных ресурсов. Интенсивность этого перераспределения была чрезвычайно высокой, ежегодно составляя до половины всего фонда накопления страны, присваивавшегося олигархическими кланами и вывозимого из страны. В свою очередь, взвинчивание цен на топливные и сырьевые товары повлекло вымывание капитала из обрабатывающей промышленности, сельского хозяйства и строительства. Последние отрасли лишились оборотного капитала, «ушедшего» через «ножницы цен» и завышенные процентные ставки по привлекаемым кредитам. В результате только предприятия сырьевого экспортно-ориентированного сектора имели доступ к ресурсам финансового рынка (рис. 5.11, [5.70, 5.77]). При этом сверхприбыли от экспорта энергоносителей и сырьевых товаров не трансформировались в прирост инвестиций и оставались, в основном, за рубежом.

Анализ конкурентоспособности отраслей российской экономики свидетельствует о неопределенности дальнейшего развития даже передовых по техническому уровню производств оборонного, авиакосмического и электротехнического машиностроения [5.62]. Вырваться из сырьевой ловушки с каждым годом становится все сложнее вследствие нарастающей глобальной конкуренции, в которой Россия явно проигрывает. Необратимо упущены возможности

встраивания в ядро пятого технологического уклада, имевшиеся предпосылки которого не были использованы. Возможности своевременного формирования ключевых направлений развития шестого технологического уклада сужаются по мере его структурирования в масштабах мировой экономики и соответствующей страновой специализации.

Чтобы выйти из тупика, необходимо кардинально изменить экономическую политику государства. Она должна основываться на наращивании национальных конкурентных преимуществ, на магистральных направлениях формирования нового технологического уклада. Для этого требуется соответствующая концентрация имеющихся в стране финансовых, информационных и интеллектуальных ресурсов. Необходимые для этого стимулы дает втягивание российской экономики в глобальный финансовый кризис.

5.9. Всемирное стимулирование становления нового технологического уклада как основное направление антикризисной политики

Предпринимавшиеся до настоящего времени антикризисные меры не смогли предотвратить его перерастания в глубокий спад промышленного производства, чреватый втягиванием экономики в длительную депрессию. Как и в других странах «восьмерки» они в основном свелись к денежной эмиссии в поддержку банковского сектора и девальвации национальной валюты. Падения производства можно было бы избежать, если бы предоставление банкам дешевых денег было бы увязано с их целевым использованием для кредитования производственной деятельности, а также дополнено мерами по стимулированию конечного спроса, инвестиционной и инновационной активности.

При планировании антикризисных мер было сделано, по меньшей мере, три стратегические ошибки. Во-первых, неверно был поставлен диагноз – кризис рассматривался как финансовый и краткосрочный, в то время как он является структурным и длительным. Во-вторых, неверно был выбран главный объект приложения антикризисных мер – банковская система и финансовый рынок. На самом деле, меры по спасению банковской системы должны были рассматриваться в контексте более широкой программы

предотвращения экономической депрессии. В-третьих, вместо использования рыночных механизмов упор был сделан на административные меры, которые в отсутствие стратегического плана и норм ответственности оказались малоэффективными и расточительными. Размещение полутора триллионов рублей в коммерческих банках без обеспечения обернулось вывозом полусотни миллиардов долларов за рубеж и дестабилизацией курса рубля.

Этих ошибок можно было бы избежать, если бы к планированию антикризисных мер были привлечены ученые Секции экономики РАН, давно выступавшие с предостережениями в отношении кризиса глобальной финансовой системы и своевременно выдвигавшие предложения по опережающей модернизации российской экономики на основе нового технологического уклада.

Итоги первого этапа борьбы с последствиями глобального финансового кризиса:

- утрата 200 млрд долл. валютных резервов, в том числе около 100 млрд долл. вывезенного за рубеж капитала;
- сокращение денежной массы и удорожание кредита для конечных заемщиков;
- резкое (более чем на 15 %) снижение инвестиций в развитие производства;
- разорение сотен тысяч граждан, взявших потребительские и ипотечные кредиты в иностранной валюте;
- падение промышленного производства более чем на 10%, в том числе обвальная спад машиностроения;
- девальвация рубля на 40 % и утрата доверия к российской валюте, возвращение к долларизации экономики;
- повышение инфляции до 18 % в расчете на год;
- рост безработицы на миллион человек, не считая скрытой безработицы, затронувшей более 4 млн чел.;
- обогащение более чем на полтриллиона рублей небольшой группы влиятельных банкиров, получивших доступ к беззалоговым и низкорпроцентным кредитам и использовавших их на спекуляции против рубля.

Последний из перечисленных результатов антикризисных мер возможно объясняет их явную несбалансированность, породившую

мощные завихрения на финансовом рынке, так и оставшемся недоступным для предприятий реального сектора. Образовался **порочный круг** следующего характера: эмиссия дешевых кредитов Центробанком в пользу группы коммерческих банков – их конвертация в доллары и евро – сокращение валютных резервов – девальвация рубля – рост инфляции – повышение ставки рефинансирования (как средство противодействия) – удорожание кредитов – снижение денежной массы – спад производства – ожидание дальнейшей девальвации –

В результате этого порочного круга антикризисные меры дали противоположный планируемому результат. Согласно заявленным целям антикризисной политики кредитные вливания в экономику должны были обеспечить должную финансовую поддержку реальному сектору экономики, предотвратив падение производства. В действительности же они не предотвратили снижение предложения рублевых кредитов и ухудшение условий кредитования реального сектора экономики. Этого можно было бы легко избежать, предварительно разорвав связи охарактеризованного выше порочного круга.

1. Коммерческие банки не смогли бы конвертировать полученные от государства кредиты в иностранную валюту, если бы ЦБ зафиксировал их валютную позицию, обеспечив неувеличение остатков по валютным счетам. Кроме того, вывоз капитала за рубеж можно было бы существенно снизить и осложнить восстановлением элементарных норм валютного контроля.

2. Коммерческие банки вынуждены были бы довести эмитированные ЦБ кредиты до предприятий реального сектора, если бы они выдавались под залог их векселей, а не без залога.

3. Если бы денежные власти вместо заявлений о грядущей девальвации рубля зафиксировали бы курс рубля на период антикризисных мер, то получившие кредитные ресурсы коммерческие банки не стали бы их направлять на спекуляции против рубля, а вынуждены были бы расширить кредитование своих клиентов, что обеспечило бы поток дешевых кредитов в реальный сектор.

В настоящее время денежные власти, пытаясь применить дискредитировавшие себя монетаристские рецепты для борьбы с инфляцией, провоцируют образование **следующего порочного круга**: секвестр федерального и региональных бюджетов – сокращение

конечного спроса – дальнейший спад производства – нарастание неплатежей – повышение инфляции – снижение реальных доходов – сокращение спроса

Эту спираль сжатия производства и демонетизации экономики вследствие монетарных методов подавления инфляции российская экономика пережила в первой половине 90-х годов с катастрофическими последствиями. Сегодня мы рискуем их повторить, если пойдем по пути сокращения государственных расходов. Тем более, что после кредитной накачки банковской системы более чем на 3 триллиона рублей попытка сэкономить 1 – 2 триллиона на сокращении жизненно важных расходов государства выглядит неубедительно. Ведь в отличие от безответственного использования государственных кредитов в ущерб интересам государства коммерческими банками, государственные расходы жестко контролируются казначейством и не могут быть использованы нецелевым и, тем более, разрушительным образом.

Денежная эмиссия посредством государственного бюджета выглядит предпочтительней и с точки зрения денежной политики. Не случайно ФРС США эмитирует деньги почти исключительно под казначейские обязательства, направляя 90 % эмитируемых долларов на кредитование дефицита госбюджета. В отличие от использования кредитов коммерческими банками на выкуп валютных резервов, деньги, поступающие в экономику через госрасходы, в ней и остаются, способствуя монетизации экономики и поддержанию производства. И наоборот, как показал опыт 90-х годов, секвестр госрасходов на 1 рубль порождает неплатежи на 5 – 6 рублей, вызывая разрушение производственно-технологических связей и спад производства.

Следует заметить, что охарактеризованные выше порочные круги антикризисной политики являются продолжением порочных кругов, сложившихся на предыдущем этапе из-за проводившейся макроэкономической политики. Наиболее важным из них был *порочный круг внешних заимствований*, образовавшийся вследствие жесткой привязки эмиссии рублей к покупке долларов и евро в валютный резерв при количественных ограничениях прироста денежной массы: избыточное предложение нефтедолларов – эмиссия рублей на их приобретение по регулируемому курсу рубля сверх установленных ограничений – стерилизация денежной массы – за-

вышение ставки рефинансирования – переключение российских организаций на внешние источники дешевых кредитов – увеличение предложения иностранной валюты – ...

Следствием этого порочного круга стала привязка эмиссии рублей к иностранным источникам кредита, что поставило российскую финансовую систему в жесткую зависимость от внешних условий и стало причиной столь тяжелых для нас последствий глобального финансового кризиса. Сочетанием девальвации рубля и повышением ставки рефинансирования денежные власти по сути пытаются реанимировать этот порочный круг, втягивая российскую экономику в новый виток неэквивалентного обмена (в котором чистый ущерб российской экономике составлял в докризисный период около 50 млрд. долл. в год).

Исходя из изложенного представляется необходимым, во-первых, разорвать охарактеризованные выше порочные круги и не допустить появления новых. И, во-вторых, создать внутренние механизмы финансирования модернизации и расширенного воспроизводства экономики на основе нового технологического уклада.

Для решения первой задачи следует:

- воздержаться от секвестра федерального бюджета;
- прокредитовать дефициты региональных бюджетов посредством нерыночных займов, выкупаемых госструктурами за счет целевых кредитов ЦБ или резервного фонда;
- прекратить субсидирование банкиров каким-либо образом;
- зафиксировать валютную позицию коммерческих банков, наравне ее планомерное снижение;
- увеличить резервные требования по валютным операциям коммерческих банков;
- законодательно запретить выплату дивидендов за прошлый и нынешний год коммерческими банками и другими структурами, получившими государственную поддержку;
- запретить коммерческим банкам пересматривать кредитные соглашения в одностороннем порядке.

Решение второй задачи требует системы мер, адекватных природе нынешнего кризиса.

Основными причинами глобального кризиса являются: саморазрушение финансовой пирамиды долговых обязательств США; виртуализация финансовых операций (деривативы), повлекшая недо-

оценку финансовых рисков и отрыв финансового рынка от реального сектора экономики; обесценение значительной части капитала в условиях исчерпания возможностей экономического роста на основе доминирующего технологического уклада и связанного с этим структурного кризиса экономики ведущих стран.

Остановить разрастание кризиса глобальной валютно-финансовой системы могло бы одновременное списание обязательств по забалансовым деривативам и устранение дефицита бюджета и платежного баланса США. Поскольку ни то, ни другое не планируется, кризис будет углубляться.

Очевидными следствиями кризиса будут: обесценение значительной части финансового капитала; девальвация доллара и утрата им положения единственной мировой резервной валюты, региональная фрагментация мировой валютно-финансовой системы. Кризис закончится с перетоком оставшегося после коллапса долларовой финансовой пирамиды и других финансовых пузырей капитала в производства нового технологического уклада. Это произойдет после структурной перестройки мировой экономики на основе нового технологического уклада, которая продлится еще 3 – 5 лет и будет сопровождаться изменением состава ведущих компаний, стран и управленческих практик.

При правильной политике в результате кризиса Россия могла бы существенно улучшить свое положение в мировой экономике, добившись:

- 1) признания рубля в качестве одной из мировых валют,
- 2) многократного повышения мощности отечественной банковско-инвестиционной системы,
- 3) опережающего становления нового технологического уклада и подъема экономики на длинной волне его роста.

Для этого меры по преодолению финансового кризиса должны быть направлены на формирование отечественной инвестиционной системы и ориентированы на реализацию перспективных направлений формирования нового технологического уклада в соответствии с приоритетами, определенными в предыдущей главе. Эти приоритеты необходимо воплотить в соответствующих государственных целевых программах. Эмитируемые государством деньги на рефинансирование банков должны направляться, прежде всего, на финансирование внебюджетной части этих программ путем кре-

дитование предприятий, осваивающих перспективные производства нового технологического уклада.

Для этого должна быть создана система целевого управления денежным предложением в соответствии с приоритетами долгосрочной политики экономического развития на основе опережающего становления нового технологического уклада. При ее формировании можно воспользоваться опытом послевоенного восстановления Западной Европы (эмиссия под векселя производственных предприятий посредством рефинансирования коммерческих банков) или современного Китая (эмиссия под планы модернизации производственных предприятий через государственные банки). Можно также задействовать опыт финансового планирования в Индии (эмиссия под приоритетные направления развития) или управления кредитными потоками в Японии (эмиссия под государственные приоритеты).

Поучительным в нынешних условиях является опыт кредитования быстрого послевоенного развития Японии и Германии, который характеризовался высокой долей заемных средств в структуре капитала нефинансовых корпораций. Способность промышленных компаний резко наращивать свои инвестиции за счет заемного капитала актуальна и сегодня в условиях становления в экономике нового технологического уклада и обострения в этой связи инновационной конкуренции. Скорость технологического обновления производства, темпы наращивания выпуска конкурентоспособной продукции во многом зависят от того, насколько инвестиционные возможности корпорации выходят за рамки самофинансирования. Зарубежный опыт свидетельствует о том, что за счет выпуска акций финансируется относительно небольшая доля капиталовложений. Значение облигаций в этом плане гораздо выше, но весьма отличается по странам. Опыт Японии, Южной Кореи показывает, что банковские кредиты способны значительно перекрывать вклад облигаций и дополнительных эмиссий акций в финансировании корпоративного развития.

Складывающаяся в последнее время ситуация на финансовых рынках сильно сужает возможности привлечения средств частных инвесторов для эмиссионного финансирования производств нового технологического уклада. Данное обстоятельство усугубляет тенденцию, наблюдавшуюся в периоды становления предшествовав-

ших укладов. Речь идет о ведущей роли в эти периоды кредитного обеспечения технологического обновления производства.

Этой тенденции отвечает создание «Российской корпорации нанотехнологий» («Роснано»). В соответствии с Федеральным законом «О российской корпорации нанотехнологий» от 19 июля 2007 года №139-ФЗ направления расходования ее денежных средств предусматривают, в частности, финансирование проектов по внедрению нанотехнологий или производству продукции в сфере наноиндустрии в форме участия в уставных капиталах юридических лиц, в паевых инвестиционных фондах, инвестирующих средства в проекты в сфере нанотехнологий, в некоммерческих организациях, создаваемых в целях развития нанотехнологий, или в форме предоставления денежных средств на условиях возмездности, возвратности и срочности.

При резком снижении рыночной стоимости активов вариант долевого участия корпорации «Роснано» в уставном капитале осваивающих нанотехнологии производств становится менее привлекательным для инициаторов соответствующих проектов. В этих условиях нацеленность Корпорации на реализацию опционных программ для работников Корпорации, в том числе опционы на акции и доли в компаниях, создаваемых с участием Корпорации [5.78], может стать помехой для реализации ею своей миссии.

Должна получить дальнейшее развитие практика предоставления связанных кредитов, когда кредит по субсидированной государством ставке процента предоставляется при условии мобилизации собственных ресурсов бизнеса для реализации отвечающих народнохозяйственным приоритетам проектов.

Наш собственный и мировой опыт позволяет сконструировать оптимальные для управления структурной перестройкой экономики механизмы денежного предложения, замкнутые на кредитование ее реального сектора и приоритетные направления развития. Для этого необходимо ввести правовые нормы, регулирующие поведение банков должным образом: вместо кредитов без обеспечения увязать условия доступа к кредитному окну Центрального банка с обязательствами по целевому использованию получаемых кредитов. Это можно сделать комбинацией косвенных (рефинансирование под залог векселей платежеспособных предприятий) и прямых (софинансирование государственных программ, предоставле-

ние госгарантий) способов денежного предложения. При этом важно также четко определить меры ответственности за нецелевое использование получаемых от государства кредитных ресурсов, в том числе восстановить нормы валютного контроля.

После принятия всех перечисленных выше мер возможно наращивание денежного предложения как необходимое условие поддержания внутреннего спроса, подъема инвестиционной и инновационной активности. В отличие от эмитентов мировых валют кризис в России вызван не избытком денежного предложения и связанных с ним финансовых пузырей, а хронической недомонетизацией экономики, которая длительное время работала на износ вследствие острого недостатка инвестиций. Ставка на их привлечение из-за рубежа обернулась бегством собственного капитала и установлением иностранного контроля за значительной частью высокоприбыльных российских активов, ориентацией экономики на экспорт сырья. Сегодня необходимо сконцентрировать внимание на расширении внутреннего рынка, структурной перестройке экономики на основе нового технологического уклада, создании самодостаточной, опирающейся на внутренние источники денежного предложения, инвестиционной системы. Для этого необходимо предпринять следующие действия.

В денежной политике:

- 1.
2. Прекратить раздачу кредитов без обеспечения. Кардинально расширить ломбардный список Центрального банка, включив в него векселя высокотехнологических предприятий, осваивающих ключевые производства нового технологического уклада.
3. Наряду с ценными бумагами ломбардного списка использовать в качестве залога при рефинансировании коммерческих банков поручительства организаций-заказчиков федеральных целевых программ реализации перспективных направлений становления нового технологического уклада.
4. Увеличить сроки кредитов, выдаваемых на рефинансирование коммерческих банков, до двух-трех лет.
5. Отказаться от административного планирования количества денежной массы и базы. Перейти на косвенное регулирование денежного предложения посредством регулирования ставки рефи-

нансирования. Вести эмиссию рублей преимущественно на цели рефинансирования коммерческих банков, ограничив приобретение иностранной валюты задачей поддержания курса рубля на установленном уровне.

6. Снизить ставку рефинансирования до уровня, соответствующего средней норме рентабельности обрабатывающей промышленности. В дальнейшем снижение ставки рефинансирования увязывать с целями повышения экономической активности.

7. Ввести временное регулирование ставок процента по кредитам и депозитам, увязанное со ставкой рефинансирования. Ограничить предельную величину банковской маржи 4%.

В сфере ценообразования:

8. Заморозить на год-два регулируемые тарифы, включая тарифы на газ, тепло, электроэнергию, связь, перевозки магистральным транспортом.

9. Резко ужесточить антимонопольное регулирование. Провести антимонопольную кампанию с наказанием предприятий, злоупотребляющих монопольным положением путем завышения цен.

В стимулировании спроса:

10. Осуществлять государственные закупки, а также закупки контролируемых государством предприятий (прежде всего, Газпром, Роснефть, Аэрофлот, РЖД) товаров, производимых с применением нанотехнологий преимущественно у отечественных товаропроизводителей.

11. Разработать и осуществить программы модернизации транспортной и энергетической инфраструктуры с широким использованием достижений нового технологического уклада.

12. Разработать и осуществить программы модернизации ЖКХ с использованием нанотехнологий.

13. Отказаться от политики профицитного бюджета, установив предельный дефицит бюджета в 7% ВВП. Осуществлять его финансирование за счет эмиссии долгосрочных государственных обязательств под инвестиции в приоритетные направления становле-

ния нового технологического уклада, включаемых в ломбардный список Центробанка.

Для структурной перестройки экономики и ее модернизации на основе нового технологического уклада:

14. Целевое управление денежным предложением проводить с учетом приоритетов структурной политики, соответствующим образом определяя перечень предприятий, векселя которых включаются в ломбардный список Центробанка, предусматривая лимиты кредитных ресурсов на финансирование внебюджетных частей федеральных программ, используя госгарантии и иные регулирующие меры, создающие стимулы для направления средств в перспективные отрасли.

15. Активизировать работу государственных институтов развития по ключевым направлениям становления нового технологического уклада (нанотехнологии, биотехнологии, информационно-коммуникационные технологии), введя ответственность их руководителей за своевременное и эффективное освоение выделяемых средств.

16. Принять федеральный закон «О стратегическом планировании», в котором предусмотреть нормы планирования и контроля работы институтов развития, госкорпораций, а также требования к федеральным целевым программам.

17. Использовать средства Резервного фонда для импорта новейших технологий и защиты прав интеллектуальной собственности российских лиц за рубежом.

18. Удвоить государственные расходы на НИОКР, включая оборонный заказ.

19. Принять межгосударственную программу ЕврАзЭС по инновационным биотехнологиям.

20. Законодательно стимулировать освоение отечественной энергосберегающей и экологически чистой техники (светодиодов, солнечных батарей, нанопорошков, электромобилей, систем автоматизированного контроля за теплоснабжением в ЖКХ и пр.), введя как нормы по запрету эксплуатации энергорасточительных и экологически грязных технологий, так и льготы потребителям передовой техники.

Реализация перечисленных предложений позволит увязать меры антикризисной политики со стратегическими целями долгосрочно-

го развития российской экономики в соответствии с обоснованными выше приоритетами становления нового технологического уклада. Это позволит осуществить опережающее развитие составляющих его ядро производств, создать конкурентные преимущества в освоении нанотехнологий как его ключевого фактора и, тем самым, оседать новую длинную волну экономического роста, на гребне которой Россия сможет вернуться в число глобальных лидеров социально-экономического развития.

Список литературы

К главе 1

1.1. The Global Network for the Economics of Learning, Innovation and Competence Building Systems (www.globelics.org)/

1.2. Наука на пороге рынка / Под ред. С.Ю. Глазьева. М.: Экономика, 1992г.

1.3. Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. М.: ВлаДар, 1993.

1.4. Львов Д.С., Глазьев С.Ю. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП. // Экономика и математические методы. 1986. № 5.

1.5. Кузык Б.Н., Яковец Ю.В. Интегральный макропрогноз инновационно-технологической и структурной динамики экономики России на период до 2030 года / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец; авт. вступ. ст. А.Д. Некипелов. – М.: Институт экономических стратегий, 2006.

1.6. Румянцева С.Ю. Длинные волны в экономике: многофакторный анализ. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003.

1.7. Дементьев В.Е. Ловушка технологических заимствований и условия ее преодоления в двухсекторной модели экономики // Экономика и математические методы. 2006. №4.

1.8. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.

1.9. Румянцева С.Ю. Движущие силы длинных волн. Проблемы развития методологии Н.Д.Кондратьева // Вестн. СПбГУ, Сер. 5. Экономика. 1998, Вып.3, №19.

1.10. Forrester J.W. Innovations and Economic Change // Futures. 1981, vol 13, №13.

1.11. Глазьев С.Ю. Развитие российской экономики в условиях глобальных технологических сдвигов. Научный доклад. Москва, 2007. http://old.glazev.ru/econom_polit

1.12. Perez Carlota. Finance and technical change: A long-term view / Н. Hanusch and А. Pyka, eds., The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics. – Cheltenham: Edward Elgar, 2004.

1.13. Perez Carlota. Great Surges of Development and Alternative Forms of Globalization. 2007 (www.carlotaperez.org).

1.14. Berry V.J.L. Long-Wave Rhythms in Economic Development and Political Behaviour. - London, 1991, p. 122-125.

1.15. Румянцева С.Ю. Специфика смены парадигм длинноволновых технико-экономических колебаний // Вестн. СПбГУ. Сер. 5. Экономика, 1998, вып. 2, с. 74-79.

К главе 2

2.1. Perez Carlota. Technological Revolutions and Financial Capital, 2002.

2.2. Андрукович П.Ф. Долгосрочная и среднесрочная динамика индекса Доу-Джонса. <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=2005/2/04>

2.3. Крах доллара / Коллектив авторов, Издательство: Издатель Чернышова Н.Е., 2001 г.

2.4. Григорьев Л. Мониторинг мирового кризиса // Институт энергетики и финансов. #5 (30.04.2009), #4 (07.04.2009) <http://fief.ru/img/files/CrisisMonitor>.

2.5. Кононов В.Г., Криночкин И.Ю., Кундина Н.В., Остапук С.Ф. Программно-целевой подход к формированию nanoиндустрии в России. / Под ред. С.Б.Гальперина. – М.: Инс-т микроэкономики, 2008. – 298 с.

2.6. Инновационное развитие – основа модернизации экономики России: Национальный доклад. – М.: ИМЭМО РАН, ГУ-ВШЭ, 2008. – 168 с.

К главе 3

3.1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития // Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса и П.Аливисатоса: Пер. с англ. М.: Мир, 2002. – 292 с.

3.2. Глинк Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение: Пер. с англ. М.: Мир, 2002. С. 589.

3.3. В.И. Светцов. Нанотехника – современное состояние и перспективы развития. М. 2006.

3.4. Ю. Альтман. Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений. М.: Техносфера. 2008. – 424 с.

3.5. Богданов К. Нанотехнологии, деньги и статистика. М., 2005.

3.6. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение, 2007, 493 с.

3.7. Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006, 589 с.

3.8. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. М.: Техносфера, 2005, 446 с.

3.9. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника: Мировые достижения за 2005 год / Ред. П.П. Мальцев. М.: Техносфера, 2006, 149 с.

3.10. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005, 134 с.

3.11. Генералов М.В. Криохимическая нанотехнология. М.: Академкнига, 2006, 325 с.

3.12. Рамбиди Н.Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры. М.: Физматлит, 2007, 255 с.

3.13. Абрамян А.А. и др. Основы прикладной нанотехнологии. М.: Магистр-пресс, 2007, 197 с.

3.14. Гусев А.И. Наноматериалы. Наноструктуры. Нанотехнологии. М.: Физматлит, 2007, 415 с.

3.15. Пул-мл. Ч., Ф. Оуэнс. Нанотехнологии (Из-е 3-е). М.: Техносфера, 2007. – 376 с.

3.16. Taniguchi Nori, On the Basic Concept of 'Nano-Technology', Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974.

3.17. Перечень критических технологий Российской Федерации. (Утверждены Президентом РФ № Пр-578 от 30.03.2002).

3.18. Перечень критических технологий Российской Федерации. (Утверждены Президентом РФ 21.05.2006).

3.19. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации (утв. Президентом РФ 30 марта 2002 г. N Пр-577).

3.20. Концепция развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года (одобрена Правительством Российской Федерации 18 ноября 2004 г. № МФ-П7-6194).

3.21. Послание Президента РФ В.В. Путина Федеральному Собранию Российской Федерации (26 апреля 2007 года) <http://www.kremlin.ru/text/appears/2007/04/125339.shtml>

3.22. Основы политики российской федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу (Утверждены Президентом РФ 30 марта 2002 г. N Пр-576).

3.23. Программа координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в российской федерации (Распоряжение правительства РФ от 25 августа 2006 г. N 1188-р).

3.24. Указ Президента РФ от 07.09.2007 N 1152.

3.25. Федеральный закон «О российской корпорации нанотехнологий» 139-ФЗ (Подписан 19 июля 2007 г.).

3.26. Президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии» (Поручение Президента Российской Федерации от 24 апреля 2007 г. № Пр-688).

3.27. Концепция федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в российской федерации на 2008 – 2010 годы» (Распоряжение Правительства РФ от 14 июля 2007 г. N 937-р).

3.28. Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008 — 2010 годы» (Постановление Правительства РФ от 2 августа 2007 г. N 498).

3.29. «О Правительственном совете по нанотехнологиям» (Постановление правительства РФ № 364 от 9 июня 2007 г.

3.30. Распоряжение правительства РФ № 756-р (9 июня 2007 г.).

3.31. Распоряжение правительства РФ N 1183-р (7 сентября 2007 г.).

3.32. Распоряжение правительства РФ N 1941-р (29 декабря 2007 г.).

3.33. Распоряжение правительства РФ № 898-р (23 июня 2008 г.).

3.34. Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002 – 2006 годы (Постановление Правительства РФ от 21 августа 2001 г. N 605, в ред. Постановлений Правительства РФ от 14.11.2002 N 825, от 12.10.2004 N 540, с изм., внесенными распоряжением Правительства РФ от 21.10.2004 N 1355-р).

3.35. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 — 2012 годы» (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 июля 2006 г. № 977-р).

3.36. Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008 — 2012 годы (Утверждена

распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2008 г. N 233-р).

3.37. Программа развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года (ВЗ-П7-2702 от 4 мая 2008 г.) www.mon.gov.ru/work/nti/dok/str/nano15.doc.

3.38. Бобровский С. Из истории нанотехнологий. <http://www.nano-technology.org/populyarno-o-nanotehnologiyah/iz-istorii-nanotehnologiy>

3.39. Третьяков Ю.Д. Проблема развития нанотехнологии в России и за рубежом. www.nanometer.ru/2006/11/17/5819225

3.40. Нанотехнологии. Азбука для всех / Под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: Физматлит, 2008. – 368 с.

3.41. Морохов И.Д., Трусов Л.И., Чижик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. М.: Атомиздат, 1977.

3.42. Физико-химия ультрадисперсных систем / Под ред. И.В. Тананаева. М.: Наука, 1987.

3.43. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

3.44. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. – М.: Академкнига, 2007. – 398 с.

3.45. Лисовский Ю.А. Нанотехнологии в России – научный прорыв, экологическая катастрофа или финансовая чёрная дыра? <http://www.za-nauku.ru/index.php?option=com>. <http://www.progyvsi.ru/47>

3.46. Inventory of availability of nanotechnology indicators and statistics across OECD countries. <http://www.oecd.org/dataoecd/4/5/40057442.pdf>

3.47. Nanophotonics: Assessment of Technology and Market opportunities Report OM-31, 2005.

3.48. The Ethics and Politics of Nanotechnology (UNESCO, 2006). <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951e.pdf>.

3.49. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника: Мировые достижения – 2008 год: Англо-русский терминологический словарь по микро- и наносистемной технике / Под редакцией д.т.н., профессора Мальцева П.П. (Серия: Мир материалов и технологий). М.: Техносфера, 2008. – 432 с.

3.50. Borm PJA, Robbins D, Haubold S, Kuhlbusch T, Fissan H, Donaldson K, Schins R, Stone V, Kreyling W, Lademann J, Krutmann J, Warheit D, Oberdörster E: The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. Part Fibre Toxicol. 2006, 3:1–35.

3.51. Нанотехнологии и производимые наноматериалы: Возможности и задачи. Шестая сессия Межправительственного форума по химической безопасности. Дакар, Сенегал. 15 – 19 сентября 2008 г.

3.52. The Royal Society and the Royal Academy of Engineering: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties; 2004.

3.53. Meyer M, Kuusi O: Nanotechnology: Generalizations in an Interdisciplinary Field of Science and Technology (2002), Vol., No.2 (2004), pp. International Journal for Philosophy of Chemistry; 2002, 10: 153–168.

3.54. Schmidt G, Decker M, Ernst H, Fuchs H, Grunwald W, Grunwald A et al. Small dimensions and material properties. Europäische Akademie Graue Reihe. A definition of nanotechnology; 134; 2003. Bad Neuenahr.

3.55. Алферов Ж.И., Асеев А.Л., Гапонов С.В., Копьев П.С, Павнов В.И., Полторацкий Э.А., Сибельдин Н.Н., Сурис Р.А. Наноматериалы и нанотехнологии // Микросистемная техника. 2003. № 8. С. 3–13. <http://www.microsystems.ru/files/publ/601.htm>

3.56. Метрологическое обеспечение, стандартизация и оценка соответствия нанотехнологий и нанопродукции. (Аналитический обзор) Ростехрегулирование, ноябрь – 2007 г. <http://nano.extech.ru/nanoindustry/analytic.doc>

3.57. Троян В.И., Пушкин М.А., Тронин В.Н., Борман В.Д., Красовский П.А. Метрология и стандарты в области нанотехнологий. Измерительная техника. № 9 (2008) с.45–48.

3.58. Карта областей измерительных и нормативно-методических потребностей развития инфраструктуры национальной нанотехнологической сети [http://nano.extech.ru/rtf/field_3.doc]

3.59. Система сертификации «Наносертифика».

<http://www.nanonewsnet.ru/news/2008/nanosertifika>

3.60. Обоснование классификации отраслей наук в области нанотехнологий.

http://www.nanometer.ru/2008/12/16/nanotehnologii_i_nanomaterial

3.61. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 1: Basic concepts, nanomachines and medical nanodevices. 2006, 619 p.

3.62. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 2: Atomistic simulations – algorithms and methods. 2006, 794 p.

3.63. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 3: Quantum and molecular computing, quantum simulations. 2006, 724 p.

3.64. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 4: Nanomechanics and multiscale modeling. 2006, 642 p.

3.65. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 5: Transport phenomena and nanoscale processes. 2006, 833 p.

3.66. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 6: Bioinformatics, nanomedicine and drug design. 2006, 872 p.

3.67. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 7: Magnetic nanostructures and nano-optics. 2006, 769 p.

3.68. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 8: Functional nanomaterials, nanoparticles and polymer design. 2006, 880 p.

3.69. Handbook of theoretical and computational nanotechnology / ed. M.Rieth, W. Schommers. American Scientific Publ. Vol. 9: Nanocomposites, nano-assemblies and nanosurfaces. 2006, 794 p.

3.70. Суетин И. Полупроводниковые нанотехнологии: достижения и перспективы // Intel. 23.10.2008.

<http://www.rusnano.com/Publication.aspx?PublicationId=1004>

3.71. Киреев В. Технологии и оборудование для производства интегральных микросхем. Состояние и тенденции развития // Электроника. Наука. Технологии. Бизнес. 2004, № 7, с.72–77. Киреев В.. Микроэлектронное производство: законы экономической и технологической эффективности // Электроника. Наука. Технологии. Бизнес. 2007, вып.1.

3.72. The International Technology Roadmap for Semiconductors. Presentations from the 2007 ITRS Conference on 5 December 2007 in Makuhari Messe, Japan.

http://www.itrs.net/Links/2007Winter/2007_Winter_Presentations/Presentations.html

3.73. Handbook of Semiconductor manufacturing Technology/ Ed. by Y.Nishi and R. Doering: Marsell Dekker. Inc/2000.- 1157 pp.

3.74. Щука А.А. Нанoeлектроника. Учебное пособие (2-е издание). М.: Физматкнига, 2007.-464 с.

3.75. Mack C.A, Using learning curve theory to redefine Moore's Law // Solid State Technology, July,2003; Microlithography : Science and Technology/ Ed. by J.B. Sheats/ Marsell Dekker. Inc/1998; Silverman P.J. The Intel Lithography roadmap // Intel Technology Journal, 2002, V.6, №2.

3.76. Белые светодиоды. http://www.bright-leds.ru/page-white_led.html

3.77. Светодиоды – новые технологии рынка освещения. <http://www.leds.ru/an111.htm>

3.78. The Market for High-Brightness LEDs in Lighting Applications.– 2008. http://su.pennnet.com/report_display.cfm?rep_id=190

3.79. В.Кононов. MEMS-технологии – главный локомотив рынка сенсоров. http://www.3dnews.ru/news/mems_tehnologii_glavnii_lokomotiv_rinka_sensorov/

3.80. Борзенко А. Технология MEMS.

<http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=6756>

3.81. Мокеров В.Г. СВЧ–нанoeлектроника: состояние дел и перспективы развития (Институт СВЧ–полупроводниковой электроники РАН).

<http://www.miem.edu.ru/conf/nano/2008/abstract.php?id=20>

3.82. Мокеров В.Г. В России возможна своя твердотельная СВЧ–электроника. Электроника. Наука, технология, бизнес. 2003, вып. 8. <http://www.electronics.ru/issue/2003/8/1>

3.83. Устинов В.М. Полупроводниковые наногетероструктуры для СВЧ–техники. ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН. www.rusnanoforum.ru/

3.84. Алферов Ж.И. Перспективы электроники в России. Гетероструктурная электроника и акустоэлектроника // Электроника. Наука, технология, бизнес. 2004, вып.6.

<http://www.electronics.ru/issue/2004/6/23>.

3.85. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. Т.1,2. М.: Мир, 1981.

3.86. Алферов Ж.И. Полупроводниковые гетероструктуры – основа развития современной электроники и высокоэффективной энергетики // Доклад на Втором Международном форуме по нанотехнологиям, 6–8 октября 2009 г., Москва.

http://www.rusnanoforum.ru/sadm_files/Presentations/3%20december/Plannary%20hall/alferov.ppt#6

3.87. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // УФН, 2005, т.175, N1, с.3-39.

3.88. Федичкин Л. Квантовые компьютеры.

<http://nauka.relis.ru/07/0101/07101024.htm>

3.89. Алиева С. Нанотехнологии и безотходная цивилизация. 2008.

<http://www.zerkalo.az/rubric.php?id=35820&dd=9&mo=9&yr=2008>

3.90. Горынин И.В. Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области конструкционных наноматериалов. <http://nano.crisp-prometei.ru/nano-structure.pdf>

3.91. Путилов А. Разработки ФГУП ВНИИНМ в области нанотехнологий и наноматериалов. <http://rusnanonet.ru/articles/5365/>

3.92. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применение. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006, 293 с.

3.93. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника: Мировые достижения за 2005 год / Ред. П.П. Мальцев. М.: Техносфера, 2006, 149 с.

3.94. Петрунин В.Ф. Ультрадисперсные (нано) порошки – перспективные наноматериалы // Сборник научных трудов VII Всероссийской конференции «Физикохимия ультрадисперсных (нано) систем. М.: МИФИ, 2006. 10-14 с.

3.95. NSB: Нанотехнология сверхизмельчения Башкирцева. <http://www.nanotech.kz/sb.php>

3.96. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника: Мировые достижения / Под ред. Мальцева П.П. М.: Техносфера, 2008.-432 с.

3.97. Кокорев Л.С., Харитонов В.В. Прямое преобразование энергии и термоядерные энергетические установки. М.: Атомиздат, 1980.–216 с.

3.98. Харитонов В.В. Энергетика. Технико-экономические основы: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007. – 344 с.

3.99. Miziolek A.W. Nanoenergetics: An emerging technology area of national importance. АМРТИАС Quarterly, v6, N1.

3.100. Wang Z.L. Nanogenerators and Nanopiezotronics. IEEE International Electron Device Meeting, 10-12 Dec. 2007, pp. 371-375.

3.101. Кокорев Л.С., Харитонов В.В. Теплогидравлические расчеты и оптимизация ядерных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1986.–248 с. (Гл.2. Ядерно-водородная энергетика).

3.102. Кузык Б.Н., Яковец Ю.В. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике. М.: Институт экономических стратегий, 2007. В свободном доступе книга есть на www.kuzyk.ru

3.103. Наноструктурированная анодная фольга для алюминиевых электролитических конденсаторов и топливных элементов. <http://rusnanonet.ru/products/22057/>

3.104. Романченко В. IT-байки: термоэлектрические нанотехнологии для автомобиля. http://www.3dnews.ru/editorial/it_heat/

3.105. Roco M.C. Nanoscale Science and Engineering Education (NSF and NNI, US). 13 November 2008.

http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/nni_new_face.pdf

3.106. Асеев А. Будущее за нанозлектроникой. http://orange.strf.ru/client/news.aspx?ob_no=6158

3.107. Долгополов Н.В. (Заместитель директора НИИ систем безопасности ФГУП "СНПО "Элерон"). Нанотехнологии в системах безопасности. Предпосылки и тенденции использования. Источник: <http://www.secuteck.ru/>

К главе 4

4.1. а) Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование: Учебник. М.: Экономика, 2008. – 575 с.

б) Кононов В.Г., Криночкин И.Ю., Кундина Н.В., Остапюк С.Ф. Программно-целевой подход к формированию nanoиндустрии в России. / Под ред. С.Б. Гальперина. – М.: Инс-т микроэкономики, 2008. – 298 с.

4.2. Глазьев С.Ю. Развитие российской экономики в условиях глобальных технологических сдвигов: Научный доклад. Москва, 2007.

4.3. Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. М.: ВладДар, 1993.

4.4. а) Львов Д.С., Глазьев С.Ю., Фетисов Г.Г. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. М.: Наука, 1992 г.

б) Львов Д.С. Миссия России. М.: ГУУ, 2008. – 120 с.

4.5. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.

4.6. NANOTECHNOLOGY INTRODUCTION. What is Nanotechnology? Nanotechnology now. 29-Mar-2008. <http://www.nanotechnology.com/introduction.htm>

4.7. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития // Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса и П.Аливисатоса: Пер. с англ. М.: Мир, 2002. С. 292.

4.8. Гапоненко Н.В. Россия в русле глобальной гонки за лидерство в нанотехнологиях // Журнал «Инновации», 2007, № 12 (110), с. 37-44.

4.9. Андриевский Р.А. «Научный задел РОССИИ перед началом нанотехнологического бума». Наноиндустрия, 2007, №3, с. 12-15.

4.10. Kostoff R.N. et al. // J. Nanopart. Res., 2007, v. 9, p. 701-724.

4.11. Eaglesham D. The NANO Age? // MRS Bull. 2005, v. 30, pp. 260-264.

4.12. Маркусова В.А., Соколов А.В., Либкинд А.Н., Минин В.А. Вклад отечественной науки в мировую: результаты анализа баз данных и Института научной информации (США) // Вестник РФФИ, 2006, № 4, с. 11-22.

4.13. Маркетинговое исследование рынка нанотехнологий // 20.06.2008. RESEARCH TECHART. www.nanovip.com.

4.14. Андриевский Р.А. Бум без шума // Поиск, 2007, №2, с.6.

4.15. Негуляев Г.А., Ненахов Г.С. Нанотехнологии: проблемы патентования и экспертизы. Часть I. Патенты и лицензии, 2007, № 11, с. 21-26. Часть II. №12, с. 18-25.

4.16. Synthetische Nanomaterialien: Risikobeurteilung und Risikomanagement Grundlagenbericht zum Aktionsplan, Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU und vom Bundesamt für Gesundheit BAG, Bern, 2007.

4.17. Masatsura Igami and Teruo Okazaki. CAPTURING NANOTECHNOLOGY'S CURRENT STATE OF DEVELOPMENT VIA ANALYSIS OF PATENTS. DSTI/DOC(2007)4.-52 p.

<http://www.oalis.oecd.org/oalis/2007doc.nsf/>

4.18. Synthetische Nanomaterialien: Risikobeurteilung und Risikomanagement Grundlagenbericht zum Aktionsplan, Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU und vom Bundesamt für Gesundheit BAG, Bern, 2007.

4.19. 21st Century Nanotechnology Research and Development Act // PUBLIC LAW 108-153, DEC. 3, 2003, 117 STAT., p.1923.

4.20. Nanotechnology White Paper EPA 100/B-07/001.

4.21. Characterising the potential risks posed by engineered nanoparticles, A first UK Government research report (2005); Characterising the potential risks posed by engineered nanoparticles, UK Government research – a progress report (2006).

4.22. В Троян.И., Пушкин М.А., Тронин В.Н., Борман В.Д., Красовский П.А.. Метрология и стандарты в области нанотехнологий // Измерительная техника №9 (2008) с.45–48.

4.23. Метрологическое обеспечение, стандартизация и оценка соответствия нанотехнологий и нанопродукции (Аналитический обзор). Ростехрегулирование

ноябрь – 2007 г. <http://nano.extech.ru/nanoindustry/analytic.doc>.

4.24. Medical Device Daily's Nanotechnology R&D Report 2009. BioWorld. www.bioworld.com.

4.25. Инвестиции в биотехнологии: неоправданный риск или ставка на фаворита? www.k2kapital.com 14.09.2006.

4.26. Десятка лучших нанопродуктов 2005 года (Forbes). www.k2kapital.com/analytic/

4.27. Nanoscience and Nanotechnologies Report (July 2004). The Royal Academy of Engineering. www.raeng.org.uk/policy/reports/nanoscience.

4.28. Global market for nanotechnology slated for high growth through 2013. Nanotechnology: A Realistic Market Assessment (www.bccresearch.com/report). www.smalltimes.com/articles.

4.29. Gleiche M., Hoffschulz H., Lenher S. Nanotechnology in Consumer Products // Nanoforum Report. – 2006. – 25 October.

4.30. Angela Hullmann. The economic development of nanotechnology – An indicators based analysis. European Commission, DG Research. 28 November 2006. <http://cordis.europa.eu/nanotechnology>.

http://www.cetraonline.it/file_doc/262/nanoarticle_hullmann_nov2006.pdf.

4.31. E. Marla Felcher. The Consumer Products Safety Commission and Nanotechnology. PEN 14. August 21, 2008. – 36p. <http://www.nanotechproject.org/publications/archive/pen14>.

4.32. Шалманов С. Нанолазеры: будущее технологии и рынка. <http://cnews.ru/reviews/index.shtml?2002/10/21/136898>.

4.33. Значение прецизионного и метрологического оборудования для нанотехнологии на примере зарубежных достижений. <http://old.nanonewsnet.ru/index>.

К главе 5

5.1. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. Д.С. Львов, С.Ю, Глазьев, Г.Г. Фетисов. - // М.: Наука, 1992г.

5.2. Стратегия научно-технологического прорыва. Сборник научных трудов под ред. Ю.В. Яковца, О.М. Юня. М.: МФК, 2001

5.3. Проблемы информационной экономики. Вып. 5. Национальная инновационная система России: проблемы становления и развития: Сб. науч. трудов / Под ред. Р.М. Нижегородцева. М.: ЛЕНАНД, 2006, с. 10.

5.4. Сухарев О. Информационный сектор экономики: проблемы развития // Инвестиции в России. 2006. № 8.

5.5. Вальяно Д. Информационные технологии: расходная статья или фактор роста? // Межрегиональная группа ученых – институт проблем новой экономики. 2006. № 2–3.

5.6. Сорокин Д.Е. Россия перед вызовом.- М. Наука, 2003.

5.7. Федосов Е.А. Инновационный путь развития как магистральная мировая тенденция // Вестник Российской Академии Наук, 2006. №9

5.8. Голиченко О.Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития. М.: Наука, 2006.

5.9. Раткин Л. Нанотехнологический потенциал Российской экономики // Инвестиции в России. 2006. № 11.

5.10. Мясникова Л. Смена парадигмы. Новый глобальный проект // Мировая экономика и международные отношения. 2006. №6.

5.11. Бутби Д. Кто и почему едет в Северную Америку за степенью // Форсайт. 2007. № 4.

5.12. The National Nanotechnology Initiative - Strategic Plan. December 2007 (www.nano.gov).

5.13. The National Nanotechnology Initiative: Second Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel. Report of President's Council of Advisors on Science and Technology. April 2008.

5.14. The National Nanotechnology Initiative. Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health, and Safety Research. Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology Committee on Technology National Science and Technology Council. February, 2008.

5.15. Key Figures 2007. Towards a European Research Area Science, Technology and Innovation. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007.

5.16. A more research-intensive and integrated European Research Area. Science, Technology and Competitiveness key figures report 2008/2009. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008.

5.17. Towards a European strategy for nanotechnology. Commission of the European Communities. Brussels. 12.5.2004.

5.18. Hullmann A. The economic development of nanotechnology – An indicators based analysis. European Commission, DG Research. November 2006.

5.19. Дынкин А., Иванова Н. Инновационная динамика: глобальные тенденции и Россия // Проблемы теории и практики управления, 2008, №5.

5.20. China second to U.S. in nano 12-03-2007 (www.nanochina.cn).

5.21. International Journal of Nanotechnology. Special issue on Nanotechnology in China. January/February 2007.

5.22. Рей А. Конкурентные стратегии государства и фирм в экспортно-ориентированном развитии // Вопросы экономики. 2004. №8.

5.23. <http://www.china.org.cn>

5.24. <http://foresight.org/roadmaps>.

5.25. Протокол №3 заседания Конкурсной комиссии № 2 от 28 января 2008 года (www.fasi.gov.ru/fcp/compl/konkurs2008/fapsie/prot3-01-28n.doc).

5.26. Основные проблемы российской науки. Перспективные направления работ в области нанотехнологий в России. Онэксим группа. (<http://www.slideshare.net/onexim/nano-part1-2>).

5.27. Инновационное развитие – основа модернизации экономики России: Национальный доклад. – М.: ИМЭМО РАН, ГУ–ВШЭ, 2008.

5.28. Глазьев С.Ю. Экономическая теория технического развития. М., Наука, 1990.

5.29. Perez C. and Soete L. Catching up in Technology: Entry Barriers and Windows of Opportunity / Technical Change and Economic Theory. New York: Pinter Publishers, 1988.

5.30. Шпотов Б. Политика использования западных технологий как фактор создания крупной индустрии в СССР // Проблемы теории и практики управления. 2003. № 4.

5.31. Шпотов Б.М. «Не дано нам историей тише идти» (техническая помощь Запада советской индустриализации) // Мир истории. 2002. №3.

5.32. <http://dailyhitech.ru/123.html>

5.33. Дементьев В.Е. «Догоняющая постиндустриализация» и промышленная политика, WP/2006/199. – М.: ЦЭМИ РАН, 2006.

5.34. Сергиенко Я. О финансовом механизме длинноволновых технико-экономических изменений // Вопросы экономики, 2004, № 1.

5.35. Дубенецкий Я.Н. Активная промышленная политика: безотлагательная необходимость // Проблемы прогнозирования, 2003, №1, с.7.

5.36. May V. Экономическая политика в 2004 году: поиск модели консолидации роста // Вопросы экономики, 2005, №1, с.8.

5.37. Pritchett, Lant. Does Learning to Add Up Add Up? The Returns to Schooling in Aggregate Data. Kennedy School of Government, Harvard University, 2004.

5.37. Бест М. Новая Конкуренция. Институты промышленного развития - М.: ТЕИС, 2002, с. 33-34.

5.38. Rostow W.W. Theories of Economic Growth from David Hume to the Present. – N.Y., 1992.

5.39. Портер М. Международная конкуренция. – М.: Международные отношения, 1993.

5.40. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р (<http://www.ifap.ru/ofdocs/rus/rus006.pdf>).

5.41. Доклад Министра А.Фурсенко на заседании Правительства РФ о научном и организационном обеспечении развития нанотехнологий в Российской Федерации. Москва, 17 января 2008 г.

5.42. <http://www.smoney.ru/article.shtml?2007/07/16/3356>).

5.43. Метрологическое обеспечение, стандартизация и оценка соответствия нанотехнологий и нанопродукции (аналитический обзор). М.: Ростехрегулирование, ноябрь 2007.

5.44. Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 года // Еженедельник промышленного роста, №31, 24 - 30.09.2007.

5.45. Лепский В.Е. Совершенствование национальной инновационной системы (субъектно-ориентированный подход) / Материалы конференции IX международного форума «Высокие технологии XXI века», 22-25 апреля 2008 г. Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр».

5.46. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года // Собрание законодательства РФ, 21.07.2008, №29 (ч. II), ст. 3537.

5.47. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года.

5.48. Стратегия развития химической и нефтехимической промышленности на период до 2015 года (утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 14.03.2008 №119).

5.49. Дынкин А. Мировой кризис – импульс для развития инноваций // Проблемы теории и практики управления, 2009, №4.

5.50. Глазьев С.Ю. Научно-производственный потенциал: современное состояние и перспективы развития // Проблемы теории и практики управления, 2008, №12.

5.51. Соколов Е.В., Юрченко Н.Ю. Налоговое стимулирование, как важнейший фактор инновационного развития наукоёмких предприятий за рубежом / Материалы конференции IX междуна-

родного форума «Высокие технологии XXI века», 22-25 апреля 2008 г. Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр».

5.52. РБК, 23 марта 2009 г.

5.53. Полтерович В.М. Механизм глобального экономического кризиса и проблемы технологической модернизации. Приложение к Журналу Новой экономической ассоциации. 2009 (<http://www.econorus.org/sub.phtml?id=21>).

5.54. Российский статистический ежегодник. 2003.: Стат. сб./ Росстат. М., 2003. С. 30–31.

5.55. Российский статистический ежегодник. 2005.: Стат. сб./ Росстат. М., 2005. С. 149, 323, 661.

5.56. Прогноз социально-экономического развития РФ на 2007 г. С.203.

5.57. Промышленность России. Стат. сб./ Росстат. М., 2000. С. 97.

5.58. Промышленность России 2005. Стат. сб./ Росстат. М., 2006. С. 128.

5.59. Россия в цифрах. 2005. Крат. стат. сб./ Росстат. М., 2005. С. 372–373.

5.60. Российский статистический ежегодник, – Федеральная служба государственной статистики, 2007 г.

5.61. Материалы к заседанию Совета по конкурентоспособности. МЭРТ. М.: 2006.

5.62. Сальников В.А., Галимов Д.И. Конкурентоспособность отраслей Российской промышленности – текущее состояние и перспективы // Проблемы прогнозирования. 2006. №2.

5.63. Сальников В.А., Галимов Д.И. Конкурентоспособность отраслей Российской промышленности – текущее состояние и перспективы // Проблемы прогнозирования. 2006. №2.

5.64. Kleinknecht A. Long Waves, Depression and Innovation // *De Economist*. 1986, N 1.

5.65. Инновационный путь развития для новой России / Отв. ред. В.П. Горегляд; Центр социально-экономических проблем федерализма Института экономики РАН. М.: Наука, 2005.

5.66. Лейрих А.А. Масштабы и динамика показателей формирования сектора «новой» экономики // Межрегиональная группа ученых – институт проблем новой экономики. 2006. №2-3.

5.67. Карачаровский В. Конкуренция капитала и новая экономика // *Экономист*. 2006. №12.

5.68. О государственной промышленной политике России. Торгово-промышленная палата Российской Федерации, 2003.

5.69. Белоусов А.Р. Долгосрочные тренды российской экономики. Сценарии экономического развития России до 2020 г. М.: Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования, 2005, с. 9, 25.

5.70. Об итогах социально-экономического развития Российской Федерации за 2006. М.: Минэкономразвития России, 2007.

5.71. Абалкин Л. Размышления о долгосрочной стратегии, науке и демократии // Вопросы экономики. 2006. №12.

5.72. Вальгук К. К экспертизе “Основных направлений социально-экономической политики Правительства Российской Федерации на долгосрочную перспективу”. Новосибирск, 2000.

5.73. Иовчук С.М. Инновационные факторы повышения международной конкурентоспособности российской промышленной продукции. // Сборник ИМЭПИ РАН. М.: 2004.

5.74. Сысоев А.В. Амортизационная политика как фактор инвестиционного развития экономики // Проблемы прогнозирования. 2006. №1.

5.75. Рогов С.М. Функции современного государства: вызовы для России: Научный доклад. М.: Институт США и Канады РАН, 2005.

5.76. Господарчук Г.Г. Деньги для Российской экономики // Деньги и кредит. 2006. №12.

5.77. Россия в цифрах – 2006г. Краткий Статистический сборник. – Росстат, М., 2006г.

5.78. Стратегия деятельности государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий» до 2020 года (утверждена наблюдательным советом государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий», протокол от 29 мая 2008 года, №8).

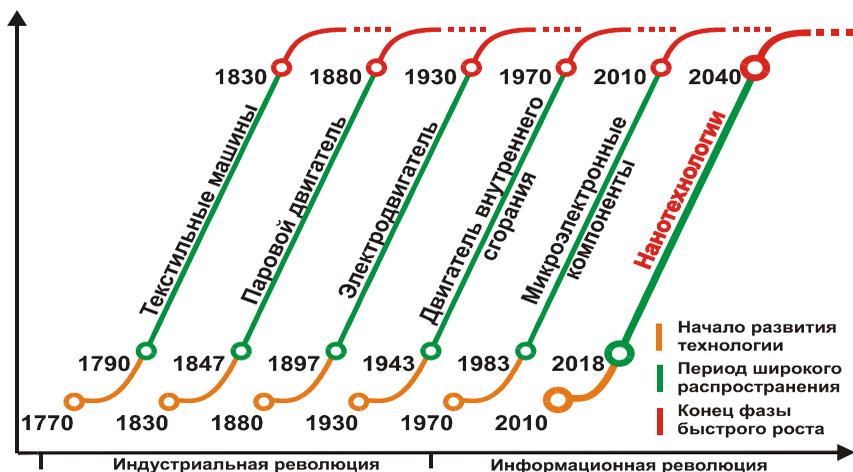


Рис. 1.1. Схема жизненных циклов технологических укладов и смены доминирующих технологий в экономике. Основные прорывы в науке и технологиях, приводящие к смене технологических укладов, происходят примерно дважды в столетие и приводят к созданию новых материальных благ



Рис. 1.2. Структура нового (VI) технологического уклада

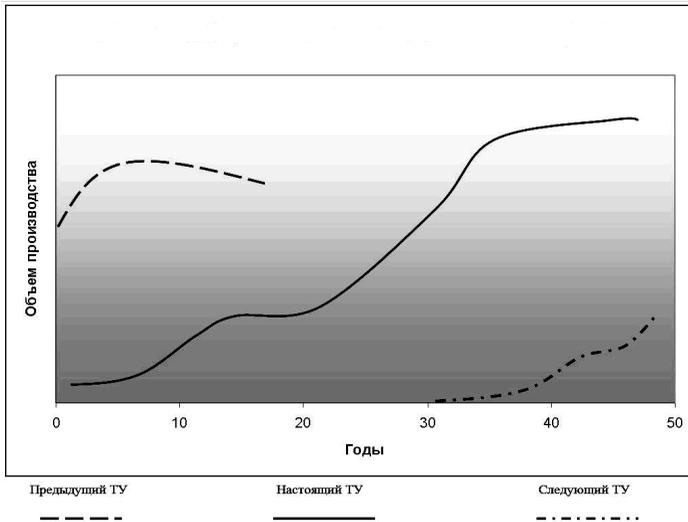


Рис. 1.3. Жизненный цикл технологического уклада

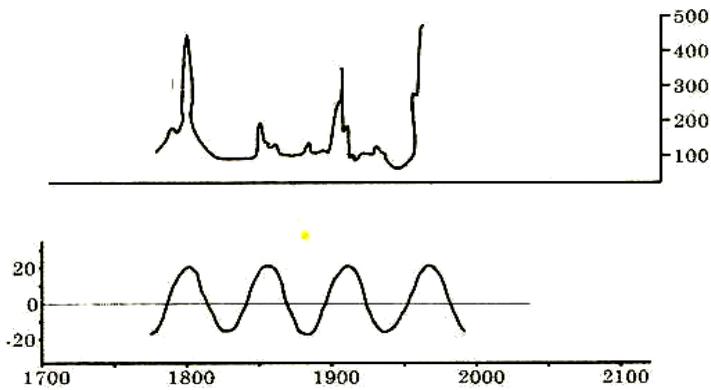


Рис. 1.4. Отклонение от тренда энергопотребления (внизу) и индекс цен (вверху)



Рис. 2.1. Объемы рынка деривативов (трлн долл., без товарных деривативов) [1.16]. Дериватив – производный финансовый инструмент (англ: derivative) = финансовая ценная бумага, стоимость которой является производной от стоимости и характеристик другой ценной бумаги (базового актива). Используются главным образом для получения дохода в результате рыночных изменений котировок ценных бумаг [2.5]

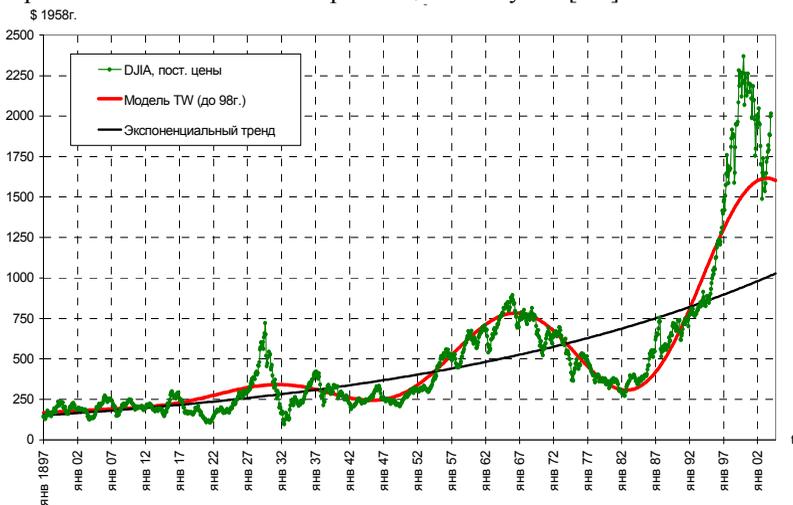


Рис. 2.2. Долгосрочная и среднесрочная динамика индекса Доу-Джонса [2.2]. Индекс Доу-Джонса – средний показатель курсов акций группы крупнейших компаний США (на момент закрытия биржи). Индекс Доу-Джонса служит показателем текущей хозяйственной конъюнктуры США и отражает реакцию американских деловых кругов на различные экономические и политические события

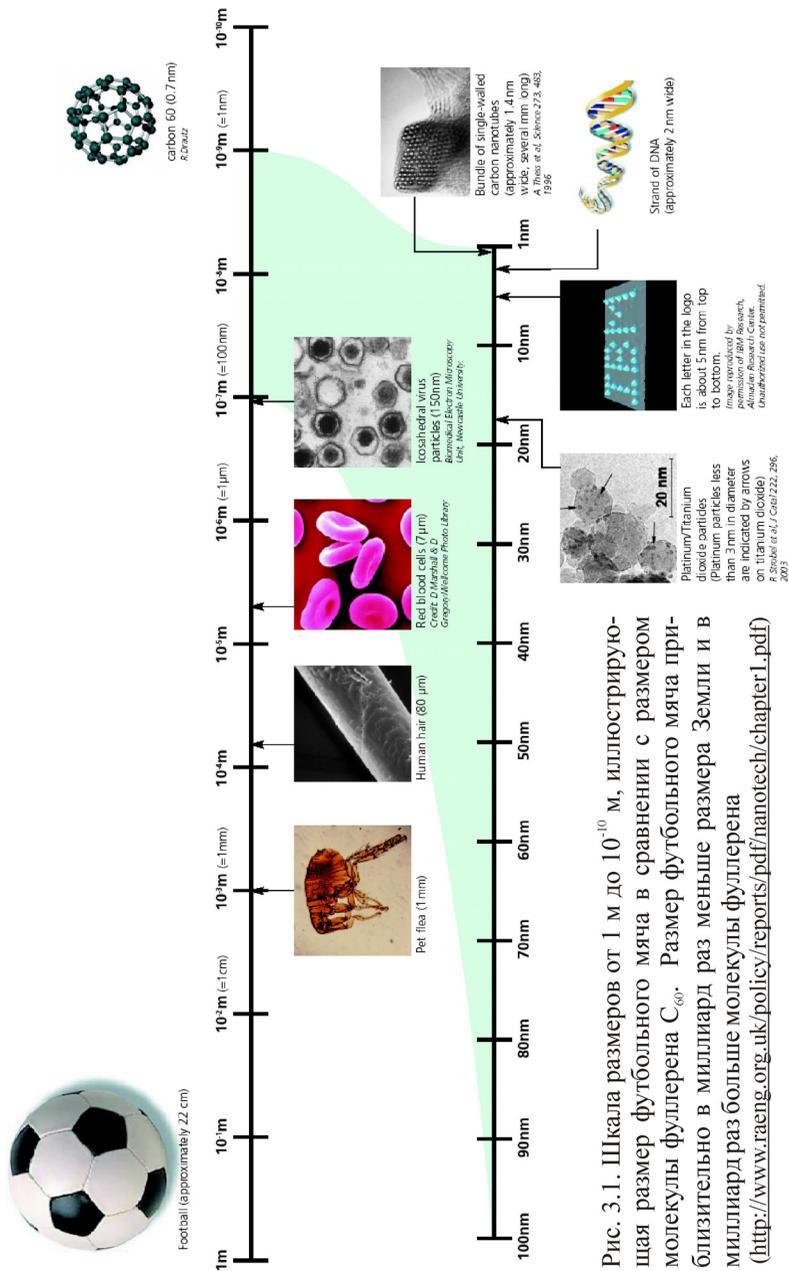


Рис. 3.1. Шкала размеров от 1 м до 10⁻¹⁰ м, иллюстрирующая размер футбольного мяча в сравнении с размером молекулы фуллерена C₆₀. Размер футбольного мяча приблизительно в миллиард раз меньше размера Земли и в миллиард раз больше молекулы фуллерена (<http://www.raeng.org.uk/policy/reports/pdf/nanotech/chapter1.pdf>)

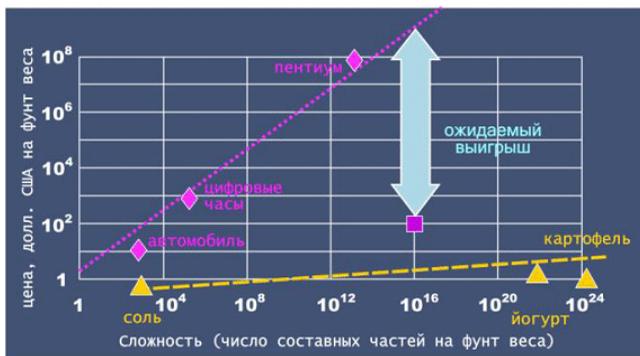


Рис. 3.2. Удешевление продуктов при переходе к нанотехнологиям по методу «снизу-вверх» на принципах «самосборки»

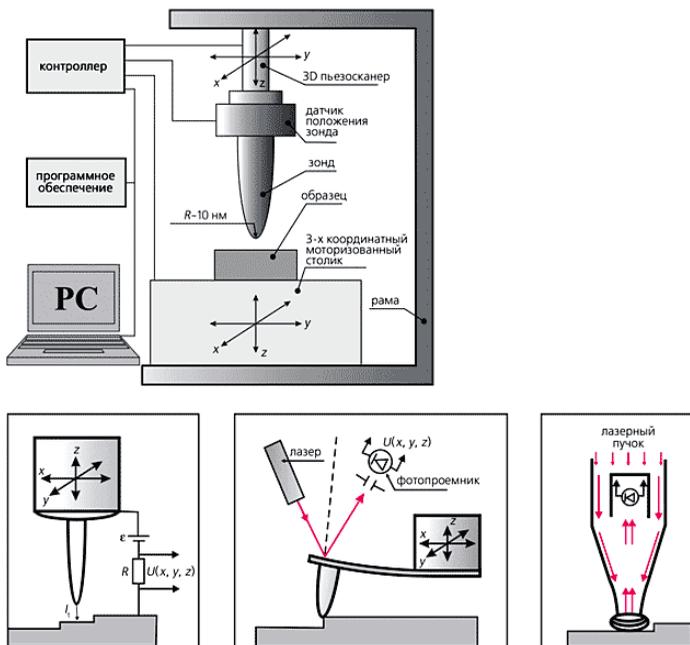


Рис. 3.3. Типовая схема осуществления сканирующих зондовых методов исследования и модификации поверхности в нанотехнологии (а) и три основных типа приборов: б – туннельный микроскоп, в – атомно-силовой микроскоп и г – ближнепольный оптический микроскоп (Ю.И. Головин, http://www.abitura.com/modern_physics/nano/nano2.html)

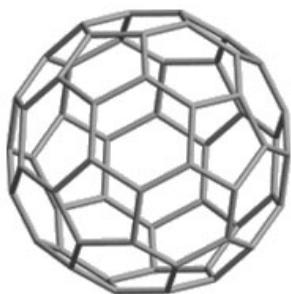


Рис. 3.4. Молекула фуллерена C_{60} . Изомер C_{60} получил название «Бакминстерфуллерен» в честь известного архитектора по имени R. Buckminster Fuller, создавшего сооружения, куполообразный каркас которых сконструирован из пентагонов и гексагонов

<http://www.raeng.org.uk/policy/reports/pdf/nanotech/chapter1.pdf>

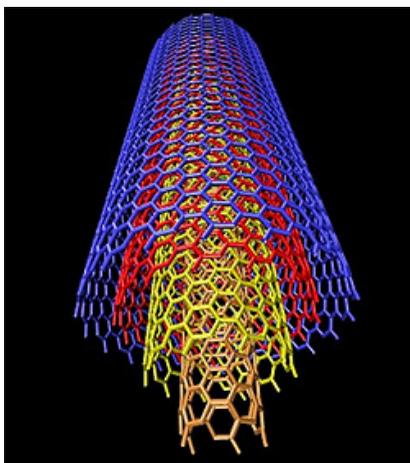


Рис. 3.5. Углеродные нанотрубки — протяжённые цилиндрические структуры из атомов углерода диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких микрон. Они обладают особой прочностью и упругостью. При использовании определенных методов получения нанотрубок они создаются малодефектными, с заранее заданной структурой и направлением роста

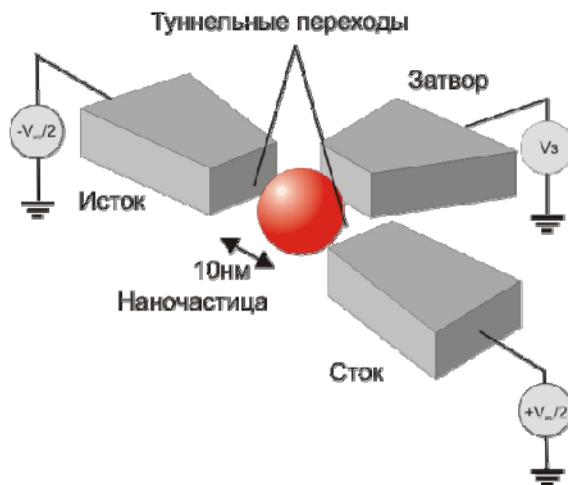


Рис. 3.6. Одноэлектронный транзистор

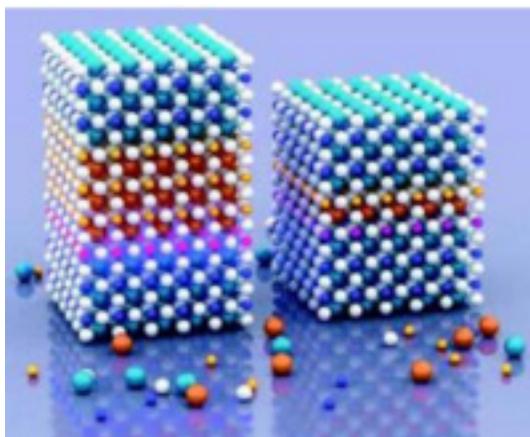


Рис. 3.7. Модель гетероструктуры (<http://www.nanonewsnet.ru>) Пленки или слои, собранные из полупроводниковых материалов, называют **гетероструктурами**. Гетероструктура может состоять из последовательности десятков полупроводниковых слоев толщиной в несколько нанометров. Полупроводниковые гетероструктуры используются для создания ярких светодиодов, лазеров и других полупроводниковых приборов современной микроэлектроники. В 2000 году российский ученый Ж.И. Алферов получил Нобелевскую премию по физике за разработку технологий создания гетероструктур



Рис. 3.8. Классификация наноматериалов

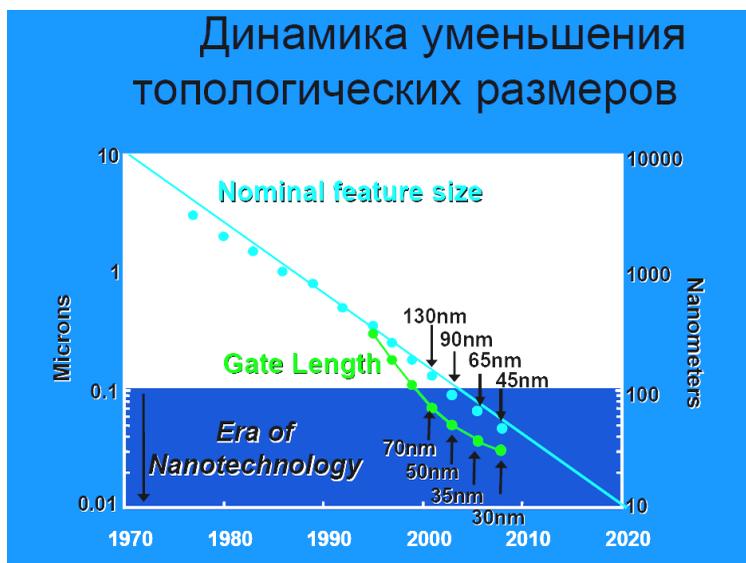


Рис. 3.9. Динамика уменьшения топологических размеров полупроводниковых элементов по данным Intel [3.70]

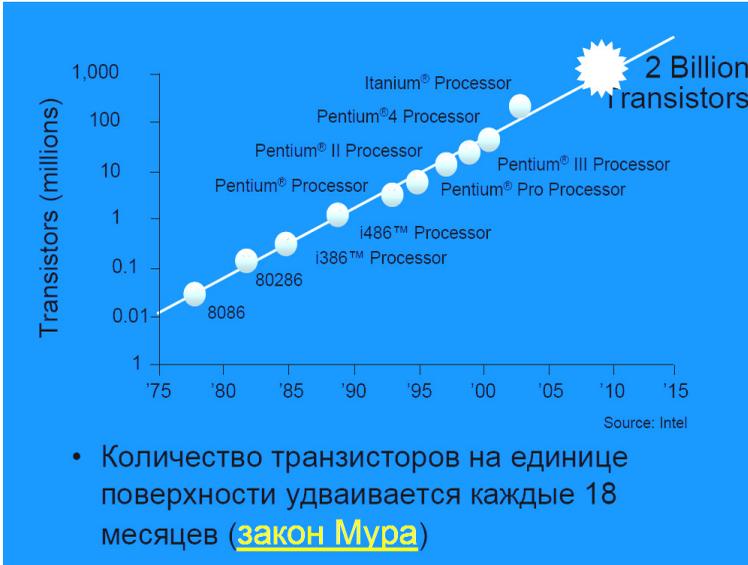


Рис. 3.10. Динамика роста количества транзисторов на единице поверхности БИС [3.70]



Рис. 3.11 Динамика снижения стоимости микросхем с ростом количества компонентов в микросхеме [3.70]

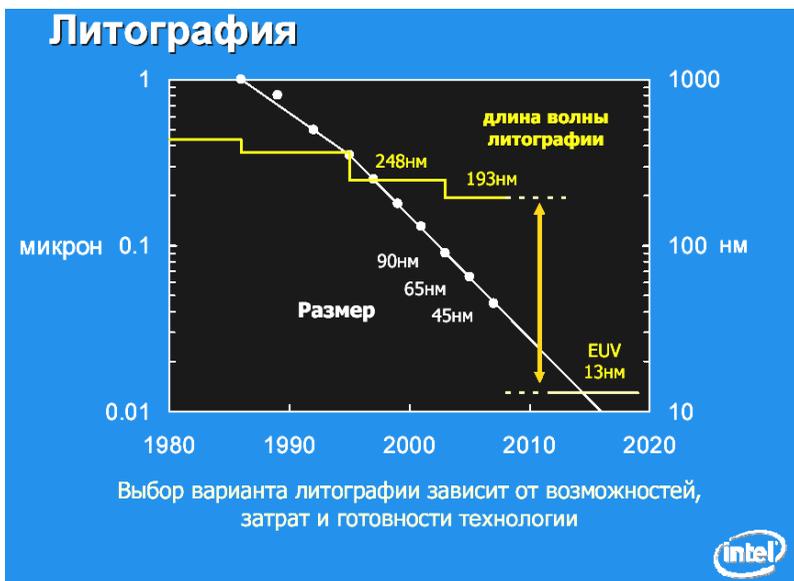


Рис. 3.12. Динамика освоения длин волн литографии в производстве микросхем [3.70]

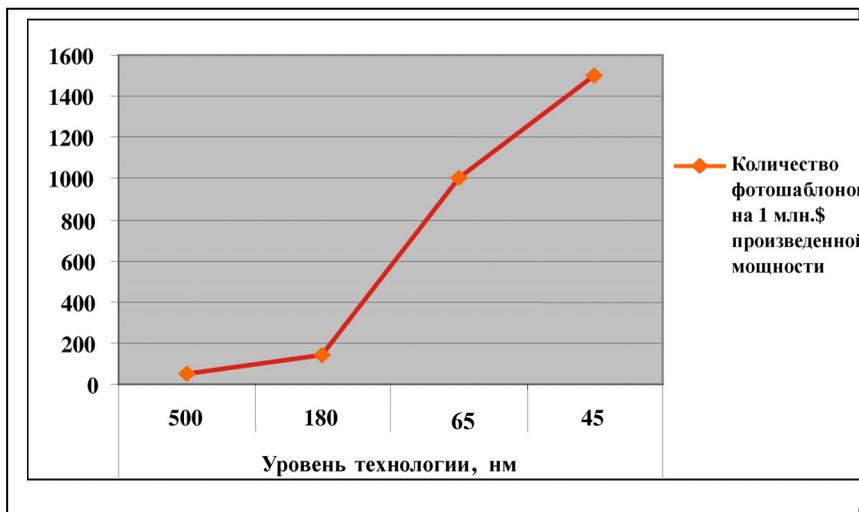


Рис. 3.13. Удельная производительность оборудования в нанoeлектронной промышленности [3.75]



Рис. 3.14. Средняя стоимость мини-фабрики для массового производства микросхем, млн. \$

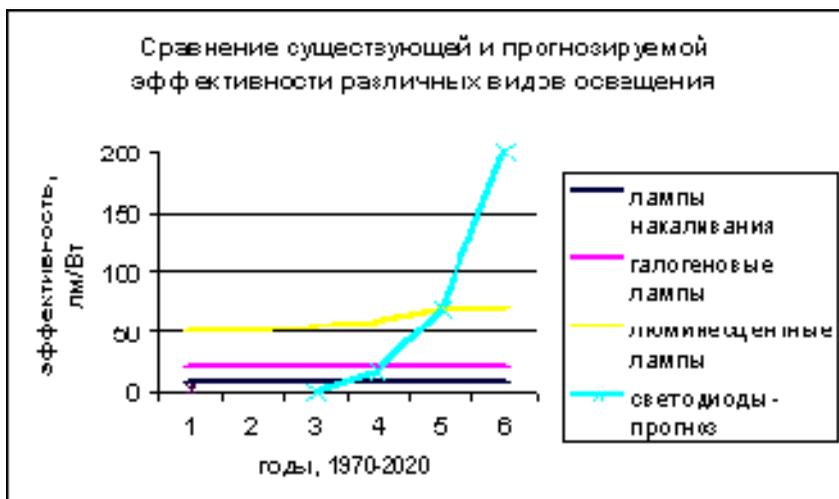


Рис. 3.15. Опережающая динамика эффективности светодиодного освещения [3.77] (по горизонтали отложены десятилетия от 1970 г.)

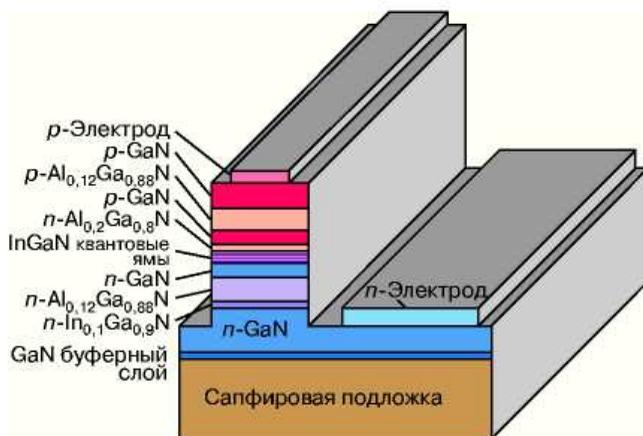


Рис. 3.16. Структура эпитаксиальных слоев инжекционного лазера на квантовых ямах (Источник: <http://edu.ulsu.ru/w/index.php>)

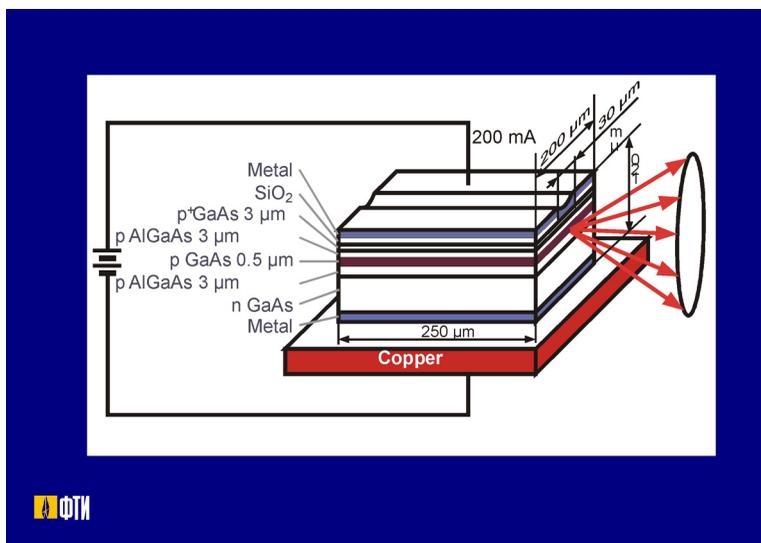


Рис. 3.17. Схематическое изображение структуры первого инжекционного ДГС-лазера, работающего в непрерывном режиме при комнатной температуре [3.86]

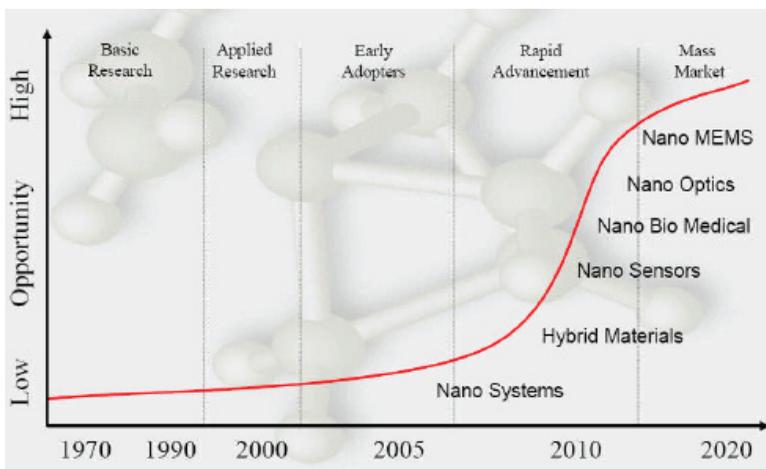


Рис. 3.18. Периоды освоения нанотехнологий в медицине

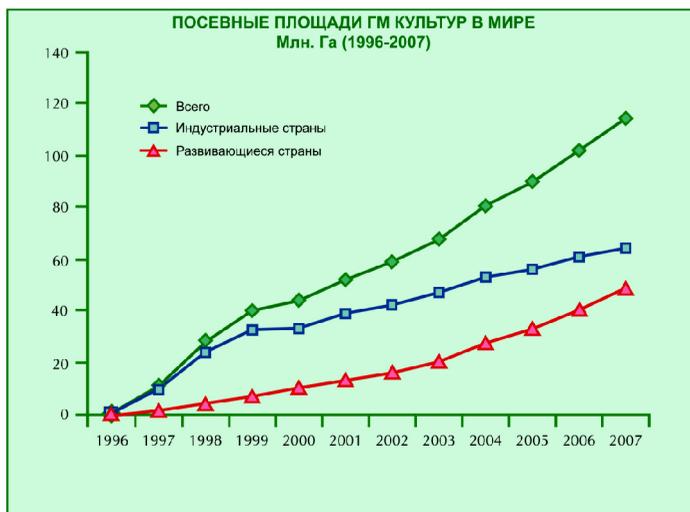


Рис. 3.19. Посевные площади (млн. га) под генно модифицированными культурами в мире

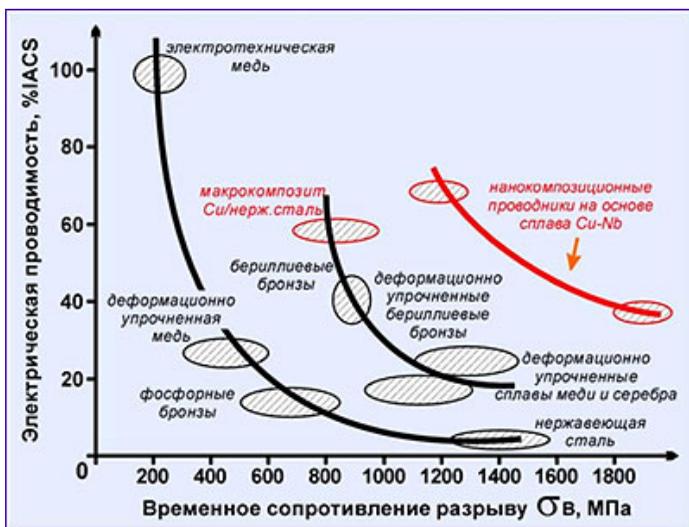


Рис. 3.20. Сравнение характеристик различных проводников тока [3.91].
 Нанокпозиционные проводники на основе ниобия и меди обладают повышенной прочностью и электропроводностью

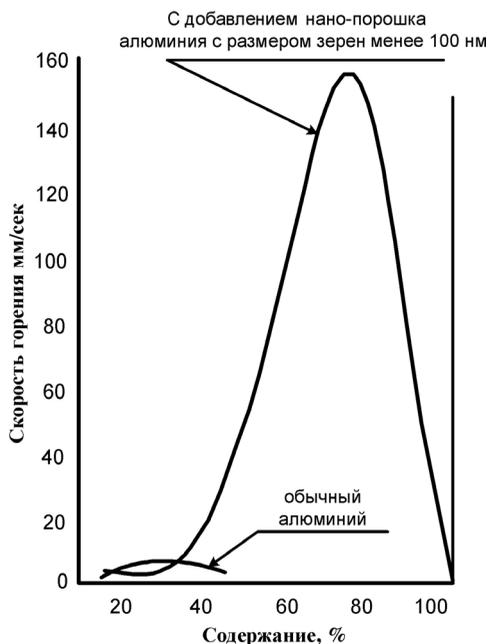
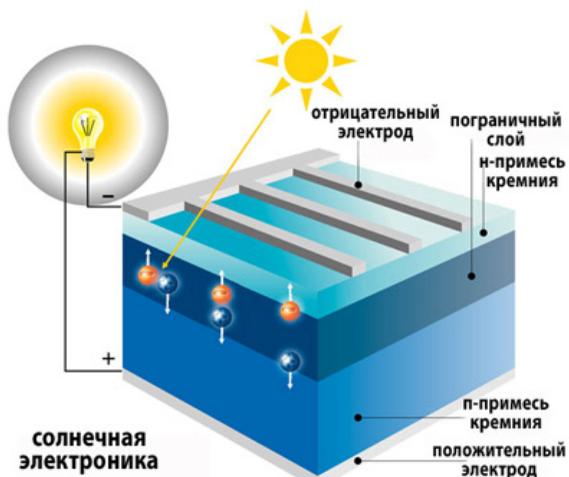


Рис. 3.21. Повышение скорости горения ракетного топлива в зависимости от содержания порошка nanoалюминия с размером зерен менее 100 нм. Источник: Онэксим группа



а



б

Рис. 3.22. Изменение роли основных источников энергии для человечества [источник: доклад М.В.Ковальчука в МИФИ] – а; элемент солнечной батареи на основе кремния (около $2 \times 2 \text{ см}^2$). <http://www.ppu21.ru/article/122.html?mc=151> – б

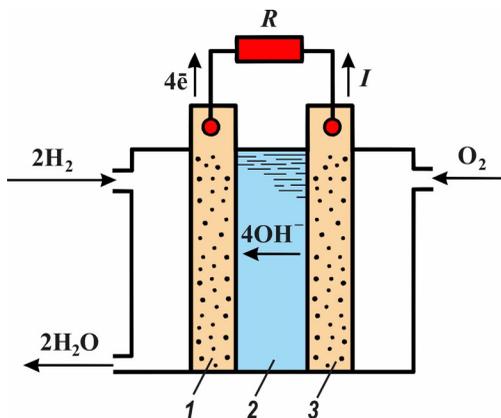


Рис. 3.23. Схема водородно-кислородного топливного элемента с электролитом KOH [3.97, 3.98]: 1 – водородный пористый электрод, 2 – раствор электролита, 3 – кислородный пористый электрод, R – нагрузка

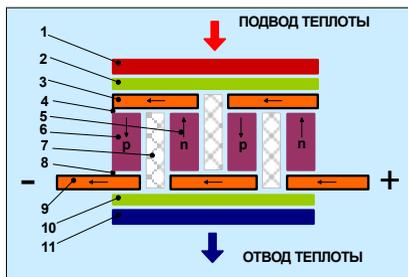
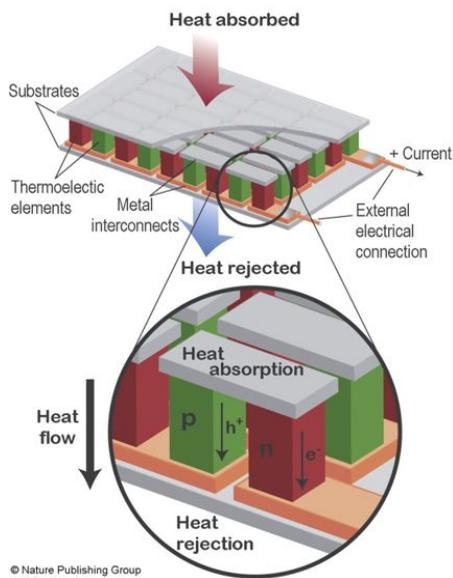


Рис. 3.24. Схема термоэлектрического генератора (соединяя клеммы «+» и «-» через внешнюю нагрузку, получаем полезную работу) [3.97, 3.98]: 1 – «горячий» теплопровод; 2, 10 – электроизоляция; 3, 9 – коммутационные шины; 4 – «горячий» спай; 5 – термостолбик *n*-типа; 6 – термостолбик *p*-типа; 7 – теплоизоляция; 8 – «холодный» спай; 11 – «холодный» теплопровод



© Nature Publishing Group
Jeff Snyder, Caltech

Влияние	Отрасли
Высокое	авиакосмическая и оборонная, химическая, электроника, полупроводники, энергетика, медицинские продукты и оборудование, металлургия, фармацевтика
Среднее	швейная, продовольствие/напитки/табачные изделия, строительные материалы, продовольственные товары, оборудование для промышленности и сельского хозяйства, автомобилестроение
Низкое	авиаперевозки, продажа автомобилей, строительство, лесная промышленность, мебель, добыча, спортивные товары, переработка отходов, страхование
Отсутствует	реклама, маркетинг, банковская сфера, вычислительная техника, программное обеспечение, ресторанный бизнес, издательский бизнес, недвижимость

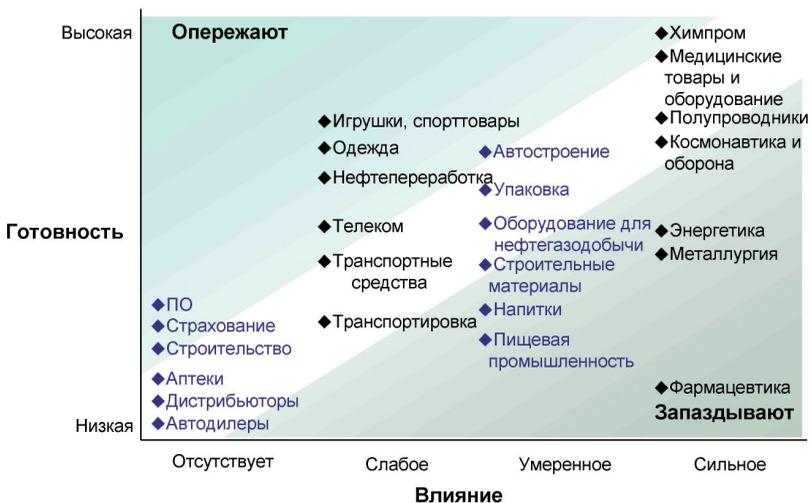


Рис. 3.25. Степень влияния нанотехнологий (высокое-среднее-низкое-отсутствует) на различные отрасли народного хозяйства (вверху) и готовность отраслей к использованию нанотехнологий и её продукции



Рис. 3.26. Применение нанотехнологий в автомобильной промышленности (Источник: Заблочкий А.В. Образовательный центр «Нанотехнологии»)



Рис. 4.1. Распределение стран на нанотехнологическом рынке (источник – www.luxresearchinc.com).



Рис. 4.2. Схема, иллюстрирующая изменение подходов к выбору индикаторов (показателей, индексов) в процессе жизненного цикла технологии

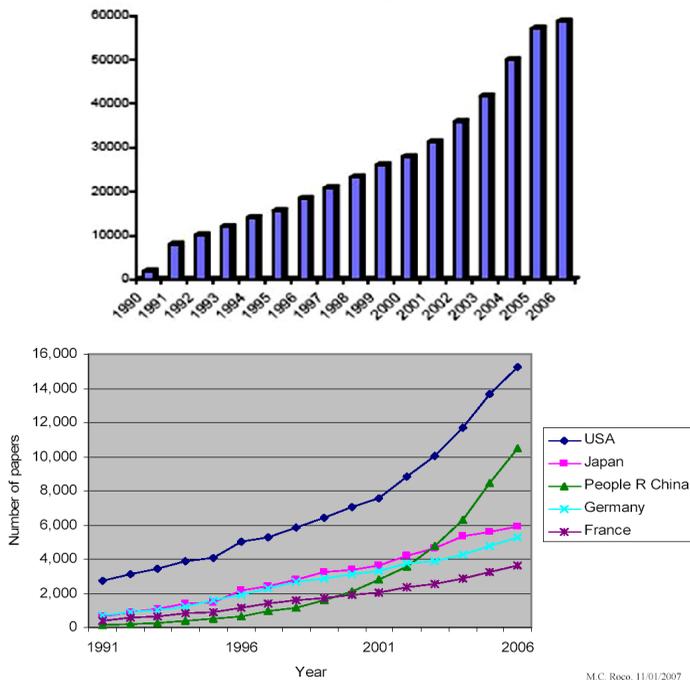


Рис. 4.3. Динамика публикаций в области нанотехнологий (шт.) всего (вверху) и по отдельным странам (внизу). Источники: Web of science – Science Citation Index, [3.105]

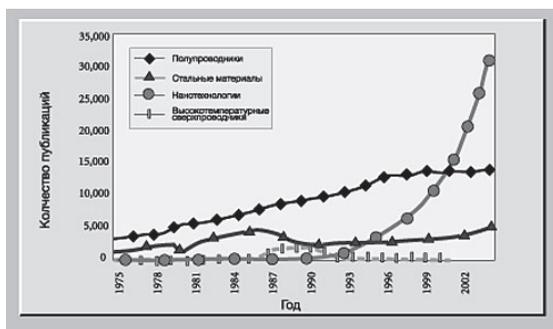


Рис. 4.4. Рост количества публикаций по нанотематике, опережающий и по скорости, и по количеству такие направления, как полупроводники, обычные и сверхпроводниковые материалы. Источник: D. Eaglesham. MRS Bull. 30, 260 (2005)

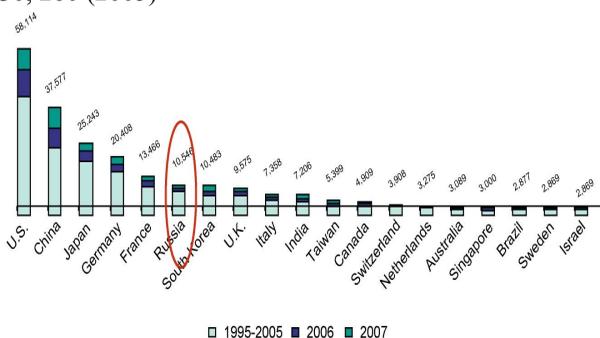


Рис. 4.5. Распределение публикаций в области нанотехнологий по странам в разные годы (горизонтальная линия – среднее число публикаций по указанным 19 странам)

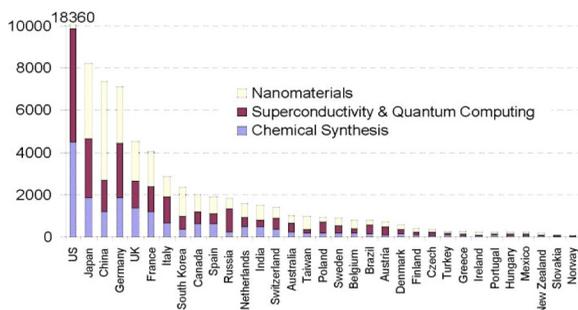


Рис. 4.6. Соотношение тематических статей, издаваемых по нанотехнологиям в период 1999-2004 в разных странах. Источник: Igami, 2006, Science Citation Index.

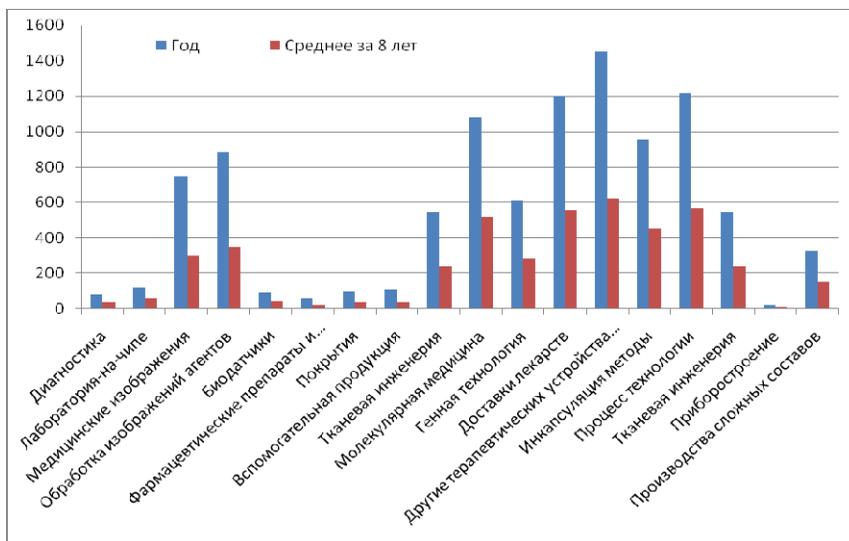
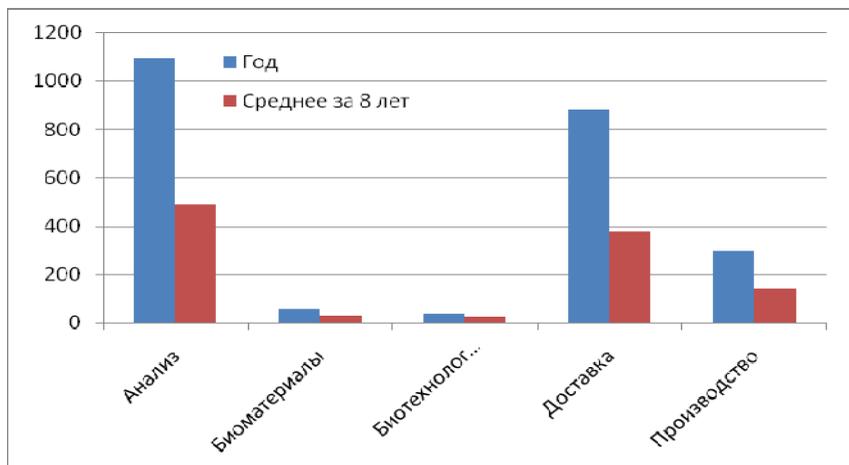


Рис. 4.7. Количество статей в области нанобиотехнологий по группам тем и по отдельным темам за 2007 год и среднее в год за 8 лет

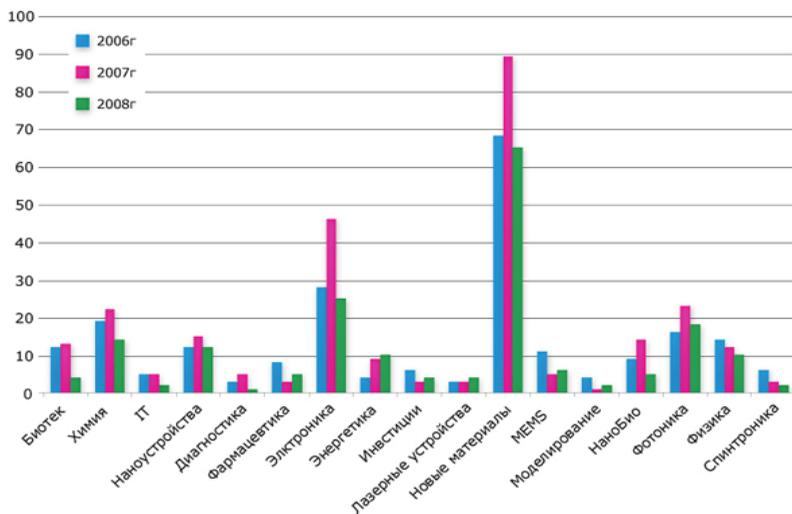


Рис. 4.8. Распределение международных выставок по тематике нанотехнологий. Источник: РоснаноТех

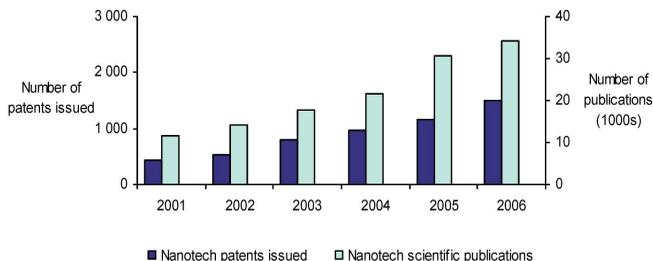
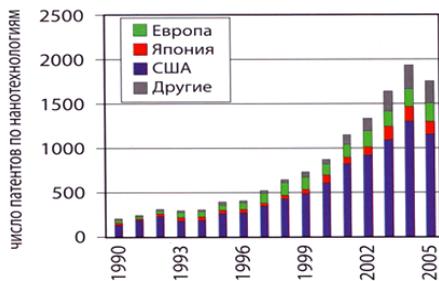


Рис. 4.9. Рост числа патентов и публикаций по нанотехнологиям. Источники: сверху данные [4.9], внизу Lux Research Reference Study

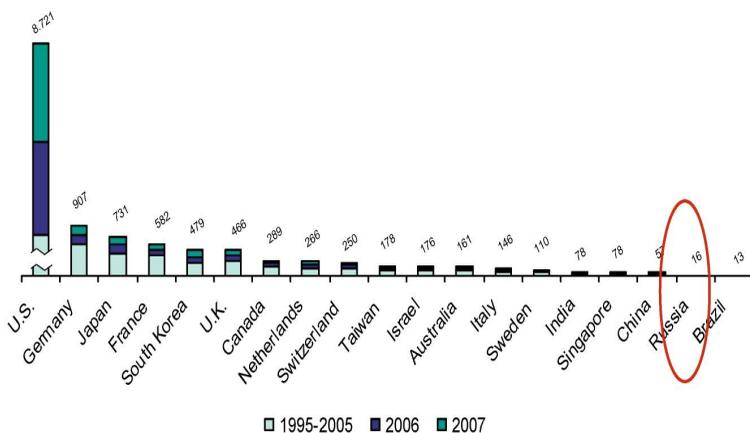
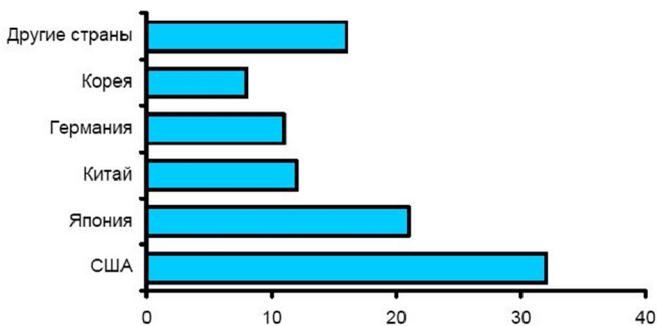


Рис. 4.10. Страны-лидеры по количеству выданных патентов в области нанотехнологий в 2005 г. (вверху) и в 1995 – 2007 гг. (внизу) [4.15]

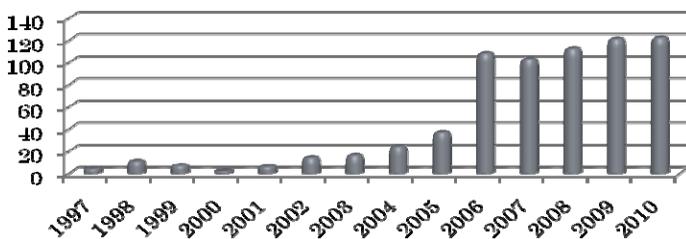


Рис. 4.11. Прогноз динамики патентования в области нанотехнологий отечественными заявителями (на основе данных о патентовании за период с 1997 по 2008 год)

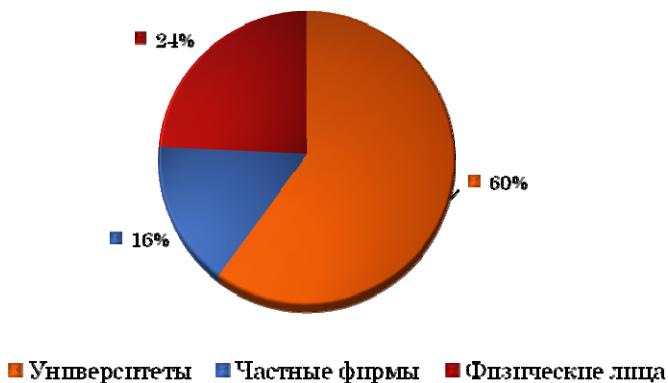


Рис. 4.12. Вклад в число патентов в области нанотехнологий отечественных заявителей



Рис. 4.13. Ранговое распределение отечественных патентов по тематике

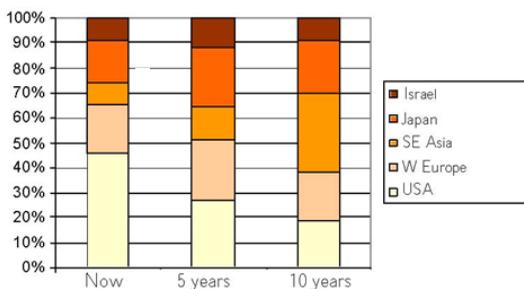


Рис. 4.14. Регионы с наиболее высокой квалификацией персонала и прогноз на ближайшие пять и десять лет

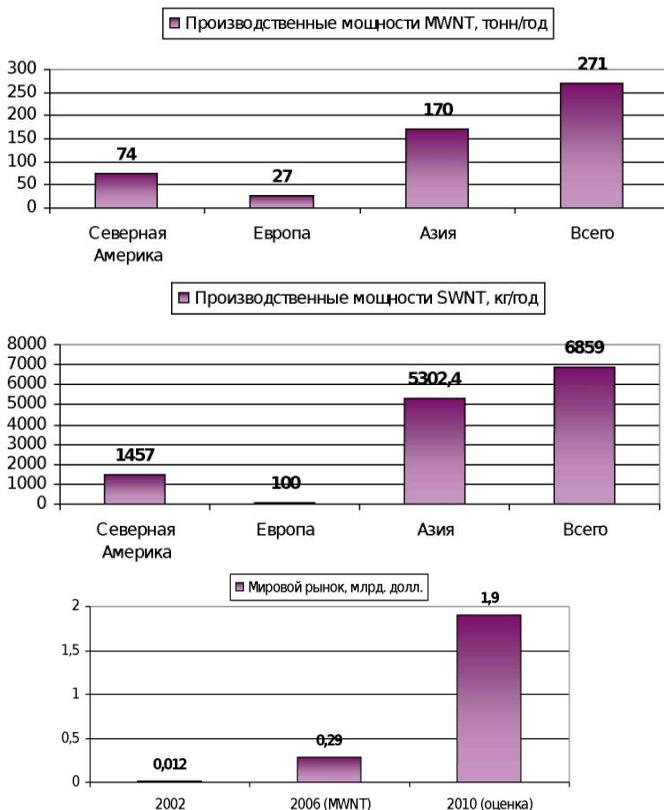


Рис. 4.15. Производственные мощности и мировой рынок углеродных нанотрубок (Источник: Global Industry Analysts, Inc. [www . strategyr . com](http://www.strategyr.com), www.wtec.org)

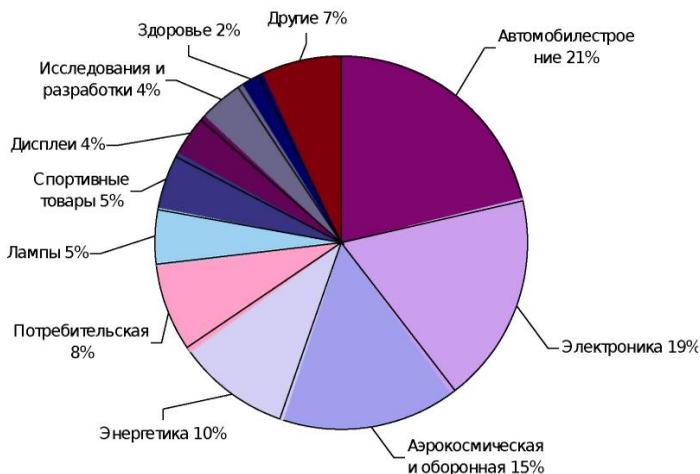
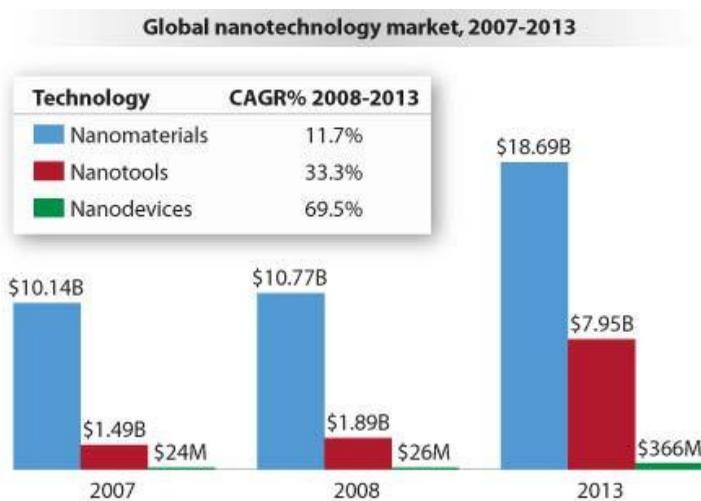


Рис. 4.16. Оценка рыночных долей различных отраслей в потреблении углеродных нанотрубок в 2008 году (Источник: NanoBusiness Alliance)



Source: BCC Research

Рис. 4.17. Объем глобального рынка наноматериалов, nanoинструментов и nanoустройств (млрд. доллар) на ближайшую перспективу [4.28]. Здесь CAGR (Compound Annual Growth Rate - средне-геометрический годовой темп прироста) вычисляется по формуле $CAGR = (W_T / W_0)^{1/T} - 1$, где W_T – конечное состояние, W_0 – начальное состояние, T – количество лет

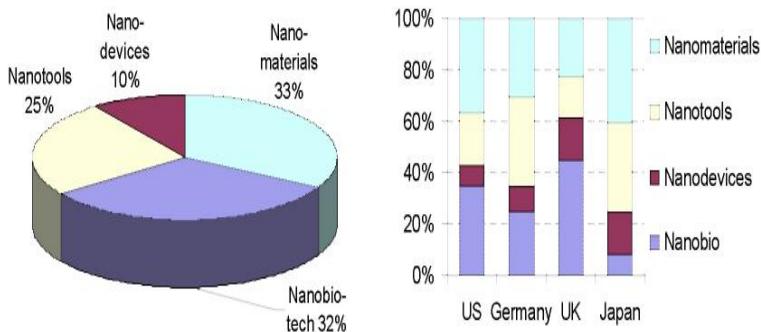


Рис. 4.18. Распределение нанопродукции 357 компаний из обзора Fecht et al., 2003 [4.30]

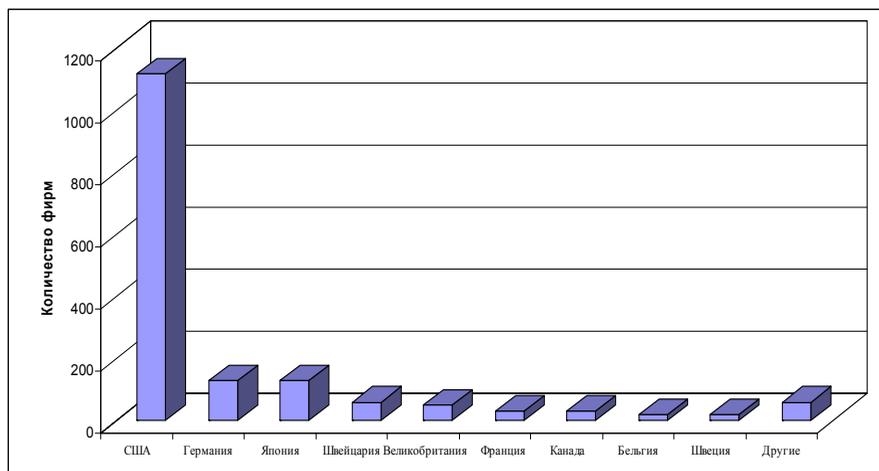


Рис. 4.19. Географическое распределение нанотехнологических компаний, 2007 (Ранг России – 18).

Источник: BCC – Nanotechnology: A realistic market assessment

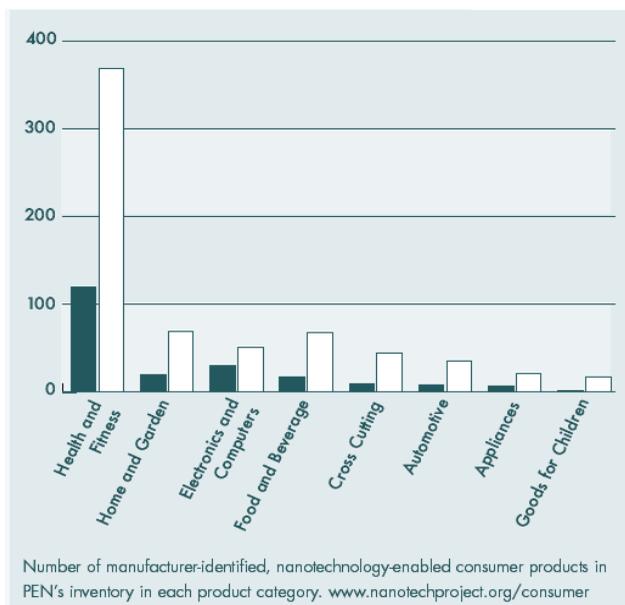


Рис. 4.20. Число потребительских товаров в каждой категории товаров, изготовленных с применением нанотехнологий в США (2006 г.) [4.31]

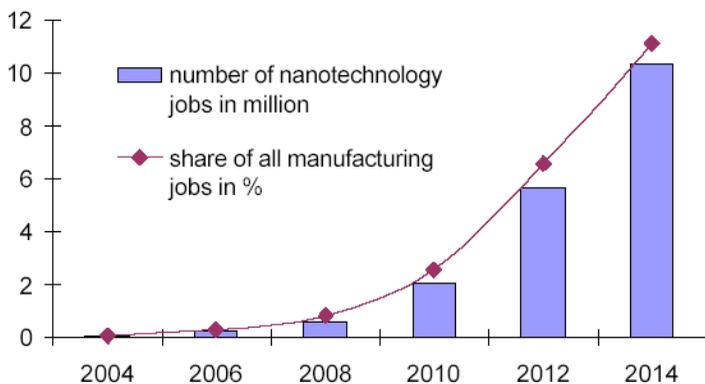


Рис. 4.21. Число работников в наноиндустрии (млн. человек) и доля этих работников среди занятых в промышленном производстве (%) в мире [4.30]

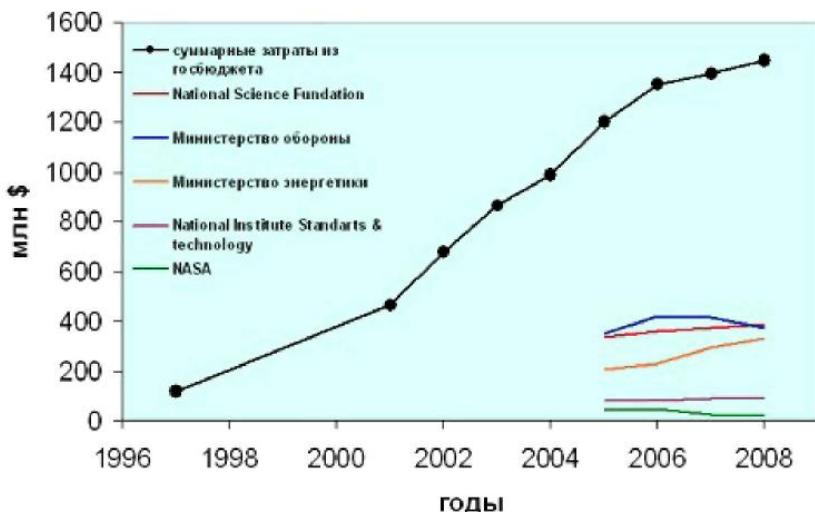


Рис. 4.22. Годовые затраты из госбюджета США на развитие нанотехнологий

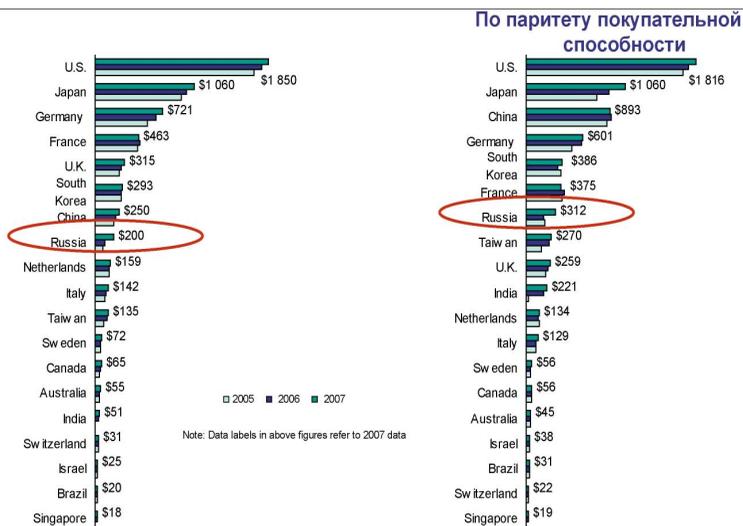
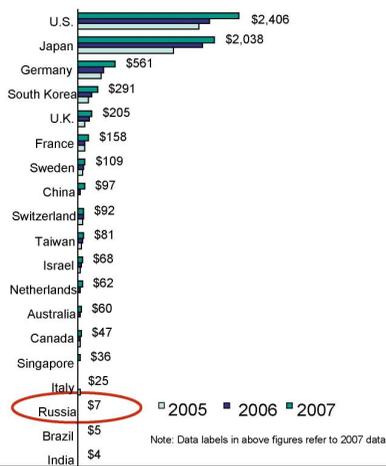


Рис. 4.23. Государственные расходы различных стран на развитие нанотехнологий (млн.доллар в год)

По текущему валютному курсу



По паритету покупательной способности

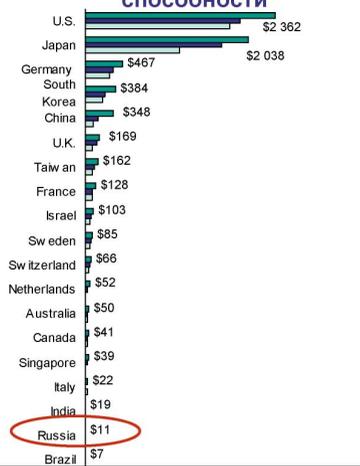


Рис. 4.24. Объемы корпоративного (негосударственного) финансирования развития нанотраслей 2005–2007 гг. (млн.доллар в год)

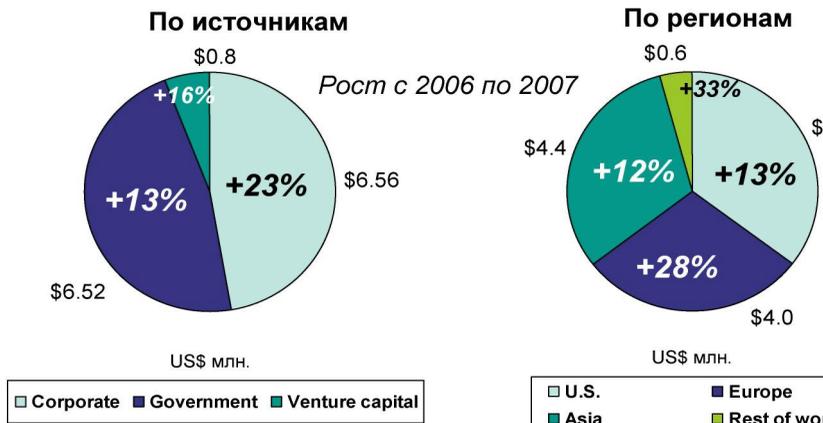


Рис. 4.25. Финансирование нанотехнологий в мире (млрд.доллар) (Источники: Lux Research Reference Study, The Nanotech Report, 5th Edition)

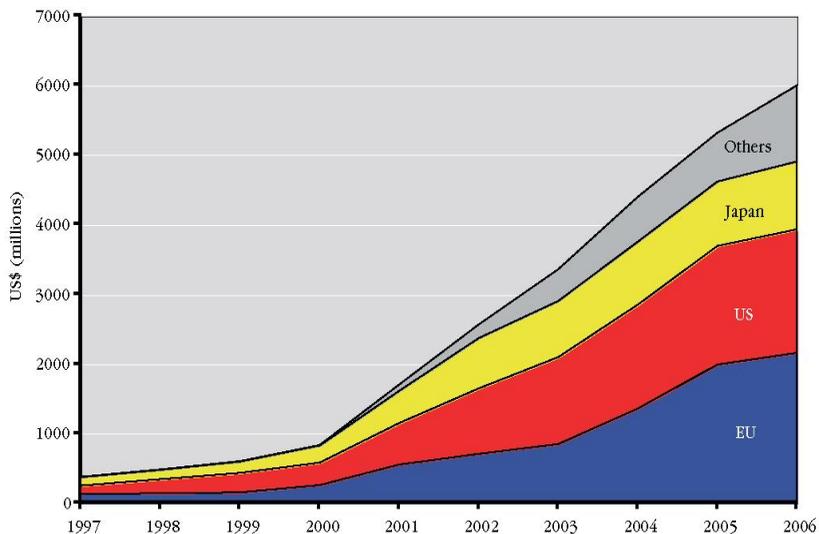


Рис. 4.26. Эволюция государственного финансирования нанотехнологических исследований в странах мира (млн. доллар)

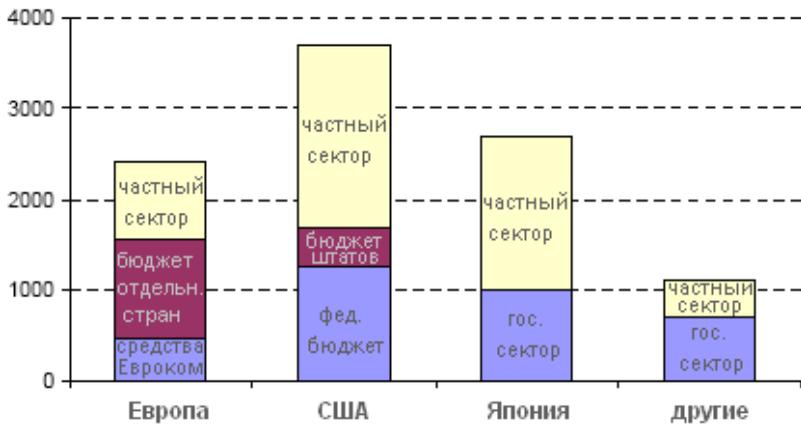


Рис. 4.27. Государственное и частное финансирование нанотехнологий в 2005 году (млн. евро).

Источник: European Commission, 2005 [4.30]

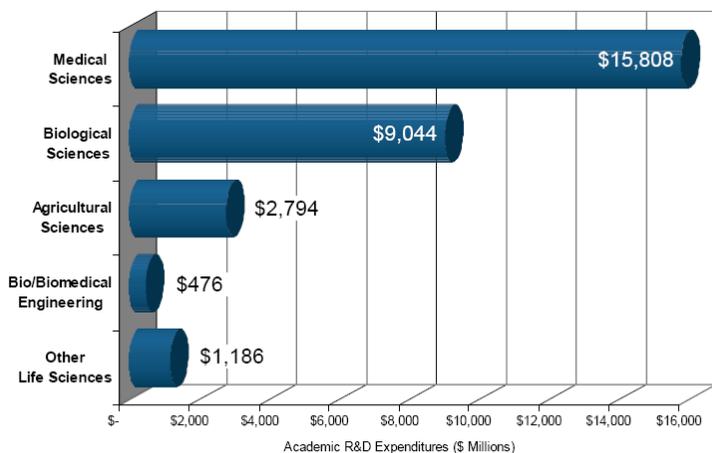


Рис. 4.28. Финансирование различных направлений нанобиотехнологий

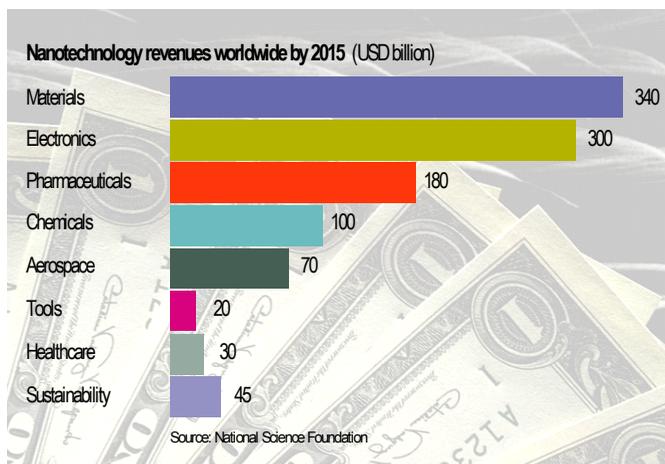
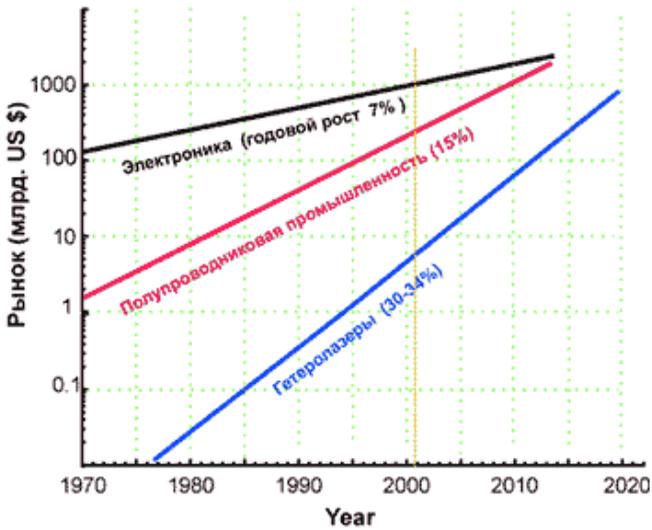


Рис. 4.29. Мировой нанорынок в 2015 г.



Рынок лазеров (Источник — *Laser Focus World*)

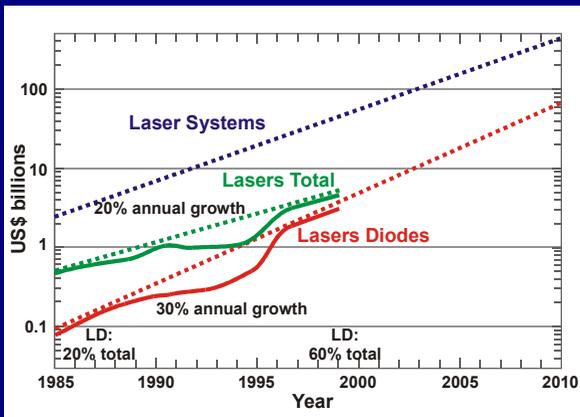


Рис. 4.30. Рост рынков электроники, полупроводников и полупроводниковых лазеров на наногетероструктурах [4.32, 4.86]

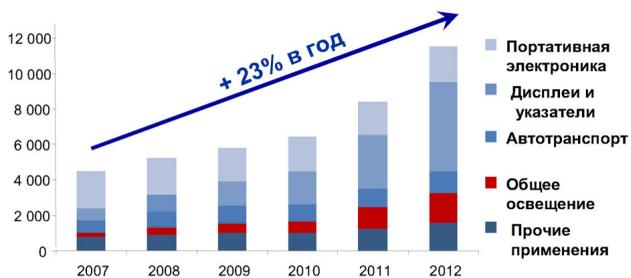


Рис. 4.31. Прогноз динамики роста рынка светодиодов (млн. долл.)
 Источник: <http://www.magazine-svet.ru/review/31694/>

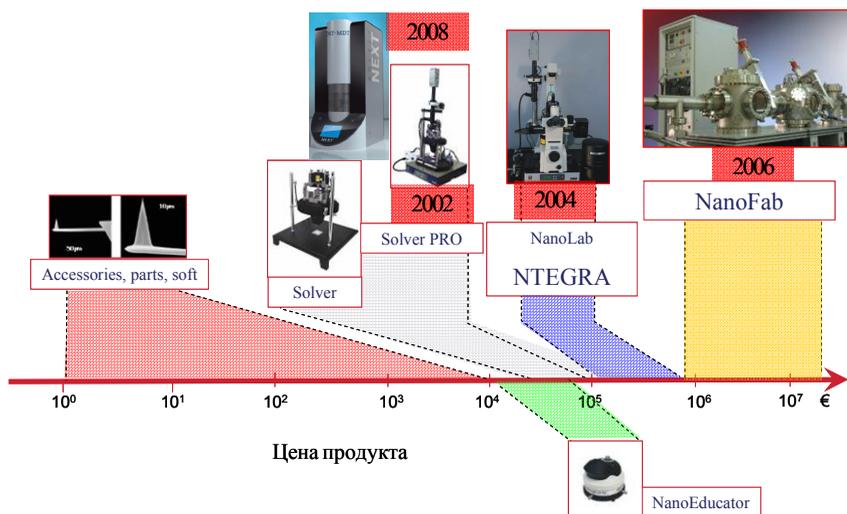


Рис. 4.32. Развитие продуктовой линейки компании Нанотехнология-МДТ (NT-MDT, г. Зеленоград)

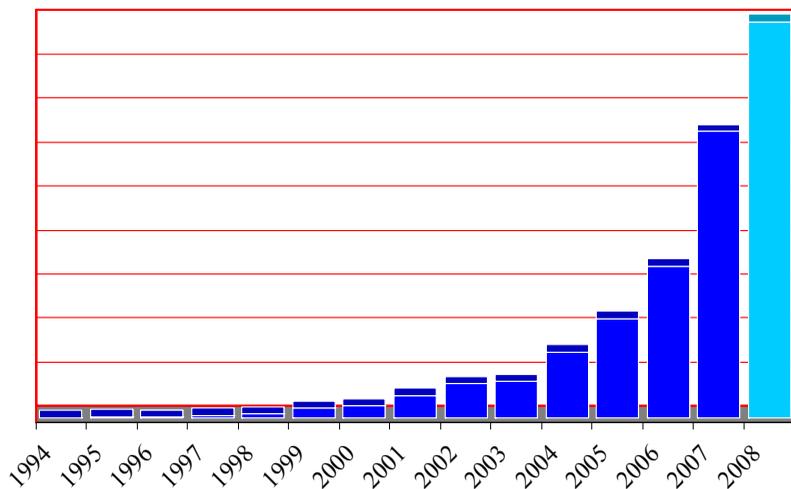


Рис. 4.33. Рост объема продаж продукции компании Нанотехнология-МДТ (НТ-МДТ, г. Зеленоград)

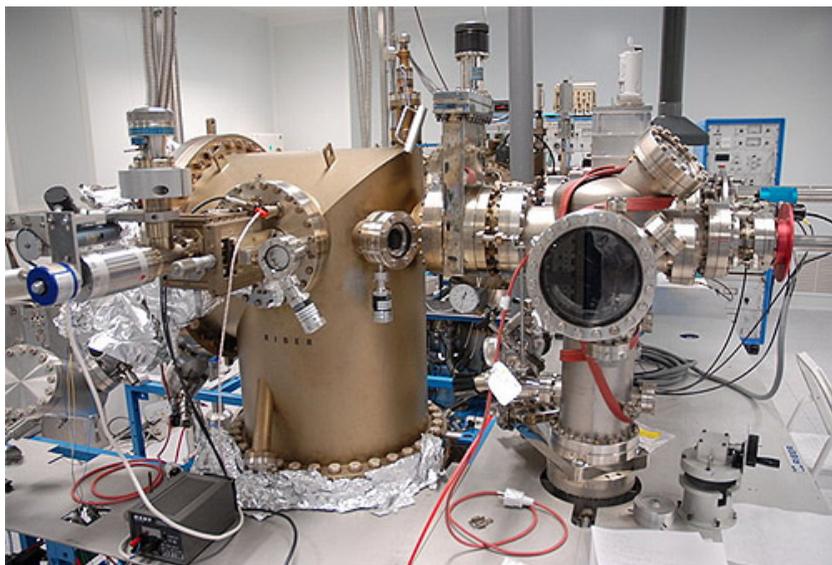


Рис. 4.34. Система молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ)



Рис. 4.35. Индекс компании *Intel Co*



Рис. 4.36. Динамика индеса нанокмпаний (красные линии) и индекса высоких технологий NASDAQ

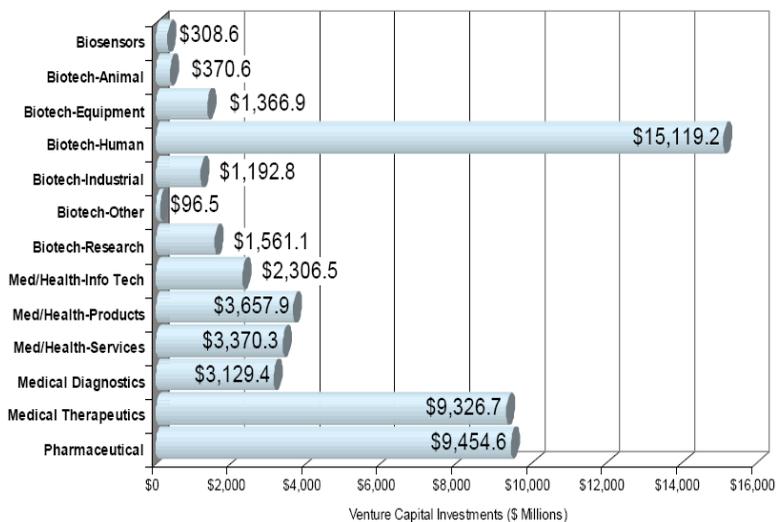
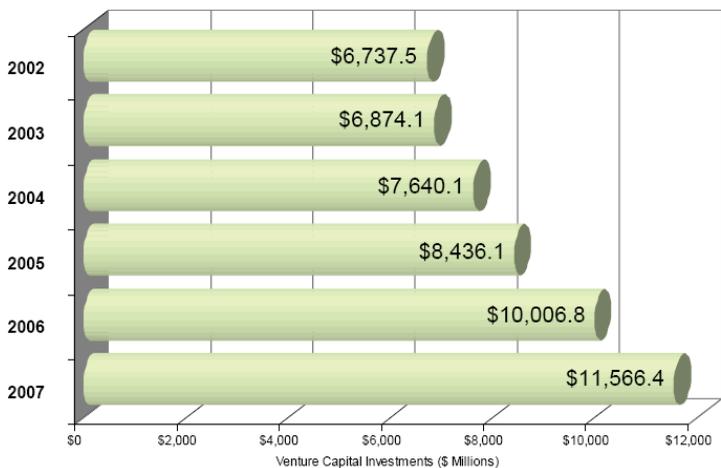


Рис. 4.37. Объем венчурного финансирования (млн.доллар) в биотехнологический сектор США по годам (вверху) и по направлениям в мире (внизу)

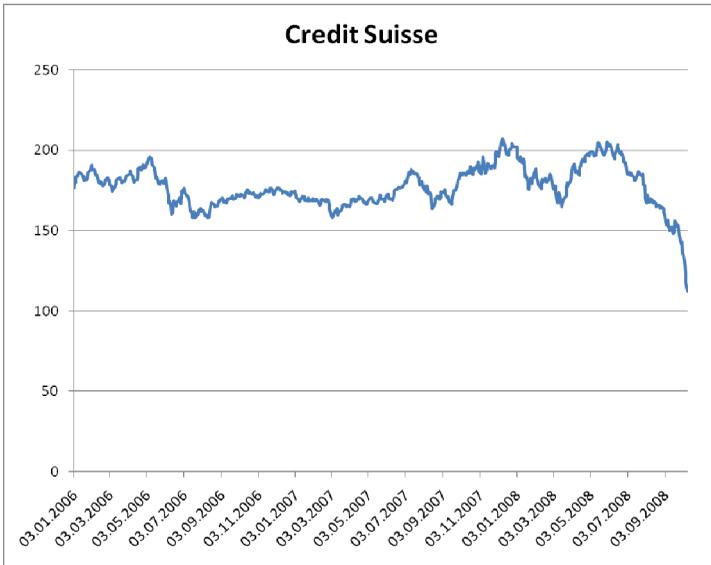


Рис. 4.38. Динамика фондового индекса инновативности Credit Suisse Global Nanotechnology Index

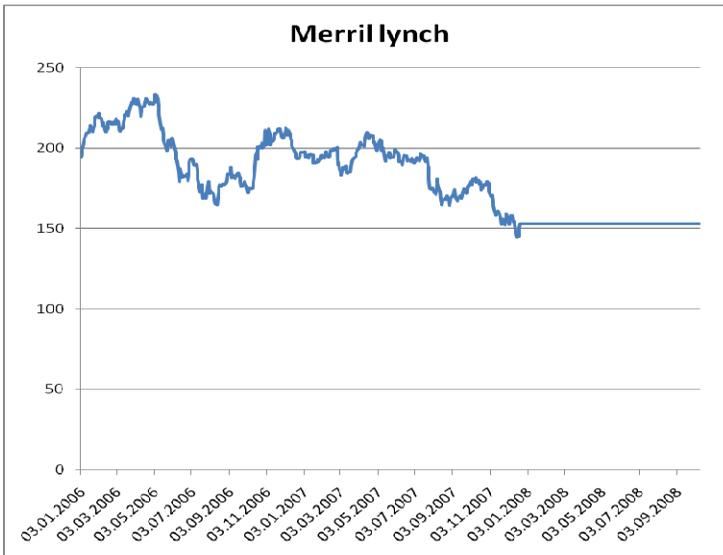


Рис. 4.39. Динамика фондовых индексов NNZ

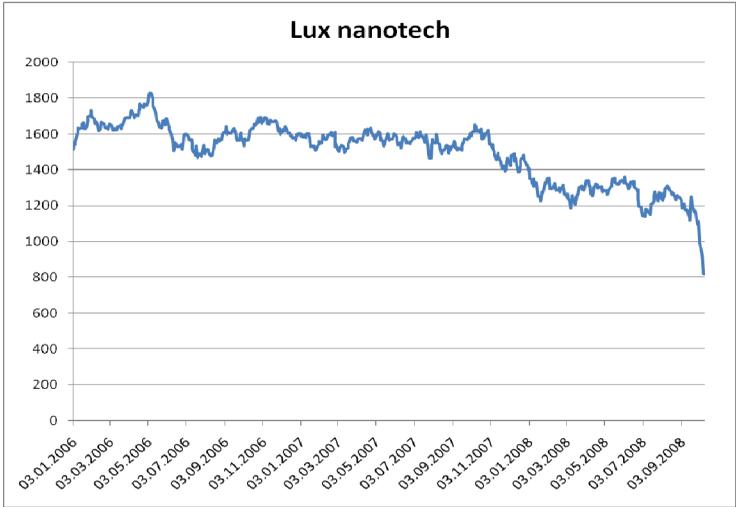


Рис.4.40. Динамика фондового индекса наноконпаний The Lux Nanotech Index™



Рис. 4.41. Динамика фондовых индексов высокотехнологических компаний в кризисный период

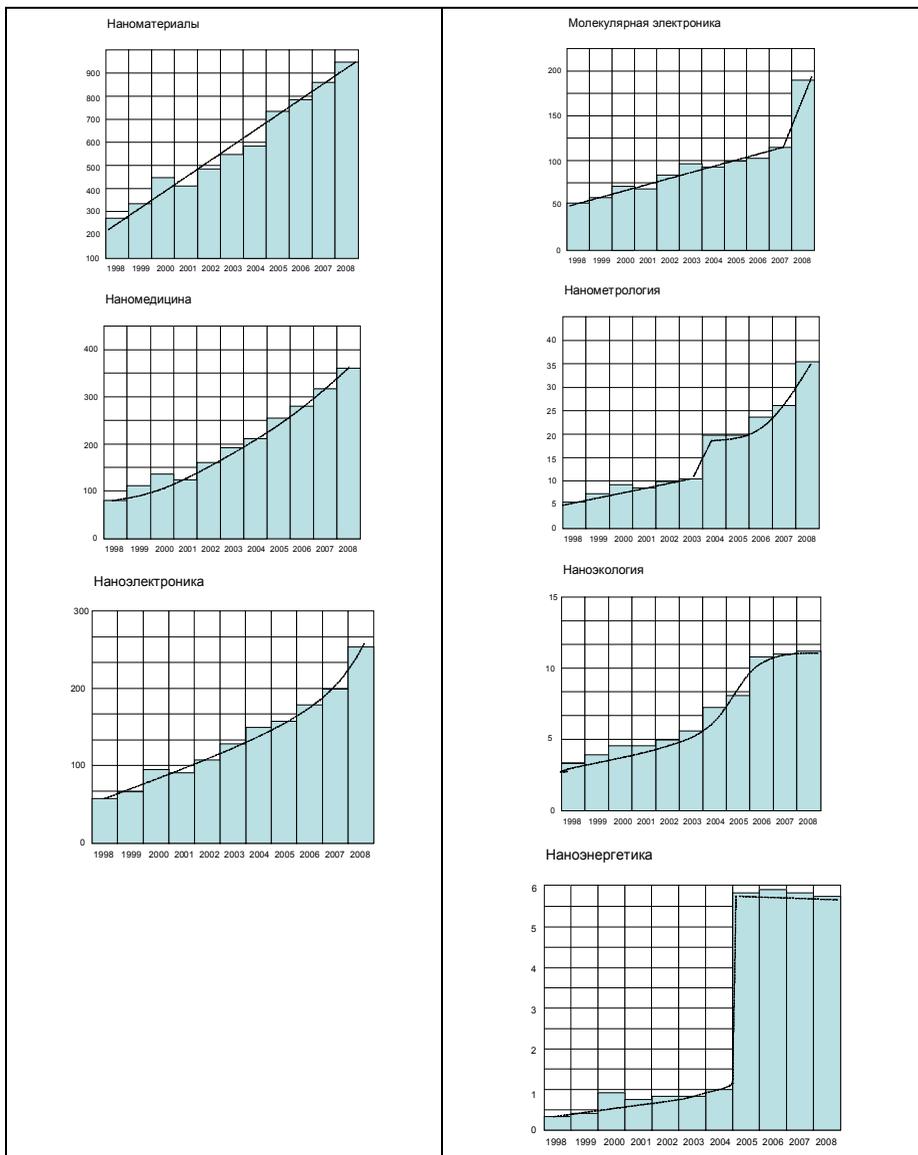


Рис. 4.42. Динамика упоминаний слов наноматериалы, наномедицина, наноэлектроника, молекулярная электроника, нанометрология, нанозология и наноэнергетика в Интернете (в тысячах)

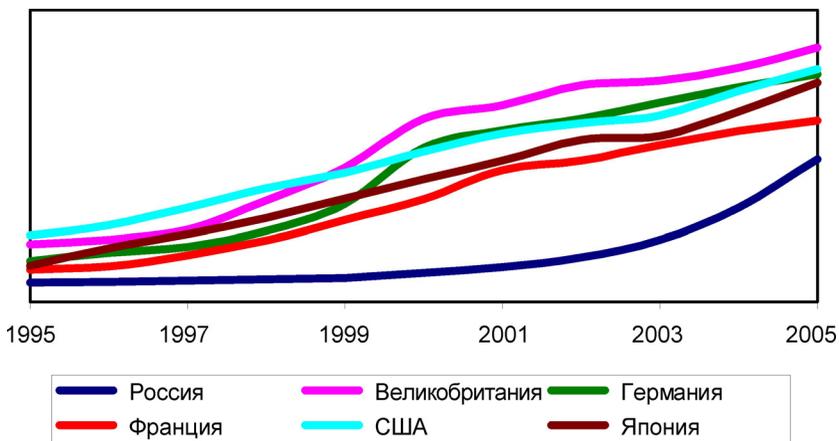


Рис. 5.1. Обобщенный показатель роста пятого технологического уклада

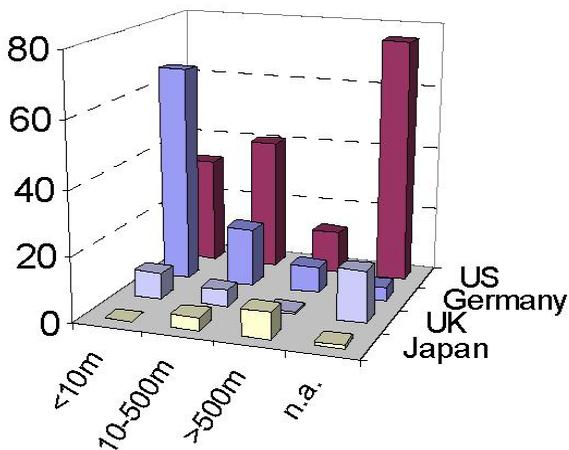


Рис. 5.2. Размер нанотехнологических компаний в ведущих странах (товарооборот в миллионах долларов США) [5.18]

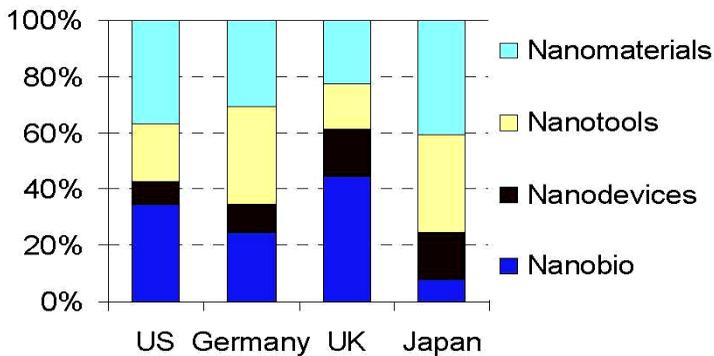


Рис. 5.3. Распределение компаний ведущих стран по секторам нанотехнологии [5.18]

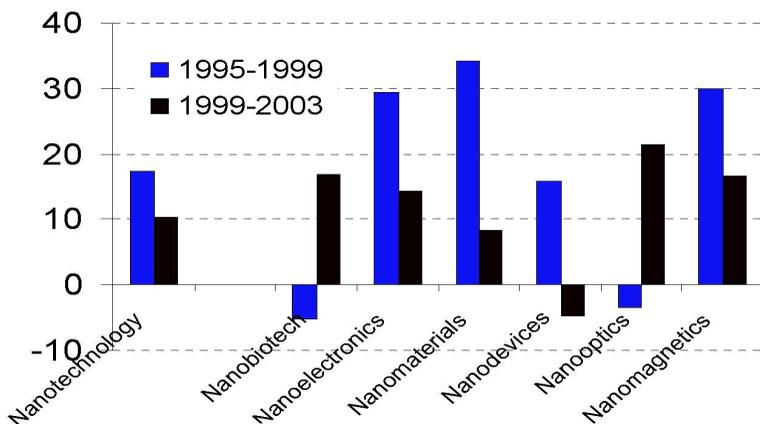


Рис. 5.4. Среднегодовые темпы роста числа патентов по сегментам нанотехнологии [5.18]

Темпы роста основных экономических показателей (в процентах к 1990 г.)

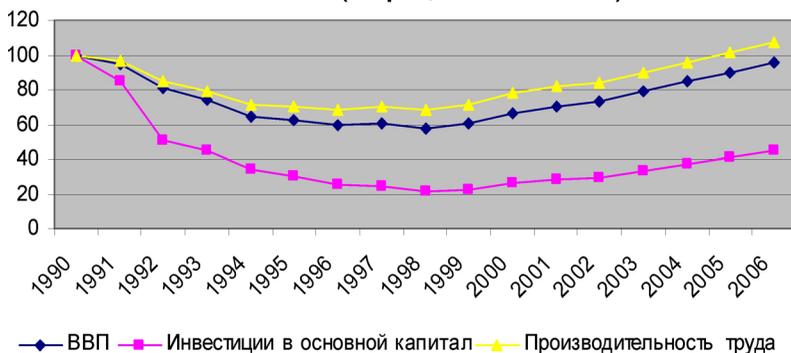


Рис. 5.5. Темпы роста основных экономических показателей России (в процентах к 1990 г.).

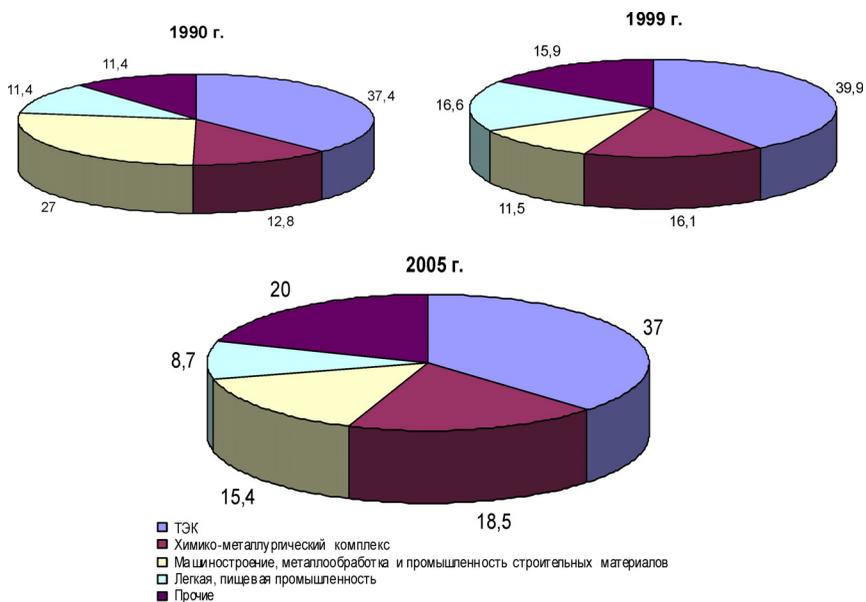


Рис. 5.6. Структура промышленного производства, % [5.57, 5.58, 5.59]

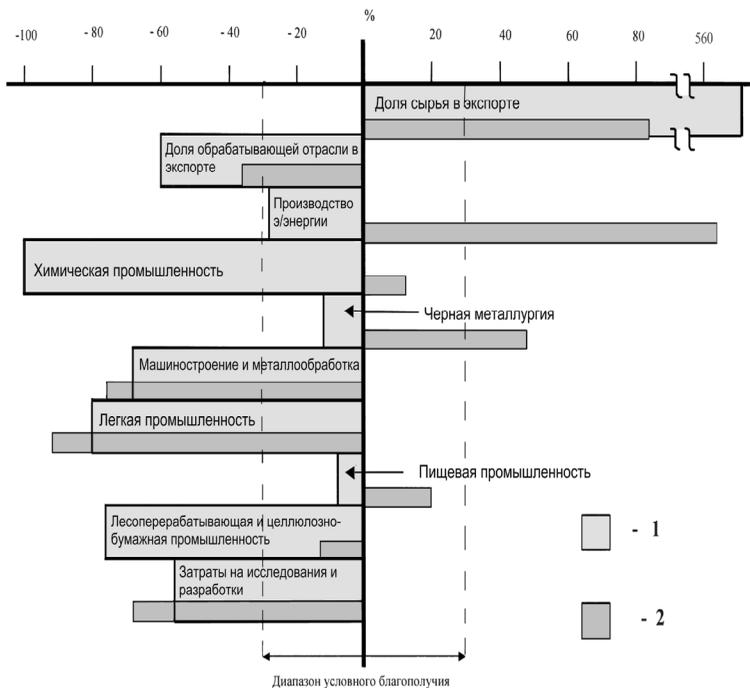


Рис. 5.8. Национальный профиль индустрии. Отклонение российских промышленных пропорций от среднемировых (1), и изменение в структуре российских инвестиций за 1990 – 2002 гг. (2) [5.68]

Показатели доходности операций в финансовой и производственной сферах (2006 г.) в %

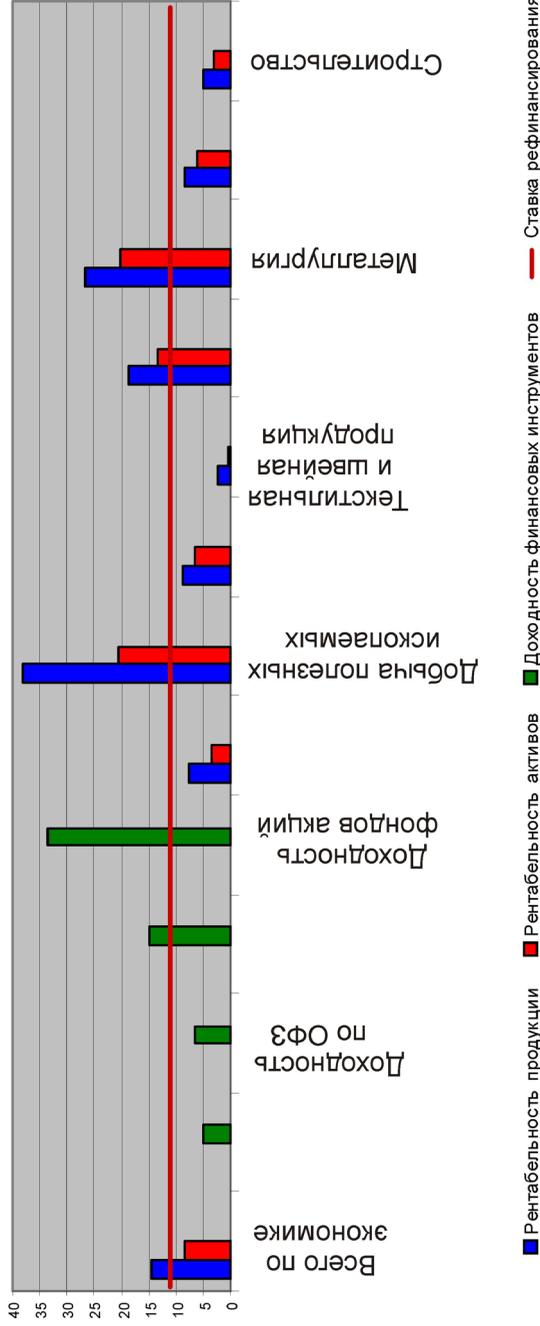


Рис. 5.9. Показатели доходности в финансовой и производственной сферах (2006 г.) в %.

Источник: Россия в цифрах – 2006г. Краткий Статистический сборник. – Росстат, М., 2006г.; Об итогах экономического развития Российской Федерации за 2006г. М.: МЭРТ РФ, 2007г.

Рис. 1. Рейтинг РФИ-АО за 2004 г.

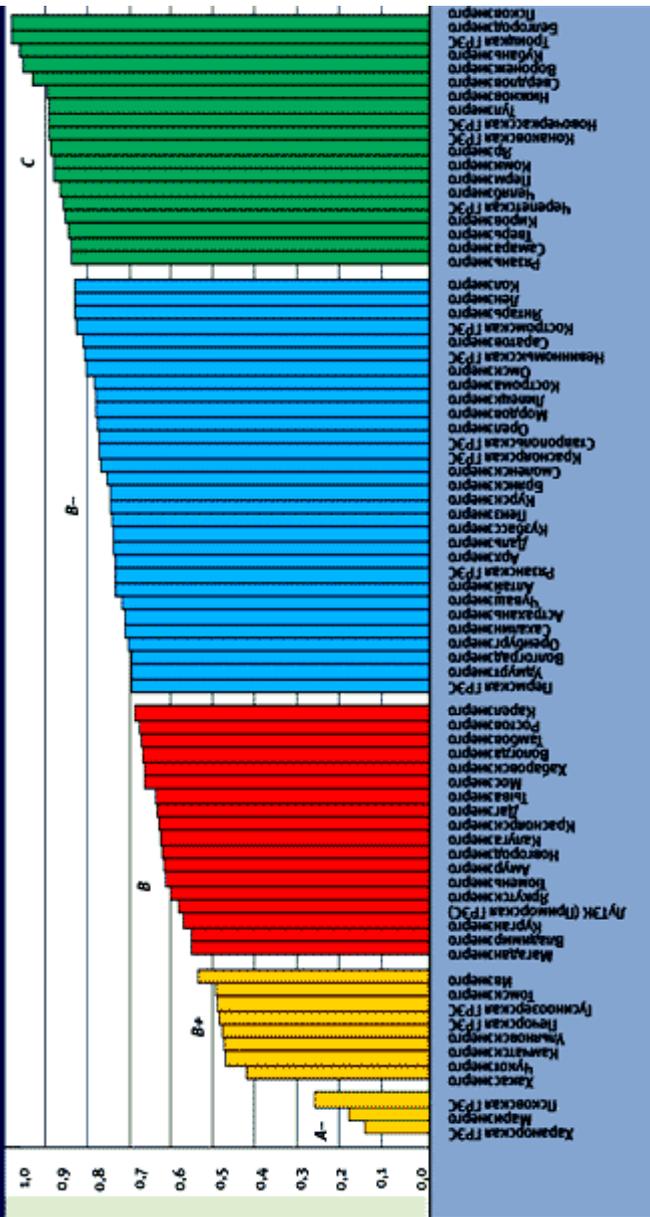


Рис. 5.10. Физический износ (от 0 до 1) основного энергетического оборудования тепловых электростанций (на 2005 г.). Физический износ рассчитывался как отношение наработанного срока службы оборудования данного типа к нормативному. Источник: Пшеничников С., Сумской И. Рейтинг ДЗО РАО "ЕЭС России". Энергобынок.2005. №12. <http://www.evs.elektra.ru/catalog/ao/iznos>

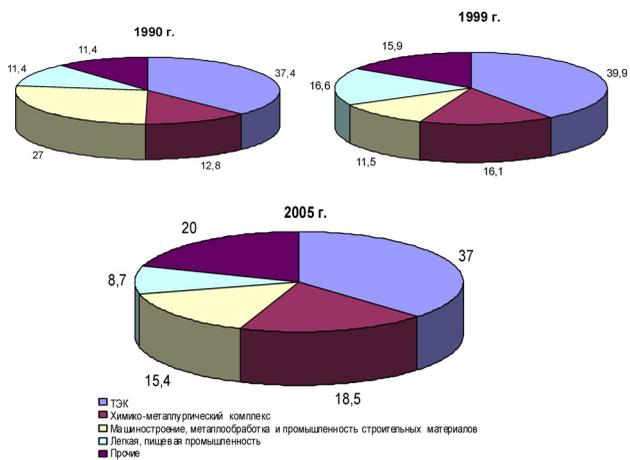


Рис. 5.11. Структура капитальных вложений в промышленность, %