

— наука

— производство

— рынок

## В номере:

**А. В. Суворинов**  
Развитие инновационной  
инфраструктуры в России

**В. В. Иванов, В. Е. Иосифов**  
Методологические аспекты  
формирования системы  
генерации знаний

**А. А. Мазур**  
Технопарк ИЭ им. Е. О. Патона

**А. И. Каширин, А. С. Семенов**  
О дефиците финансирования  
на «посевной» стадии»

**Б. Л. Кузнецов,  
Ф. И. Андреева,  
Г. Ф. Галиуллина**  
Институциональные  
и организационные  
разрывы в инновационной  
деятельности

**Хеймо Туомала**  
Устойчивое развитие —  
стимул или препятствие для  
инноваций?

**Клуб инноваций**  
Почему маленькие  
технологические компании  
редко становятся большими?

**Также читайте:**

**Нанотехнологии**  
И ЧТО-ТО О НИХ:  
или название статьи

Номер подготовлен совместно с инновационным проектом партии «Единая Россия» – «Фабрика мысли»

<b>Учредители:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Министерство образования РФ;</li> <li>Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства;</li> <li>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»;</li> <li>ОАО «ТРАНСФЕР»;</li> <li>Фонд СИНД.</li> </ul> <p>Обязанности издателя возложены на ОАО «ТРАНСФЕР». Генеральный директор Б. А. Новиков.</p>
--------------------	--

**Редакционный совет:**

Д. В. СЕРГЕЕВ (председатель), М. В. АЛФИМОВ, Г. Г. АНДРЕЕВ, Н. В. АРЗАМАСЦЕВ, А. Я. БАШКАРЕВ, И. М. БОРТНИК, С. В. ВАЛДАЙЦЕВ, А. Д. ВИКТОРОВ (зам. председателя), Б. А. ВИНОГРАДОВ, В. А. ГЛУХИХ, Г. В. ДВАС, В. В. ИВАНОВ, Н. И. ИВАНОВА, А. Б. КАЗАКОВ, И. И. КЛЕБАНОВ, В. В. КОЗЛОВ, Г. В. КОЗЛОВ, С. И. КОЛЕСНИКОВ, С. В. КОНДРАТЬЕВ, А. С. КУЛАГИН, В. М. КУТУЗОВ, Б. К. ЛИСИН, Г. Х. ЛОБАНОВ, Е. А. ЛУРЬЕ, Г. А. МЕСЯЦ, Л. Э. МИНДЕЛИ, В. Н. НЕВОЛИН, Б. А. НОВИКОВ, К. И. ПЛЕТНЕВ, Д. В. ПУЗАНКОВ, С. К. СЕРГЕЕВ, В. А. СТАРЫХ, А. В. СУВОРИНОВ, А. Н. ТИХОНОВ, В. П. ФЕТИСОВ, А. Н. ФОЛОМЬЕВ, А. Г. ФОНОТОВ, В. Н. ФРИДЛЯНОВ, А. А. ФУРСЕНКО, А. А. ХАРИН, Ю. В. ШЛЕНОВ, В. Е. ШУКШУНОВ, Ю. В. ЯКОВЕЦ

<b>Региональные представители журнала:</b>	<p>в Москве – Г. Г. Андреев (495) 235-3585;</p> <p>в Нижнем Новгороде и Волго-Вятском экономическом районе – А. Н. Зайцев тел./факс (8312) 19-3946; (3432) 74-5135;</p> <p>в Уральском регионе – Г. Б. Лехова</p> <p>в Западно-Сибирском экономическом районе – А. Н. Солдатов (3822) 41- 5743;</p> <p>в Восточной Сибири – Э. С. Бука (3912) 66-0387;</p> <p>в Северном регионе – В. В. Сокол (81622) 203-23;</p> <p>в Новгороде Великом – В. Н. Михайлов (8162) 66-1454;</p> <p>в Воронежской области – С. П. Волошин (0732) 71-2872;</p> <p>в Калужской области – Е. А. Пашин (08439) 956-44;</p> <p>в Ярославской области – А. Н. Киселев (0852) 21-8144, 45-8974;</p> <p>в Белгородской области – А. В. Симачев (0722) 26-2609;</p> <p>в Ульяновске – Г. К. Рябов (8422) 44-1688;</p> <p>в Краснодарском крае – Г. А. Попова (8612) 52-0530, 24-1268;</p> <p>в Хабаровском крае – В. В. Новохатский (4212) 32-9320;</p> <p>на Украине, в Луганске – В. И. Качан (0642) 53-1393;</p> <p>во Владимирской области – В. И. Заборин (49244) 210-55, 8 (910) 671-8774;</p> <p>в Республике Беларусь – В. А. Гулецкий (37517) 232-8342;</p> <p>в Татарстане – М. Р. Габайдуллин (8432) 72-9653;</p> <p>в Республике Саха (Якутия) – Н. Е. Егоров (84112) 25-3590;</p>
<b>Распространение:</b>	<p>Распространяется на территории Российской Федерации и СНГ по подписке через каталог «Роспечати», подписной индекс 38498, и по подписке через объединенный каталог «Пресса России», подписной индекс 42228, а также через «Каталог российской прессы Почта России», подписной индекс 99233.</p>
<b>Адресная доставка:</b>	<p>руководителям предприятий, инновационно-промышленных комплексов, инновационно-технологических центров, технопарков, НИИ, КБ, вузов, федеральным и региональным органам власти и управления.</p>
<b>Адрес дирекции и редакции журнала:</b>	<p>197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5, ОАО «Трансфер».</p> <p><b>Для писем:</b> 197022, Санкт-Петербург, а/я 66.</p> <p>Тел./факс: (812) 234-0918; тел.: (812) 234-6658.</p> <p>E-mail: <a href="mailto:transfer@eltech.ru">transfer@eltech.ru</a></p> <p>Электронная версия: <a href="http://innov.eltech.ru">http://innov.eltech.ru</a> и <a href="http://www.mag.innov.ru">www.mag.innov.ru</a></p>
<b>Редакция журнала:</b>	<p>Научный редактор выпуска – А. А. Кокошин</p> <p>Издатель – Б. А. Новиков</p> <p>Выпускающий редактор – В. И. Андреевская</p> <p>Верстка и оригинал-макет – Н.П. Егорова</p> <p>Рекламные материалы, подписка – А. Б. Каминская</p> <p>Референт – А. А. Иванова</p> <p>Электронная версия – А. Б. Новиков</p> <p>Дизайн и администрирование электронной версии – А. Г. Бархатов</p> <p>Оригинал-макет журнала подготовлен в редакции</p>

Формат 60х84/8, установочный тираж 2000 экз.

Отпечатано  
в типографии «БЕЛЛ»

Заказ №

Журнал издается при содействии  
Федерального агентства по печати  
и массовым коммуникациям

Редакция и издатель журнала не несут ответственности за содержание  
и достоверность рекламно-информационных сообщений, размещенных в журнале.  
Журнал зарегистрирован Госкомитетом РФ по печати.

Регистрационное свидетельство № 016292 от 30 июня 1997 г.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,  
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации  
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (редакция октябрь-декабрь 2006 г.)

© ОАО «Трансфер»



# СОДЕРЖАНИЕ

## ИЗ ОФИЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 3 Президентская инициатива  
«СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ НАНОИНДУСТРИИ»
- 6 Б. В. Грызлов  
БОЛЬШИЕ ЗАДАЧИ НАНОМИРА
- 8 А. А. Фурсенко  
О НАУЧНОМ И ОРГАНИЗАЦИОННОМ  
ОБЕСПЕЧЕНИИ РАЗВИТИЯ  
НАНОИНДУСТРИИ В РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ
- 14 А. А. Кокошин  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ЭКОНОМИКА  
БЕЗ «ДОЛИНЫ СМЕРТИ» – ЦЕЛЬ ПРОЕКТА  
«ФАБРИКА МЫСЛИ»
- 16 Ю. Е. Рафальский  
НУЖНЫ СИСТЕМНЫЕ МЕРЫ  
ПО РАЗВИТИЮ ИННОВАЦИОННОЙ  
ЭКОНОМИКИ

## ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ СФЕРА

- 19 А. П. Бердашкевич, Н. И. Булаев  
О ПРАВОВОМ СТАТУСЕ РОССИЙСКОЙ  
КОРПОРАЦИИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ
- 23 О РОССИЙСКОЙ КОРПОРАЦИИ  
НАНОТЕХНОЛОГИЙ

## ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

- 30 Е. В. Попова  
ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ  
ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО  
КОМПЛЕКСА
- 37 Н. В. Гапоненко  
РОССИЯ В РУСЛЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ГОНКИ  
ЗА ЛИДЕРСТВО В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ
- 45 И. Р. Куклина  
МЕТОДОЛОГИЯ РОССИЙСКИХ  
ФОРСАЙТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
- 48 А. О. Желтов  
ПОНЯТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАКЕТА
- 53 А. Н. Сисакян  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ – НАНОТЕХНОЛОГИИ  
И ОСОБАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗОНА

## ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУКИ

- 55 М. П. Кирпичников, К. В. Шайтан  
О РАЗВИТИИ НАНОБИОТЕХНОЛОГИИ
- 62 А. Л. Гинцбург, В. Г. Лунин, А. С. Карягина  
ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ  
НАНОВАКЦИН И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ  
ТЕСТ-СИСТЕМ
- 67 Е. Н. Каблов  
НАНОТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА СОЗДАНИЯ  
АВИАКОСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
XXI ВЕКА
- 70 Р. З. Валиев, О. Б. Наймарк  
ОБЪЕМНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ: УНИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА  
И ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

- 76 А. Н. Алешин  
БУДУЩЕЕ –  
ЗА ПОЛИМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКОЙ
- 79 Н. Н. Ермилов, Н. А. Чарыков, В. В. Павловец,  
Е. А. Кузнецова  
НАНОТЕХНОЛОГИИ – ОТ ТЕОРИИ  
К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ
- 84 А. Н. Пономарев  
ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
МИКРОМОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ  
И НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ФУЛЛЕРОИДАМИ
- 89 В. А. Полетаев, Т. Д. Кожина  
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ  
НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ  
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
- 92 А. В. Белов, О. Г. Агошков, В. Ф. Захаренков,  
К. А. Путиев, В. И. Ольховка  
ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА МАШИН  
И МЕХАНИЗМОВ ЗА СЧЕТ НАНЕСЕНИЯ  
НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА СОПРЯЖЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ  
ДЕТАЛЕЙ
- 94 Ю. В. Загашвили, В. И. Кулик, А. С. Орыщенко  
ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ  
ИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
НАНОРАЗМЕРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ
- 99 Н. Т. Баграев, Л. Е. Клячкин, А. М. Маляренко,  
Б. А. Новиков  
ПРИБОРЫ ИНФРАКРАСНОЙ  
И ТЕРАГЕРЦОВОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ  
В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ


## ОБРАЗОВАНИЕ И ИННОВАЦИИ

- 105 Г. Е. Дунаевский, В. Ф. Евстафьев  
НАУЧНАЯ ШКОЛА ТОМСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ  
И ПРОЦЕССЫ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ  
РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ  
И РАЗРАБОТОК
- 110 Л. Я. Дятченко, Т. М. Давыденко,  
Ю. Р. Колобов, М. И. Ситникова  
КЛАСТЕРНАЯ СИСТЕМА  
НЕПРЕРЫВНОГО МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ И ОСВОЕНИЯ  
НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО  
И МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## БИРЖА ТЕХНОЛОГИЙ И КОНТАКТОВ

### Исследования и разработки

- 118 А. Лапенас, О. Шаповалюк  
ЗНАКОМТЕСЬ: ЧЕТЫРЕ МИКРОСКОПА  
В ОДНОЙ УПАКОВКЕ



КАНЦЕЛЯРИЯ В.Путин  
24.04.2007

Пр-688

# Президентская инициатива «Стратегия развития наноиндустрии»

## Нанотехнологии для России и для каждого человека

Мир вступает в новую эпоху развития, связанную с разработкой и практическим использованием достижений науки в области нанотехнологий. Наноиндустрия, которая базируется на манипуляции отдельными атомами и молекулами, конструировании из них новых материалов и изделий, будет в XXI веке определять прогресс и состояние дел во всех областях человеческой деятельности. Исходя из этого участие России в создании нанотехнологий и формировании рынка соответствующей продукции определит ее реальное место в современном мире и, соответственно, ее экономические и политические возможности.

Наноиндустрия находится на таком этапе развития, когда получение результатов определяется в первую очередь новыми идеями, а необходимое оборудование только разрабатывается. С одной стороны, уже имеются новые материалы, востребованные промышленностью и способные совершить масштабную революцию в научной и производственной сферах, с другой — нет конкурентных технологий их массового производства. В этих условиях Россия может и должна сыграть значимую роль в осуществлении и продвижении соответствующих разработок и основанных на них инновационных проектов для мировых рынков. Интеллектуальный, организационный и финансовый потенциал страны позволяет нам войти в число лидеров на международном рынке нанопродукции и наноуслуг.

Наномир бросает вызов большинству привычных представлений о характере физико-химических превращений вещества, о возможностях их использования. В ближайшие несколько лет применение нанотехнологий в промышленных масштабах качественно изменит многие сферы человеческой деятельности, повседневную жизнь людей.

Станут доступными и востребованными солнечные батареи, гибкие цветные дисплеи, на порядки более быстрая и емкая электроника, методы диагностики и лечения смертельных заболеваний. Изменятся технологии строительства и архитектурные решения. Будут созданы автомобили, работающие

на водородных топливных элементах. Новые системы управления, легкие и прочные конструкционные материалы значительно увеличат надежность и снижат стоимость летательных аппаратов всех типов, прежде всего самолетов и космических кораблей. Высококачественная посуда, телевизионная аппаратура высочайшего класса, практически вечные батарейки или лампочки будут доступны каждому. Устройства для фильтрации воздуха и воды существенно улучшат экологическую ситуацию. Еда будет храниться в специальных упаковках, которые смогут обеспечить сохранность продуктов, определить начинающуюся порчу и просигнализировать об этом потребителю. Одежда будет несминаемой, стойкой к воздействию воды и грязи и невосприимчивой к запахам. Цветной асфальт, контролирующей скорость движения, стены, впитывающие и перерабатывающие ядовитые выхлопы, из области сказок перейдут в реальность.

С помощью достижений в области нанотехнологий могут быть в перспективе решены ключевые проблемы цивилизации: энергетическая, экологическая и продовольственная безопасность, качество жизни, образования и общественного управления, борьба с бедностью, болезнями и терроризмом. В то же время потребуются беспрецедентные усилия мирового сообщества по ограничению развития военной нанотехники, введению режимов ограничения доступа к ней, установлению действенных процедур международного контроля, от которых будет прямо зависеть выживаемость человечества в XXI веке.

Наномир потребует от всех нас новых знаний и навыков, фантазии и точного расчета, чувства меры. Активное вмешательство человека в преобразование материального мира на молекулярном и квантовом уровне уже сегодня требует и соответствующего духовного осмысления. Гуманистическая направленность работ в области нанотехнологий заключается в том, чтобы формировать представления о человеке как о творце и о целях прогресса, тщательно анализировать и учитывать последствия научных и хозяйственных стратегий, их влияние на общество и экологию.

Революционные изменения, связанные с внедрением нанотехнологий, приведут к резкому уменьшению

потребности в неквалифицированных видах труда, предъявят новые требования к системе образования. Образование в XXI веке должно стать по-настоящему доступным и непрерывным. Междисциплинарный подход будет постепенно приходить на смену отраслевому, что сформирует условия для подготовки специалистов с системным мышлением — лидеров, способных воспринимать нанотехнику как сплав индустрии, науки, экономики и духовной организации общества.

Идеология продвижения в России новых проектов развития высоких технологий требует формирования соответствующей революционной по сути парадигмы мышления, разработки организационных и экономических механизмов, адекватных поставленным задачам.

## Перспективные задачи развития наноиндустрии

Исходя из современного уровня разработок в области нанотехнологий, перспектив фундаментальных научных исследований можно сформулировать три основные задачи развития наноиндустрии.

На первом этапе стоит задача кардинального увеличения объемов производства уже выпускаемой и востребованной продукции нанотехнологий, насыщения соответствующих рынков в ближайшие три-четыре года.

В результате в течение указанного периода будет реализован комплекс социально-экономических целей:

- создано значимое в масштабах экономики страны количество новых высокотехнологичных рабочих мест и увеличена капиталоемкость производства;
- повышено качество медицинского обслуживания населения за счет широкого внедрения принципиально новых диагностических средств (биочипов);
- улучшена экологическая ситуация (повышено качество очистки и переработки отходов производства и снижено их количество, повышено качество питьевой воды за счет массового использования новых высокоэффективных мембран и мембранно-каталитических систем);
- достигнуто значимое в масштабах экономики страны снижение материалов и энергоемкости продукции отечественной промышленности (массовое использование новых наноструктурированных материалов, светодиодов).

Задача второго этапа — разработка и доведение до промышленного производства новых видов продукции нанотехнологий, которые должны появиться на рынке через три-пять лет.

Результатами реализации данной задачи наряду с расширением масштабов уже достигнутых социально-экономических целей, в частности, станут:

- увеличение продолжительности и повышение качества жизни за счет внедрения принципиально новых видов медицинского обслуживания (систем адресной доставки лекарств, медицинских микробототехнических систем, медицинских нано- и микросенсорных систем для телемедицины);

- повышение уровня индивидуальной безопасности, безопасности объектов транспорта, объектов промышленного, общественного и бытового назначения за счет широкого использования принципиально новых нано- и микросенсорных систем дистанционного контроля и управления.

Задача третьего этапа — опережающее развитие принципиально новых направлений в области нанотехнологий, обеспечивающих создание в стране надотраслевой научно-образовательной и производственной среды в перспективе на ближайшие 10-20 лет. Главным содержанием этого этапа станут разработка и создание:

- продукции нанобиотехнологий;
- гибридных устройств и приборов бионического типа;
- нанобиосистем и устройств, включая принципиально новые гибридные системы осязания бионического типа;
- биоробототехнических систем.

Реализация задачи третьего этапа приведет к созданию принципиально нового технологического базиса экономики в Российской Федерации.

## Нанотехнологии: от идеи к практическому применению

Всеобъемлющий характер применения нанотехнологий свидетельствует о том, что масштабные нанопроекты носят межотраслевой характер и требуют применения новых организационных подходов для их реализации. Это обусловлено беспрецедентным разнообразием развиваемых направлений работ в рамках нанотехнологических программ, сложностью их эффективной координации, большим объемом выделяемых финансовых средств, а также ожидаемыми глобальными последствиями осуществления этих работ.

Основной проблемой является разрыв между высоким качеством осуществляемых исследований, созданных научно-технологических заделов в сфере нанотехнологий и критически низким уровнем инфраструктуры наноиндустрии в стране.

Для развития наноиндустрии необходимо создать современные кадровую, приборно-инструментальную, технологическую и информационную базы, добиться эффективной координации работ в этой области, ликвидировать избыточные экономические, институциональные и правовые барьеры, препятствующие развитию рынка нанопродукции и наноуслуг.

Основными инструментами государственной политики в сфере нанотехнологий должны стать:

- программа развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года;
- федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы»;
- иные федеральные целевые, региональные, отраслевые и ведомственные программы, предусматривающие финансирование разработок в сфере

нанотехнологий и доведение их результатов до стадии промышленного производства.

Должна быть сформирована инфраструктура национальной нанотехнологической сети, обеспечивающей концентрацию ресурсов на приоритетных направлениях исследований и разработок, повышение эффективности работ и уровня их координации, создание благоприятных условий для ускоренного введения в хозяйственный оборот новой конкурентоспособной продукции нанотехнологий.

В состав национальной нанотехнологической сети войдут:

- национальный исследовательский центр нанотехнологии, наносистем и наноматериалов на базе федерального государственного учреждения «Российский научный центр «Курчатовский институт», осуществляющий научную координацию деятельности по реализации президентской инициативы «Стратегия развития nanoиндустрии»;
- российская корпорация нанотехнологий, решающая задачи организационной и финансовой поддержки инновационной деятельности в сфере нанотехнологий;
- организации, осуществляющие финансирование проектов развития нанотехнологий, включая венчурные фонды;
- научные, образовательные, проектные и промышленные центры и лаборатории, созданные на базе вузов, Российской академии наук и других научных организаций, предприятий и учреждений различных форм собственности, осуществляющие исследования, разработки в сфере нанотехнологий и выпуск нанопродукции.

Особое внимание должно быть уделено созданию необходимых условий для организации эффективной деятельности национальной нанотехнологической сети, включающих в себя:

- оснащение вузов, научных организаций и исследовательских центров современным научно-исследовательским, технологическим и учебным оборудованием, создание приборно-инструментальной базы передового уровня;
- создание национальной информационно-аналитической системы, обеспечивающей подготовку и принятие управленческих решений в сфере нанотехнологий; эффективность определения и согласования приоритетов и областей ответственности исполнительных органов; согласование направлений международного научно-технического сотрудничества, тематики НИОКР; формирование единого реестра заказов, единого перечня квалифицированных исполнителей и областей их компетенции; обмен достигнутыми результатами; формирование высокоскоростной вычислительной сети;
- совершенствование системы управления интеллектуальной собственностью (создание нормативно-правовой базы патентно-лицензионной деятельности, оформление исключительных прав,

обеспечение создания организационно-правовых механизмов трансферта нанотехнологий);

- разработка национальной системы стандартов и сертификации в сфере нанотехнологий и наноматериалов, гармонизированной с международной системой;
- создание системы содействия продвижению продукции nanoиндустрии российского производства на внутренний и внешний рынки.

Основными задачами, которые предстоит решить в рамках национальной нанотехнологической системы, являются:

- рост объема и результативности государственных и частных инвестиций в исследования, разработки и производственную деятельность, связанные с развитием и внедрением нанотехнологий;
- формирование территориальных научно-производственных кластеров, обеспечивающих создание, производство и продвижение на рынок высоких технологий конкурентоспособной продукции nanoиндустрии, с использованием механизмов государственно-частного партнерства;
- разработка и внедрение эффективных механизмов коммерциализации результатов исследований и разработок в области nanoиндустрии;
- информирование общества о возможностях, перспективах и рисках, связанных с применением нанотехнологий;
- создание системы оперативного мониторинга научно-технического, производственного и рыночного потенциала Российской Федерации в сфере нанотехнологий;
- изучение и анализ ближайших, среднесрочных и стратегических перспектив развития мирового рынка нанотехнологий, исследований и разработок, проводимых за рубежом;
- организация эффективного международного сотрудничества, реализация совместных с иностранными государствами и частными корпорациями, финансирующими проведение работ, проектов в области развития и внедрения нанотехнологий, привлечение иностранных специалистов высокой квалификации к научной, педагогической и производственной деятельности, осуществляемой в рамках национальной нанотехнологической сети.

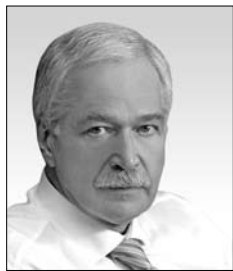
Формирование национальной нанотехнологической сети осуществляется в два этапа:

- первый этап — 2007–2010 годы;
- второй этап — 2011–2015 годы.

На первом этапе должны быть сформированы конкурентоспособный сектор исследований и разработок в области nanoиндустрии и эффективная система коммерциализации объектов интеллектуальной собственности в сфере нанотехнологий.

На втором этапе должны быть созданы условия для масштабного наращивания объема производства продукции nanoиндустрии и выхода профильных российских организаций на мировой рынок высоких технологий.

# Большие задачи наномира



**Б. В. Грызлов,**  
*председатель всероссийской политической партии  
 «Единая Россия», Председатель Государственной  
 Думы Федерального Собрания Российской  
 Федерации, руководитель фракции «Единая Россия»  
 в Государственной Думе Федерального Собрания  
 Российской Федерации*

**Н**анотехнологии — одна из наиболее обсуждаемых сегодня тем. Этой сферой активно интересуются не только ученые, но и экономисты, политики, бизнесмены. К ним проявляют интерес представители широких слоев общества, в том числе «технически подкованная» молодежь. Так, на запрос «нанотехнологии» поисковый сервер «Яндекс» выдает ссылки более чем на 1,5 млн страниц.

Это не просто дискуссия. Уже принимаются масштабные, в том числе финансовые, решения, направленные на поддержку данного сектора. Достаточно сказать, что в России на развитие наноиндустрии до 2015 года будет выделено около 200 млрд рублей. Эти цифры говорят сами за себя. Однако, начиная тратить столь значительные средства, обществу важно понимать, какие цели оно преследует и какими возможностями располагает. Только в таком случае деньги будут использоваться эффективно и приносить соответствующую отдачу.

Первый вопрос: зачем России развивать нанотехнологии?

«Нано», как известно, обозначает десять в минус девятой степени. Иными словами, речь идет о технологиях, оперирующих размерами, измеряемыми миллиардными долями метра. Если рассуждать образно, это означает возможность создавать конструкции из атомов и молекул — так же, как мы сейчас делаем их из деталей и кирпичей.

Безусловно, с научной точки зрения, это исключительно интересная задача. Но дело не только в этом. Применение нанотехнологий будет иметь огромный практический эффект в самых разных областях. Так, в микроэлектронике их внедрение приведет к появлению принципиально новых микропроцессоров и сверхъёмких («мультитерабитных») схем памяти с увеличенной пропускной способностью. А в медицине речь может идти, например о лекарствах на основе нанопорошков, частицы которых в силу своих малых размеров обладают гораздо более высокой способностью проникать в ткани и, соответственно, гораздо более высокой эффективностью. Несомненно, что на такие и многие другие изобретения будет спрос. «Нанотехнологии уже становятся ключевым направлением развития современной промышленности и науки», — заявил в Послании Федерально-

му Собранию Владимир Путин. В этой фразе слово «промышленность» не случайно стоит на первом месте. Нашей стране не впервые собирать воедино колоссальный научный потенциал и реализовывать сложнейшие проекты — достаточно вспомнить освоение космоса. Но в современном мире войти в число научных лидеров недостаточно. В перспективе нанотехнологии должны стать значимой частью нашей высокотехнологичной экономики. Они призваны реально работать на повышение уровня и качества жизни общества, безопасность и влияние нашей страны. Россия способна входить не только в научную, но и в экономическую элиту XXI века. Именно в этом и заключается главная задача.

Принципиально важно понимать, что речь идет отнюдь не об отдаленной перспективе. Согласно прогнозам экспертов в случае реализации намеченных программ объем продукции наноиндустрии в России может достигнуть показателя в 1 трлн рублей уже к 2015 году. Восемь лет — небольшой срок для столь значимого рывка. Но то, что Россия способна за такое время многого добиться, несомненно: достаточно сравнить ее сегодняшнюю жизнь с тем, что было в 1999-м году.

Нанотехнологии — это не только «завтра», но и «сегодня». В том или ином виде они используются в различных отраслях уже сейчас. Промышленность, в том числе отечественная, уже выпускает продукцию с использованием наноматериалов. Еще больше изобретений, которые готовятся к внедрению в практику. Например, рыбинским НПО «Сатурн» совместно с несколькими научными центрами разработаны и внедрены в серийное производство многослойные наноструктурированные покрытия для нанесения на отдельные части газотурбинных двигателей и режущую поверхность инструментов. Создан и прототип установки для вакуумно-плазменного нанесения покрытий. Это позволяет увеличить эксплуатационные свойства деталей горячего тракта газотурбинных двигателей в 3–5 раз.

НИИ надмолекулярных систем и технологий (Санкт-Петербург и Дубна) разработаны методы получения наноструктурированных каталитических материалов. В том числе это наноникель, способный заменять платину. В результате внедрения таких ка-

талитических материалов существенно снижается стоимость соответствующего оборудования.

В Объединенном институте ядерных исследований в Дубне создан комплекс ионно-лучевых технологий для создания новых наноструктурных материалов. Он включает в себя циклотрон, ионопроводы и установки для использования уникальных свойств ускоренных ионов. Комплекс открывает широкий диапазон возможностей для создания материалов для гибких печатных плат, СВЧ-модулей, конденсаторов.

Пока нельзя предсказать все возможности технологий, связанных с атомным и молекулярным конструированием. Но несомненно, что изготовленные на их основе материалы и компоненты найдут применение в самом широком спектре отраслей: связи и навигации, аэрокосмическом комплексе, металлургии, медицине, в технике, обеспечивающей обороноспособность и национальную безопасность, и во многих других.

И это будет, несомненно, выгодно. А значит, государства, которые овладеют подобными технологиями, войдут в число лидеров и будут определять повестку дня во многих областях жизни. А их корпорации и граждане — соответствующим образом зарабатывать.

Второй вопрос: что можно и нужно сделать для развития отечественных нанотехнологий?

Стремительное развитие экономики России и наличие сильной фундаментальной и прикладной науки позволяют говорить о том, что в нашей стране есть основные предпосылки, необходимые для полноценного развития нанотехнологий. Следовательно, прилагаемые усилия действительно могут дать хороший результат.

Столь масштабная задача, как развитие нанотехнологий, не может быть решена без поддержки со стороны государства. И она сегодня есть. Более того — существует четкое понимание, что именно должно делать государство. Президентом утверждена стратегия развития nanoиндустрии, определены основные приоритеты. Теперь на повестке дня стоят конкретные вопросы, связанные с реализацией намеченных планов: финансированием, решением организационных и правовых проблем.

Так, уже в нынешнем году в развитие инфраструктуры nanoиндустрии будет вложено около 6 млрд рублей. Деньги получают в первую очередь ведущие российские научные центры — как столичные, так и расположенные в регионах: в Томске, в Дубне, в Новосибирске и т. д.

При непосредственном участии представителей «Единой России» инициировано создание Российской корпорации нанотехнологий. Ее финансирование составит не менее 130 млрд рублей из федерального бюджета. Для российской науки это весьма значительные средства. Именно корпорации предстоит стать ключевым звеном в развитии отечественных технологий атомного и молекулярного конструирования. Она будет решать широкий спектр задач начиная от участия в выработке государственной политики в области нанотехнологий и заканчивая отбором и

финансированием конкретных проектов. Депутатам фракции «Единая Россия» удалось в кратчайшие сроки провести всю необходимую работу по разработке и рассмотрению законопроекта, на основе которого создается данная корпорация; 4 июля он принят в окончательном, третьем чтении. Мы, безусловно, примем самое активное участие в ее работе. В частности, в составе Наблюдательного совета корпорации будут представлены депутаты Государственной Думы.

Реальным инструментом развития нанотехнологий являются также федеральные целевые программы. В частности, на реализацию ФЦП «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации» в федеральном бюджете предусмотрено 9,5 млрд рублей в 2008 году, 7,9 млрд рублей в 2009 году и 7,5 млрд рублей в 2010 году. Данная программа направлена на создание в ведущих научных и образовательных центрах передовой научно-технологической базы. В той или иной форме вопросы нанотехнологий затрагиваются и в ряде других программ: «Национальная технологическая база», «Развитие оборонно-промышленного комплекса» и т. д.

Освоение нанотехнологий и в целом проведение современных исследований требует использования соответствующих методов математического моделирования. Поэтому партия «Единая Россия» в настоящий момент активно продвигает программу создания в стране сети суперкомпьютерных центров, создаваемых с использованием отечественных суперЭВМ, в том числе разработанных при нашей поддержке в рамках программы Союзного государства России и Белоруссии «СКИФ». Одна из таких машин, входящая в сотню самых мощных в мире, начала работать в нынешнем году в Томске. Следующие, еще более мощные, должны появиться в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова и еще в ряде вузов.

Государственные вложения, особенно сейчас, на стартовом этапе, имеют огромное значение. Вместе с тем, необходимо понимать, что в перспективе для развития современной экономики важнейшей задачей является привлечение в nanoиндустрию российского бизнеса. Уже сегодня интерес к реализации проектов в данной сфере, в том числе на основе принципов частно-государственного партнерства, проявляют многие отечественные предприятия. Поэтому принципиально важной задачей государства является стимулирование этих тенденций, формирование максимально благоприятных условий для инвестиций в проекты, связанные со столь наукоемкими технологиями. Такие предприятия должны получать «зеленую улицу».

Стремительное развитие нанотехнологий дает России реальный шанс создать собственную наукоемкую экономику, поднять тем самым уровень и качество жизни. Но оно же показывает, сколь быстро мы можем отстать в том случае, если не начнем работать над ними уже сейчас. Допустить этого нельзя. А значит, нужно действовать.



# О научном и организационном обеспечении развития наноиндустрии в Российской Федерации<sup>1</sup>

Доклад министра образования и науки Российской Федерации А. А. Фурсенко на заседании Правительства Российской Федерации 17 января 2008 г.



А. А. Фурсенко

Нанотехнологии наряду с информационными и биотехнологиями являются фундаментом научно-технической революции в XXI веке, одним из перспективных и востребованных направлений развития науки, технологий и промышленности в индустриально развитых странах. В 2008 году объем продаж продукции, связанной с наноиндустрией, составит, по оценкам экспертов, около 700 млрд долларов США. Уже сегодня начался активный раздел мирового рынка в этой сфере (рис. 1). Завершение этого процесса ожидается к 2015 году. При этом объем рынка возрастет, по экспертным оценкам, до 1,2 – 1,5 трлн долларов США.



Рис. 1

Базой для нового прорыва в сфере высоких технологий стали научные исследования в самых разных областях: материаловедении и электронике, биологии и атомной физике. И практически во всех этих областях важный, весомый вклад был внесен российскими учеными. Можно упомянуть здесь работы по гетеропереходам, синхротронному излучению, биочипам, углеродным структурам и т. п.

<sup>1</sup> Публикуется по материалам сайта Министерства образования и науки РФ <http://www.mon.gov.ru>

В настоящее время Россия располагает достаточным научным и кадровым потенциалом для ускоренного развития работ в области наноиндустрии. Фундаментальные, поисковые исследования и разработку нанотехнологий осуществляют более 150 научных организаций с численностью около 20 тыс. исследователей.

Заметно хуже пока обстоят дела с коммерциализацией результатов исследований. Вместе с тем, определенные перспективы имеются и в этом направлении. Так, например, только 5 компаний, получивших поддержку в рамках важнейших инновационных проектов, производят и реализуют сегодня нанотехнологическую продукцию в объеме более 8 млрд рублей в год.

Установка на разработку и успешное освоение новых технологических возможностей и перспектив, формирование передовой наноиндустрии потребовала активизации усилий государства по координации и научному, кадровому, инфраструктурному и организационному обеспечению нанотехнологических проектов.

К настоящему моменту в сфере нормативно-правового и организационного обеспечения развития системы исследований и разработок в области нанотехнологий уже принят ряд базовых документов, в том числе Концепция развития работ в области нанотехнологий на период до 2010 г., Программа координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов, План действий по стимулированию развития наноиндустрии и др.

Ключевым документом здесь является президентская инициатива «Стратегия развития наноиндустрии». Для ее реализации по поручению президента Российской Федерации в июне 2007 года был образован Правительственный совет по нанотехнологиям под председательством первого заместителя председателя правительства.

За очень короткий временной интервал Совет успел обеспечить решение целого комплекса важных вопросов. Среди них разработка плана первоочеред-

ных мероприятий по реализации Стратегии, создание системы целевых индикаторов и показателей, обеспечивающих эффективный контроль выполнения конкретных мероприятий и достижения стратегических целей развития наноиндустрии, разработка проекта концепции и плана формирования национальной нанотехнологической сети.

Для реализации государственной политики в части развития инновационной деятельности и коммерциализации разработок в сфере нанотехнологий по решению президента была создана Российская корпорация нанотехнологий. В настоящее время сформирован ее уставный капитал (в размере 130 млрд рублей), приняты основные документы, регулирующие ее деятельность, завершается формирование рабочих органов Корпорации и разработка стратегии ее деятельности.

Очевидно, что для использования нанотехнологий как локомотива наукоемких отраслей промышленности должны быть сформулированы не только общие цели, но и конкретные шаги по реализации практических задач и индикаторы, позволяющие контролировать их достижение. Эти важные элементы заложены в Программу развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года, проект которой уже внесен нашим министерством в Правительство Российской Федерации.

Стратегической целью Программы является создание высокотехнологичной и конкурентоспособной российской наноиндустрии в срок до 2015 года.

На первом этапе (2008-2011 годы) должны быть сформированы конкурентоспособный сектор исследований и разработок в области наноиндустрии и эффективная система коммерциализации создаваемых объектов интеллектуальной собственности.

На втором этапе (2012-2015 годы) предусмотрено обеспечение условий для масштабного наращивания объема производства продукции наноиндустрии и выхода профильных российских компаний на мировой рынок высоких технологий.

Соответственно решаемым задачам структурирована и система показателей Программы, которая была одобрена в целом Правительственным советом по нанотехнологиям. Ожидаемые результаты реализации Программы — к 2015 году объем продаж российской продукции наноиндустрии составит около 900 млрд рублей; доля отечественной продукции в общем объеме продукции наноиндустрии, реализованной на мировом рынке, — около 3,0%; объем финансирования формирования производственно-технологической инфраструктуры наноиндустрии составит 180 млрд рублей.

В настоящий момент в научно-исследовательском плане выделены приоритетные направления НИОКР в сфере нанотехнологий, перечень которых не является исчерпывающим и фактически уточняется каждый год, следуя мировым тенденциям развития наноиндустрии и потребностям российской экономики, национальной обороны и безопасности.

Имеются и эффективно используются инструменты государственной поддержки исследований и разработок в области наноиндустрии: ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса», «Национальная технологическая база», Федеральная космическая программа, Государственная программа вооружения, программа развития ОПК, специализированные программы РАН и РАМН, программы РФФИ. Объемы всех этих инструментов госфинансирования НИОКР в сфере нанотехнологий оцениваются в 2008 г. примерно в 10,5 млрд руб., в 2009 г. — 12 млрд руб.

Для обеспечения развития экспериментальной и технологической базы в области наноиндустрии разработана и утверждена ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии» с общим объемом финансирования — 28 млрд рублей на период 2008-2010 гг.

Значительные средства расходуются на создание центров коллективного пользования уникальным оборудованием. Из 56 ЦКП, созданных на базе ведущих научных организаций и высших учебных заведений в 2005-2006 гг., 36 работают по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалы». На их поддержку и развитие расходуется около 1 млрд руб. ежегодно. Сегодня, по крайней мере в центральной части России, практически в любом из ее регионов ученый может найти исследовательскую установку мирового уровня.

Другим критически важным фактором обеспечения развития наноиндустрии в России является подготовка кадров. Большая работа по кадровому обеспечению осуществляется в рамках приоритетного национального проекта «Образование». Основным ее итогом в 2006-2007 гг. стало открытие новых образовательных специальностей, связанных с нанотехнологиями. При этом особое внимание обращается на междисциплинарность. В 36 из 57 вузов — победителей конкурсов инновационных образовательных программ осуществлено обновление материально-технической базы образовательного и научного обеспечения развития нанотехнологий, на эти цели в 2006-2007 годах направлено более 3,5 млрд рублей.

Весомые меры государственной поддержки предусматриваются проектом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», подготовленным Министерством образования и науки в конце 2007 года.

Имеются многочисленные возможности поддержки коммерциализации продукции наноиндустрии (рис. 2).

Принципиальным фактором синхронизации направлений развития отечественной наноиндустрии с международным научным и технологическим сообществом является участие России в крупных международных проектах, в межправительственных и двусторонних координирующих органах. Мы, в частности, принимаем активное участие в работе специальных рабочих групп ОЭСР, а также дру-

## Основные инструменты государственной поддержки развития наноиндустрии

### □ Коммерциализация разработок

- Государственная корпорация «Российская корпорация нанотехнологий»
- Программа поддержки создания новых высокотехнологических компаний наноиндустрии (Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере)
- Мероприятия по государственной поддержке малого предпринимательства (Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации)
- Венчурное финансирование компаний наноиндустрии (Российская венчурная компания, другие участники венчурного финансирования компаний наноиндустрии)
- Особые экономические зоны технико-внедренческого типа (Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации)
- Программа создания и развития технопарков (Министерство информационных технологий и связи Российской Федерации)
- Поддержка экспорта компаний наноиндустрии (Банк внешнеэкономической деятельности и развития Российской Федерации)

Рис. 2

гих международных структур. Эта работа призвана обеспечить полноценное вхождение России на паритетных началах в основные международные научно-технические организации в сфере нанотехнологий, создать условия для формирования международных объединений российских и зарубежных партнеров в сфере наноиндустрии.

Таким образом, можно сказать, что для развития наноиндустрии имеются не только научные, но и организационные предпосылки. Теперь необходимо сформулировать условия, при которых эти предпосылки превратятся в продукт.

В первую очередь мы должны расставить приоритеты в достижении наших целей, определить, какие направления являются критически важными для развития отечественной наноиндустрии в рамках установленных программных индикаторов.

Это, в свою очередь, требует от нас четкого определения параметров мирового рынка нанопродуктов, современного и перспективного.

Нанотехнологии используются как для улучшения или придания новых потребительских свойств известной продукции (ткани с нанопокровками, новые композитные и конструкционные материалы и пр.), так и для создания принципиально новой продукции (полупроводниковые лазеры, светодиоды, биочипы). При этом, когда мы говорим о производстве продукции и занятии определенной доли рынка, то существует несколько сегментов рынка, подход к которым со стороны государства должен отличаться.

В принципе всю продукцию наноиндустрии можно, конечно весьма условно, поделить на три группы:

1. Продукция массового потребления, не связанная с выполнением государством своих конституционных функций.
2. Продукция, выпуск которой связан с выполнением социальных функций государства, обеспечением обороноспособности и безопасности (конституционные обязанности РФ).
3. Производство средств производства (научное, технологическое, метрологическое оборудование и технологии).

Именно продукция первой группы должна обеспечить основной вклад в показатели, связанные с увеличением объемов продаж. В этом случае основная роль государства состоит в создании благоприятных условий для стимулирования производства и продаж, включая частичное финансирование самой рискованной ниоокровской стадии движения продукта к рынку.

Во втором случае государство должно более активно вмешаться в процесс создания и продаж нанопродукции. И в финансовом смысле, и в смысле нормативного регулирования. В качестве примеров можно привести проблему чистой воды, проблему создания и внедрения новых лекарств, а также обеспечение жилищно-коммунального хозяйства новыми материалами и системами. Это также и технологии совершенствования вооружений и специального оборудования для Минобороны, ФСБ, МЧС, других силовых ведомств. Здесь государство обязано взять на себя при необходимости большую долю расходов на НИОКР и способствовать, в том числе административными мерами, производству и сбыту соответствующей продукции. Например, установить технические регламенты по очистке питьевой воды, достигаемые использованием наномембран.

Что касается производства средств производства, то если мы хотим оставаться в ряду технологически развитых стран, если мы хотим обеспечить технологическую независимость по широкому спектру нанопродукции в будущем, если мы, наконец, хотим влиять на формирование международных стандартов в сфере нано-, то Россия обязана способствовать, патронировать, если хотите, данную сферу наноиндустрии.

Необходимым условием роста наноиндустрии в России, как, впрочем, и во всем мире, является решение вопросов регулирования, в первую очередь в плане метрологии и стандартизации. Для этого, помимо разработки соответствующих стандартов, также могла бы быть эффективно применена практика так называемых технологических карт.

Весьма актуальными являются и проблемы безопасности при производстве и потреблении нанопродукции. Пока нигде в мире не проведено достаточно глубоких исследований, которые позволяли бы в полной мере оценить потенциальные риски использования наноматериалов. Такие работы у нас запланированы, и есть хорошее взаимопонимание с Роспотребнадзором и главным государственным санитарным врачом, в том числе по совместной работе в рамках «Концепции токсикологических исследований и методологии оценки риска наноматериалов».

Кроме того, для сбора необходимой и достоверной отчетности следует разработать классификатор продукции наноиндустрии и внедрить его в систему государственной статистической отчетности.

Помимо указанных мер, с учетом общенационального характера создаваемой нанотехнологической сети нам следует одновременно и сразу налаживать

глобальную систему обмена информацией между участниками ННС.

частности, листовой прокат толщиной до 40 мм, трубы большого диаметра для морских трубопроводов, хладостойкие сварочные материалы.



Рис. 3

Приведенные мной общие положения могут быть наглядно проиллюстрированы на нескольких конкретных примерах производства и реализации продукции, созданной с использованием нанотехнологий. Рассмотрим некоторые из них.

1. Внедрение ОАО «Северсталь» технологий и освоение серийного производства уникальных для России марок стали с двукратным повышением эксплуатационных характеристик (свариваемости и хладостойкости) (рис. 3). Разработку соответствующей технологии выполнило ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей». Она позволяет получать высококачественную металлопродукцию, в



Рис. 5



Рис. 4

быть доведен до 200-250 млрд рублей в год. При этом внедрение новых техрегламентов может дополнительно мотивировать пользователей на все более широкое применение именно таких материалов, отвечающих долгосрочным интересам как компаний, так и государства в этом стратегически важном секторе экономики.

2. В ходе работ по целому ряду исследовательских проектов в России были созданы высокоэффективные ресурсо- и энергосберегающие технологии и сконструированы специальные реакторы с нанопористыми каталитическими мембранами для переработки легкого углеводородного сырья. Эти технологии были основаны на разработках Института катализа им. Борескова СО РАН и ассоциации «Аспект» (рис. 5).



Новая технология глубокой переработки попутных нефтяных газов реализована в первой опытно-промышленной установке, которая функционирует в ОАО ВНИПИГАЗпереработка, а в промышленном масштабе реализуется на площадке ОАО «СИБУР Холдинг» с пуском в 3 кв. 2008 г.

Разработанные технологии до 2011 года обеспечат дополнительный объем выпуска товарной продукции на сумму до 3 млрд рублей и значительное сокращение выбросов парниковых газов, что будет 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 м<sup>3</sup>/год), что позволит обеспечить дополнительный объем стоимости продукции и услуг до 200 млрд рублей в год.

Следует отметить, что данный проект представляет собой яркий пример применения нанотехнологий не только для повышения эффективности уже известных продуктов — нанокатализаторов, но и для создания совершенно новых изделий — нанопористых каталитических мембран.

Также важно упомянуть, что данный проект, напрямую связанный с выполнением социальных функций государства, получил существенную поддержку не только в рамках ФЦНТП Минобрнауки, но и как важнейший инновационный проект Минпромэнерго. Необходимыми мерами для обеспечения его дальнейшего активного развития могут и должны стать новые экологические требования, в частности отказа от сжигания попутного газа, стимулирующие пользователей к применению созданных технологий.

3. Неоднократно обсуждавшийся проект разработки светодиодов для замещения ламп накаливания в различных осветительных приборах позволяет существенно сократить расход электроэнергии на освещение (рис. 6). Научную базу проекта составили исследования российских специалистов, выходцев из ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Принципиальным моментом является тот факт, что наряду с немногими произво-

дителями в мире мы владеем технологией изготовления светодиодов сверхвысокой яркости, непосредственно использующихся для освещения жилья.

Потенциальный рынок светодиодов в мире огромен. На сегодня он составляет 3 млрд долл. в год, в то время как рынок светотехники в целом — 30 млрд долл. в год. В случае замещения ламп в различных светильниках на светодиоды к 2012 году рынок светодиодной светотехники превысит 60 млрд долл. в год. Российский рынок к этому моменту достигнет 70 млрд рублей. И продукция отечественной nanoиндустрии должна играть на нем определяющую роль.

Достижение этой цели сдерживается отсутствием необходимых стандартов для применения светодиодов в жилищном хозяйстве.

Замечу, что в данном случае в силу складывающихся обстоятельств у нас появляется совершенно уникальная возможность. Большинство стран при разработке маркетингового анализа и перспектив реформирования ЖКХ исходят из постепенного внедрения перспективных и отвечающих долгосрочным интересам общества систем освещения. Мы же в условиях вынужденного экстренного реформирования жилищно-коммунального хозяйства можем ввести такие системы в эксплуатацию фактически разом в масштабах всей страны.

Необходимо увязать новые высокоэффективные строительные и эксплуатационные стандарты с государственной программой реформирования ЖКХ, что позволит мотивировать разработчиков и производителей на совершенствование своей продукции и повышение ее конкурентоспособности.

4. В Институте молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН разработаны впервые еще советскими учеными и внедряются сейчас в медицинскую диагностику тест-системы на основе биочипов, позволяющие идентифицировать возбудителей туберкулеза, ВИЧ, гепатитов В и С, различных онкозаболеваний и пр. Метод сертифицирован и применяется в региональных противотуберкулезных центрах России.

Проект имеет огромное социальное значение. В частности, биочипы для выявления лекарственно-устойчивых форм туберкулеза позволили сократить время анализа с 6-10 недель до 1 дня и оперативно назначать адекватную терапию. Экономический эффект от внедрения биочип-диагностики для каждого больного с лекарственно-устойчивой формой туберкулеза составляет от 22 до 72 тысяч рублей. При этом России ежегодно требуются миллионы таких анализов.

Годовая потребность в проведении анализов — 30 млн анализов.

Однако реальные преимущества технологии не только и не столько в стоимости, сколько в косвенных выгодах,

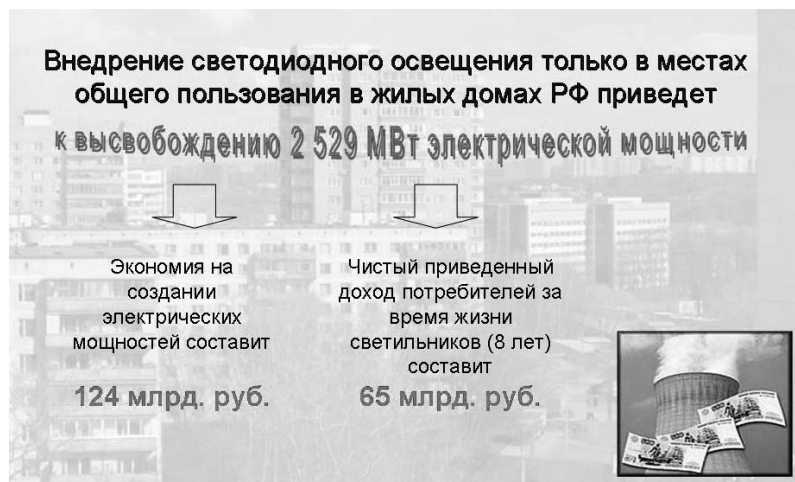


Рис. 6

связанных с ее применением, — резком сокращении необходимых койко-мест, сроков и эффективности лечения, повышении качества жизни людей, укрепление здоровья нации.

Вместе с тем, главный барьер — необходимость соответствующего регулирования. Нужны внутренние нормативные акты, запускающие массовое внедрение новой методики диагностирования и обеспечивающие соответствующую подготовку медицинского персонала.

5. Группой российских предприятий сегодня разработано и производится современное специальное технологическое оборудование для выращивания монослойных гетероструктур, исследовательское, диагностическое и технологическое оборудование на основе зондовой микроскопии (рис. 7). Это оборудование предполагает самое широкое применение от обучения и подготовки кадров до проведения исследований и выпуска продукции оптоэлектроники, СВЧ-техники и различных сенсоров, включая биочипы.



Рис. 7

Объем его реализации, так же как и перспективы рынка, в силу особой специфики и высокой стоимости единицы продукции не слишком впечатляющие. Однако важность, в том числе, с точки зрения технологического и научного лидерства, очень высока.

И здесь требуется определенная политика государственных закупок, которая позволила бы, в частности, оснастить однотипными высококачественными отечественными ростовыми установками молекулярно-лучевой эпитаксии в первую очередь исследовательские и образовательные учреждения (рис. 8). А это неизбежно повлечет за собой стремление промышленных производителей обзавестись подобным же оборудованием, что обеспечит насыщение национального рынка. Более того, при массовом производстве мы станем весьма конкурентны не только на рынке СНГ, но и других стран.

На сегодня мы уже поставляем оборудование для нанотехнологий в 40 стран мира на сумму око-

Пример оборудования для обучения и подготовки кадров в области нанотехнологий



Рис. 8

ло 1,5 млрд рублей. Предлагаемые меры позволят нам не только расширить эту группу, но и в близкой перспективе занять 10-15% мирового рынка, что будет способствовать обеспечению национальной безопасности России.

Разумеется, это лишь несколько примеров, но, на мой взгляд, они очень репрезентативны.

Обобщая сказанное, можно сделать следующие выводы.

1. Меры, предпринимаемые сегодня государством по научному и организационному обеспечению развития наноиндустрии, включая создание соответствующей приборной и финансовой инфраструктуры, являются адекватными и достаточными. Необходимо переходить к более интенсивному обеспечению производства продукции наноиндустрии.
2. В каждой отрасли имеются свои лимитирующие факторы, препятствующие активному развитию отечественной наноиндустрии, однако в целом все они носят системный характер.
3. Во всех отраслях имеются российские компании, начинающие выходить на мировой рынок, и поднятые вопросы важны для каждой из них.
4. Для решения поставленных задач необходимо формирование перечней перспективных продуктов и рынков и выработка техрегламентов и СНИПов, которые обеспечивали бы запуск новых производств.

Могу еще раз подчеркнуть, что мы решаем беспрецедентную по масштабам и амбициозности задачу. Причем как по масштабам вкладов со стороны государства, так и по масштабам ожидаемых результатов. Многие из того, что сегодня предлагается со стороны нанотехнологического сектора, поначалу выглядит научной фантастикой, но станет реальностью уже через несколько лет.

# Высокоэффективная экономика без «долины смерти» — цель проекта «Фабрика мысли»



**А. А. Кокошин,**  
заместитель руководителя фракции  
«Единая Россия» в Государственной Думе

*Партия и думская фракция «Единая Россия» последовательно и целенаправленно занимаются вопросами развития современных высокотехнологичных производств в России, поддерживая страте-*

*гический курс президента Владимира Путина на создание современной инновационной экономики, на укрепление реального суверенитета страны.*

Одним из механизмов решения этих задач является партийный проект «Фабрика мысли», цель которого — всестороннее содействие в формировании в России современной высокоэффективной экономики, основанной на знаниях, использовании передовых наукоемких технологий в промышленности, сфере услуг, сельском хозяйстве, в охране окружающей среды, в медицине, здравоохранении и других сферах.

В рамках этого проекта «Единая Россия» оказывает содействие строительству и реконструкции отечественных наукоемких производств в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, сферы услуг, в энергетической и транспортной инфраструктуре, а также содействует проведению фундаментальных естественнонаучных исследований. В этих целях осуществляется распространение информации о достижениях отечественных ученых, разработчиков новых технологий, изобретателей в отечественном и зарубежном деловом информационном пространстве.

Мы способствуем интеграции образования, науки и производства в конкретных регионах, городах, муниципальных образованиях. Одна из важнейших задач данного проекта состоит в том, чтобы оказать максимальную поддержку отечественным разработчикам технологий, различных высокотехнологичных продуктов, с одной стороны, и промышленникам и предпринимателям — с другой, в преодолении того, что называется в мировой практике «долина смерти» — участка между исследованиями, разработками и началом промышленного производства инновационной продукции, что особенно тяжело проходит в нашей стране.

В рамках проекта «Фабрика мысли» ведется разработка предложений по приоритетам и механизмам

реализации национальной научно-промышленной политики России, в т. ч. в таких областях, как нанотехнологии, биотехнологии, информационно-коммуникационные технологии, программные продукты, новые материалы с заранее заданными свойствами, ядерная энергетика, ракетно-космическая техника, авиационная техника, возобновляемые экологически чистые источники энергии, технологии, обеспечивающие население чистой водой и экологически чистыми продуктами питания, развитие транспортной инфраструктуры и др. на основе приоритетов, определенных президентом Российской Федерации, отмеченных в решениях съездов партии «Единая Россия». Партия оказывает содействие формированию широкого фронта отечественных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, достаточного для обеспечения реального суверенитета, национальной конкурентоспособности, обороноспособности, национальной безопасности Российской Федерации.

Одной из главных задач проекта «Фабрика мысли» является разработка предложений по стратегии и тактике продвижения российской высокотехнологичной продукции на мировые рынки и привлечение иностранных инвестиций на отвечающих интересам России условиях в соответствующие секторы российской промышленности, сферы услуг, сельского хозяйства.

На региональном уровне партия способствует росту числа наукоемких компаний малого и среднего бизнеса в различных регионах, городах, муниципальных образованиях РФ.

В рамках проекта «Фабрика мысли» уже проделана значительная работа. В частности, проведена большая конференция по вопросам энергоэффективности отечественной экономики на основе новейших технологий, рекомендации которой направлены в

правительство России; многие из них будут учтены, как договорились депутаты с соответствующими подразделениями правительства, при подготовке новой энергетической стратегии России.

Мы оказали содействие в получении господдержки для ряда российских технологий в разработке отечественных лекарств, вакцин, сывороток на основе новейших достижений российских ученых-биологов. То же — в отношении разработки исследовательских центров биотоплива второго поколения.

Развитие нанотехнологий — одно из приоритетных направлений реализации проекта «Фабрика мысли». Работа, проведенная на сегодняшний день по проекту в Екатеринбурге, Томске, Дубне, Перми, Рыбинске, Санкт-Петербурге и в других городах России, помогла выявить целый ряд значимых достижений наших ученых по созданию и применению наноматериалов, по изучению наноструктур и нанопроцессов, которые достойны того, чтобы их выводить в деловое информационное пространство, чтобы с ними знакомить отечественный бизнес, причем не только тех бизнесменов, которые занимаются венчурным финансированием.

Стоит отметить, что в развитии нанотехнологий сейчас вопрос стоит не только о создании наноматериалов, но о создании наносистем, механизмов с использованием наноструктур. Это задача более высокого класса. Это общенациональная задача, которая потребует усилий сотен тысяч людей. Эта задача должна быть понятна политическим и деловым кругам в нашей стране. Здесь я вижу очень большую роль партийного проекта «Фабрика мысли», который несет на себе информационную поддержку программы по созданию нанотехнологий. Таким образом, информация будет доведена до бизнеса, научных кругов, молодежи и широких кругов населения. Распространение таких знаний — важная часть национальной стратегии по развитию инновационных технологий.

У России сейчас есть все возможности обеспечить себе статус полномасштабной великой державы в освоении космоса, в разработке и использовании различных космических технологий. Освоение кос-

моса все больше становится предметом не только фундаментальной науки, но и вопросом прикладным. В решении этой задачи едва ли не центральную роль могут сыграть нанотехнологии, наномеханизмы, наносистемы, которые не только радикально уменьшат размеры космических аппаратов, но и придадут им новое качество. Речь идет, в частности, о разработке микроэлектроники, особо стойкой к радиационному воздействию, что крайне важно для надежной работы космических аппаратов вблизи Солнца.

Другой важной сферой применения наукоемких технологий является область производства отечественных суперкомпьютеров. Наличие у страны суперкомпьютеров, особенно в оборонной промышленности, — это вопрос обороноспособности страны и возможности создания современных высокотехнологических материалов. Большие надежды мы возлагаем на успешно функционирующую российско-белорусскую программу по созданию суперкомпьютеров «Скиф». С ее помощью мы уже получили высокие показатели по целому ряду направлений. Мы еще не скоро сможем быть конкурентоспособными на рынке персональных компьютеров, но мы имеем все возможности, чтобы шагнуть далеко вперед в сфере создания суперкомпьютеров и программного обеспечения к ним. Наша страна может занять место в тройке лидеров стран — создателей суперЭВМ.

Экспертным советом ученых, организованным «Единой Россией», подготовлены предложения в Правительство РФ по созданию в России сети суперкомпьютерных центров. Первый отечественный суперкомпьютер высокой мощности был установлен в Томском университете, сейчас готовится пуск еще более мощного компьютера в МГУ. Мы считаем, что очень важно, чтобы все элементы этой системы были отечественными, поскольку использование импортной техники в оборонной отрасли недопустимо. Борис Грызлов неоднократно подчеркивал, что те предприятия, которые пользуются бюджетными деньгами, обязательно должны быть ориентированы на отечественного производителя высокоточной техники.



**ФАБРИКА  
МЫСЛИ**

# ФАБРИКА МЫСЛИ

От идеи до реализации

<http://www.fabrikamisli.ru/>



# Нужны системные меры по развитию инновационной экономики



**Интервью с Ю. Е. РАФАЛЬСКИМ, координатором проекта «Фабрика мысли» партии «Единая Россия» по Северо-Западу, членом совета директоров «Центра стратегического планирования и проектирования», вице-президентом Центра социально-консервативной политики «Северо-Запад»**

**Юрий Рафальский поделился своими идеями о формировании в России инновационной экономики, о развитии инновационной инфраструктуры, о механизмах стимулирования бизнеса к внедрению инноваций**

— В последнее время много говорится об инновационной экономике, о партийных проектах как о новом подходе к социально-экономическому развитию страны. Почему эти идеи возникли именно сейчас и в чем отличие партийных проектов от аналогичных правительственных программ?

— За последние десятилетия экономике России удалось перенести сколько потрясений и переломов, сколько большинству стран не доводилось переживать за вековую историю. Многие высказывали опасения, что нам никогда не удастся преодолеть последствия 1990-х и заново выстроить экономику страны, возродить отечественную промышленность. Совместными усилиями Президента России Владимира Путина и «Единой России» удалось преодолеть последствия кризисов, стабилизировать ситуацию в стране и сконцентрировать в бюджете ресурсы, которые сегодня дают возможность реализовывать стратегические проекты развития России.

Создана финансовая база, но этого недостаточно для осуществления инновационного прорыва. Необходимо наладить конструктивное партнерство в сфере развития инноваций между всеми заинтересованными участниками. Это наука и образование, научно-технические центры, промышленность, бизнес и инвесторы. Государству отводится очень важная роль в этом процессе. Необходимо выработать стратегию инновационно-технологического развития, задать приоритеты, сформировать благоприятный инвестиционный климат. Важно максимально вовлечь бизнес-сообщество в обновление экономики, создать стимулы к внедрению инноваций, правильно выстроить инновационную инфраструктуру и создать условия для развития венчурного бизнеса. Наконец, именно государство должно курировать реализацию стратегических проектов.

Реализуя партийные проекты, мы стремимся находить точки пересечения интересов всех заинтересован-

ных сторон, участвующих в развитии инновационной экономики, и на них фокусируем общие усилия. Для решения этих задач был создан «Центр стратегического планирования и проектирования» (ЦСПП) — надведомственный фонд содействия развитию инноваций. Именно в эффективной координации взаимодействия участников состоит отличие и преимущество проектного подхода перед министерскими программами, в которых часто возникает межведомственная разобщенность, а в качестве критерия эффективности принятых мер часто выступает изменение экономических показателей. Как отметил глава Минобрнауки Андрей Фурсенко в одном из своих выступлений в Госдуме, в настоящее время стимулирующие инновационную деятельность меры разбросаны по различным министерским программам и отраслевым стратегиям. Это приводит к нарушению обмена информацией, отсутствию единых методических подходов. Внедряя проектный подход, где четко определены цели, задачи, сроки и ответственные за выполнение задач, партия обеспечивает более эффективную координацию усилий всех заинтересованных сторон для достижения конкретных результатов.

Кроме того, важным условием реализации курса на построение инновационной экономики является эффективное планирование и прогнозирование развития приоритетных отраслей, оценка тенденций и динамики социально-экономического, научно-технического и инновационно-технологического развития страны. Эта работа подразумевает как разработку концепций, планов, проектов и программ стратегического развития России, отдельных отраслей промышленности, науки и образования, так и выявление конкретных точек роста экономики каждого региона. Разработкой подобных программ уже сейчас занимается «Центр стратегического планирования и проектирования» совместно с проектно-аналитическим институтом партии «Единая Россия» — Центром социально-консервативной политики и его представительствами в регионах. ЦСПП также разрабатывает рекомендации по совершенствованию законодательства Российской Федерации, связанного с формированием в России современной высокотехнологичной экономики.

Осуществляя проект перехода к инновационной экономике, важно определить, на что мы будем ори-

ентироваться в качестве критериев эффективности предпринимаемых шагов. Очевидно, что прирост ВВП, темпы инфляции и другие технологические показатели роста, которыми оперируют министерства, далеко не всегда отражают реальную картину. А реальность — это благосостояние каждой конкретной семьи, удовлетворенность людей качеством жизни и уверенность в завтрашнем дне, в будущем своих детей, достойные условия труда и высокий уровень социального обеспечения граждан страны. Именно эти показатели должны браться за основу при разработке любых программ. Для нас это главные ориентиры.

— Почему партийный проект по развитию инновационной экономики называется именно «Фабрика мысли» и что такое «Центр стратегического планирования и проектирования»?

— Начну с нескольких показательных для России фактов. Уже ни для кого не секрет, что одна из основных проблем отечественной инновационной сферы — это огромный разрыв между инновационной идеей и ее реализацией, преодолеть который удастся лишь единичным разработкам. Поэтому наша задача при реализации проекта — создать связующие звенья, отлаженные и понятные всем заинтересованным участникам механизмы преодоления разрыва между исследованиями, разработками и началом промышленного производства инновационной продукции. В рамках проекта основным механизмом решения этой задачи является деятельность Центра стратегического планирования и проектирования (ЦСПП) — фонда содействия формированию современной инновационной экономики, который целенаправленно работает с изобретателями, занимаясь всем тем, что можно определить понятиями «менеджмент и маркетинг изобретений». Как это происходит на практике? В адрес центра поступают инновационные проекты. Для их рассмотрения при центре сформирован научно-технический совет, который проводит экспертизу проектов. В состав совета входят выдающиеся деятели науки — академики РАН Владимир Борисович Бетелин, Валентин Михайлович Пашин, Юрий Дмитриевич Третьяков, академик РАМН Александр Леонидович Гинцбург, член-корреспондент РАН, директор Объединенного института ядерных исследований Алексей Нораирович Сисакян, член-корреспондент РАН, ректор МГТУ им. Н. Э. Баумана Игорь Борисович Федоров и многие другие видные деятели науки, эксперты из бизнеса, главы профильных комитетов Государственной Думы. Авторы инновационных разработок, одобренных экспертами, получают поддержку в оформлении прав на изобретения, в получении грантов, информационную поддержку в продвижении разработок и помощь во внедрении разработок в производство.

Большое внимание специалисты центра уделяют помощи разработчикам в подготовке документации, бизнес-планов для получения грантов и включения проектов в Федеральные целевые программы. Не секрет, что ведомственная разобщенность, отсутствие

единого координационного центра и стандартов приводят к тому, что разобраться в требованиях к подготовке проектной документации подчас нелегко даже самим чиновникам, не говоря уже об изобретателях. Наша задача — максимально упростить эти процедуры и создать для изобретателей комфортные условия для практического внедрения разработок.



Сейчас в рамках деятельности центра мы работаем с проектами, отобранными рабочей группой «Фабрики мысли» в регионах. Партийный проект был специально назван «Фабрикой мысли», потому что подобная технология работы с изобретениями должна быть поставлена на поток, чтобы максимально сократить разрыв между разработкой и внедрением инновационных технологий. Именно в этом состоит основная идея нашего проекта.

— Какие первоочередные шаги нужно предпринять для развития инновационной экономики в России?

— Основой, своего рода фундаментом для построения инновационной экономики является создание в России национальной инновационной системы. В нее входят такие элементы, как кадровая обеспеченность и инфраструктура для инновационной деятельности; финансовые потоки, направляемые на развитие инноваций; организационная, информационная, законодательная и административная поддержка инноваций; наличие внутреннего и внешнего рынков сбыта российской инновационной продукции. Если какое-либо из этих звеньев будет развито недостаточно, то невозможно выстроить эффективную инновационную экономику.

Уже сегодня первостепенным вопросом становится обеспечение промышленных предприятий квалифицированными кадрами, без которых невозможно совершенствовать производство и внедрять наукоемкие технологии. Чтобы дефицит специалистов не стал тормозом развития экономики, необходим план промышленного развития страны, в котором определен инновационный потенциал каждого конкретного региона и обозначена потребность в профильных специалистах, которые будут востребованы в ближайшие годы. Подготовка такого плана и выработка методики оценки инновационного потенциала регионов в настоящий момент ведется, но здесь также необходимо объединить усилия всех заинтересованных сторон и

ускорить процесс.

Помимо кадров, важна также инфраструктура. Необходимо эффективно использовать имеющуюся и создавать новую инфраструктуру в соответствии с потребностями отраслей и регионов. Средства на эти цели есть, важно правильно ими распорядиться, стратегически оценивая перспективы и потенциал роста регионов.

Привлекать финансовые потоки в инновационную систему предполагается как из частных источников, так и за счет государства. При поддержке «Единой России» принят Федеральный закон «О банке развития», в соответствии с которым создана государственная корпорация «Банк развития и внешнеэкономической деятельности», которая будет финансировать инвестиционные проекты в приоритетных отраслях экономики. 300 миллиардов рублей из бюджета будет выделено на капитализацию Банка развития и Российской венчурной компании. В конце сентября Всемирный торговый банк и Российская венчурная компания завершили формирование венчурного фонда «ВТБ — Фонд венчурный». Фонд будет направлять прямые инвестиции в поддержку перспективных, быстро развивающихся компаний, действующих в области высоких технологий, индустриальной модернизации, а также в других наукоемких сегментах, требующих обновления. При этом стоит подчеркнуть, что одна из важнейших задач — добиться того, чтобы на каждый рубль государственных вложений добавлялось несколько рублей из частных средств, например, из средств компаний с государственным участием. Роль государства при этом — обозначать приоритетные направления вложения капитала в научно-исследовательские и прикладные проекты с учетом национальных интересов, стратегических целей развития страны.

---

— Как планируется привлекать бизнес к участию в реализации стратегии инновационного прорыва?

---

— Реализуя проект, важно помнить, что привлечь частный капитал возможно только при создании таких условий для бизнеса, при которых вложения в инновационную деятельность станут выгодными, даже с учетом всех рисков. Еще одним существенным фактором является наличие гарантий и преференций со стороны государства, обеспечивающих сбыт производимой инновационной продукции. Это отдельное, очень важное направление работы, ведь можно найти средства на разработку и доведение идеи до производства, но если не будет спроса на конечную продукцию, то на этом инновационный бизнес и закончится. В кризисные 1990-е годы спроса на инновационную продукцию, особенно промышленного применения, в России практически не было. Большинство так называемых инновационных компаний занималось поиском сохранившихся разработок советских НИИ и продаж их за рубеж. По данным Бюро экономического анализа, внедрением инноваций занималось 4-5% отечественных предприятий, тогда как в развитых странах — по-

рядка 70-80%. Следует отметить, что низкий уровень внедрения инноваций российскими компаниями в последние годы связан не столько с нехваткой средств для инвестиций, сколько с общей неопределенностью в сфере защиты прав собственности, коррупцией и прочими факторами. Это те проблемы, которые нам предстоит решить на законодательном уровне.

Другого рода проблема — это отсутствие контактов между наукой и бизнесом. Препятствием для построения диалога является и то, что ученые и бизнесмены говорят на разных языках, ориентируются на разные показатели. Лишь немногие ученые и НТЦ способны подготовить бизнес-план, показать выгоду от внедрения того или иного изобретения в конкретных отраслях, оценить сроки окупаемости. К сожалению, в России капитал пока находит очень мало экономически обоснованных инновационных проектов. Мы сталкиваемся с этим и в работе нашего фонда — многие из поступающих проектов находятся на нулевом цикле, нет ни понимания рынка, ни методов продвижения технологий, ни достаточной защиты интеллектуальной собственности. Это идеи на уровне предпатента. Чтобы довести их до проработанного проекта, требуются значительные затраты. Поэтому наши крупные корпорации вкладывают средства в добывающие и распределяющие предприятия по всему миру, но не в российские инновационные компании. Здесь, на мой взгляд, созданный нами центр также должен сыграть важную роль в «переводе» научных разработок на понятный для инвесторов язык.

Наконец, недопустима ситуация, когда компании, находящиеся под государственным контролем, игнорируют научные разработки отечественных предприятий и закупают импортную продукцию, аналоги которой существуют в России. Конечно, бывают ситуации, когда нет российских аналогов или аналоги отличаются в худшую сторону на порядок, но чаще предпочтение отдается более развитому маркетингу, более удобным условиям поставок, большему престижу зарубежных поставщиков, не говоря уже об откатах, взятках и других темных схемах, которые, к сожалению, существуют в российской действительности. Государственная поддержка крайне важна для создания базового спроса на инновационную продукцию. Речь идет не только лишь о непосредственном заказе из бюджета. Необходимо создание условий для стимулирования инновационного спроса прямым влиянием на подконтрольные государству структуры и косвенными стимулами, в том числе налоговым, таможенным, конкурсным и другим законодательством. Помимо прямых бюджетных заказов, существенную часть совокупного спроса создают корпорации с государственным участием. В целом необходима разработка комплексной программы по стимулированию спроса на инновационную продукцию. Только при востребованности наукоемкой продукции можно будет считать проводимую промышленную политику действительно эффективной.

*Вопросы задавала Е. Шумакова*

# О правовом статусе Российской корпорации нанотехнологий



**А. П. Бердашкевич,**  
*к. ю. н., главный советник аппарата  
Комитета Государственной  
Думы по образованию  
и науке*



**Н. И. Булаев\*,**  
*профессор, д. пед. н.,  
заслуженный учитель РСФСР,  
председатель Комитета Государственной  
Думы по образованию и науке*

\* В конце 2007 г. Н. И. Булаев назначен руководителем Федерального агентства по образованию

**Н**екоммерческая организация в виде государственной корпорации ранее не была известна российскому законодательству. Эта правовая форма не предусмотрена Гражданским кодексом Российской Федерации и появилась в нашем законодательстве совсем недавно, а потому еще недостаточно изучена в теории и мало используется на практике.<sup>1</sup> Особенности правового положения государственной корпорации в отличие от других юридических лиц определяются не уставом или учредительным договором, как того требует ст. 52 ГК РФ, а федеральным законом, которым корпорация создается. Закон играет роль учредительного документа. В нем должны быть указаны: наименование корпорации, цели ее деятельности, место нахождения, органы управления корпорацией и порядок их формирования, порядок назначения должностных лиц корпорации и их освобождения, порядок реорганизации и ликвидации корпорации и порядок использования имущества, оставшегося после ликвидации государственной корпорации. Основное различие между правом на имущество учреждения и имуществом государственной корпорации состоит в том, что имущество учреждения есть объект права государственной собственности и находится в оперативном управлении учреждения. Государственная корпорация является собственником переданного ей государством имущества.<sup>2</sup> Единственным учредителем государственной корпорации является Российская Федерация.

В настоящее время термин «корпорация» широко используется в российской юридической литературе. В некоторых высших учебных заведениях в качестве специальных курсов вводится дисциплина «Корпоративное право». Неоднозначность понятия приводит к различным толкованиям. Основная понятий-

ная нагрузка термина «корпорация» во всех языках приходится на его характеристику как обобщающее понятие для всякого рода общностей людей. В англосаксонской системе права корпорациями называются акционерные общества. В континентальной системе права под корпорациями понимаются объединения лиц и капиталов.<sup>3</sup> Идея корпорации как самостоятельного, имущественно обособленного субъекта права, не зависящего от лиц, его составляющих, возникла еще в системе римского права в отношении муниципий. Муниципия представляла собой местную общину, часть государства, получившую определенную хозяйственную независимость. В гражданском обороте муниципии выступали как частное лицо. Постепенно их имущество обособилось и выдвинулось. Со временем городское имущество стало рассматриваться как особое имущество, не принадлежащее ни римскому народу, ни отдельным физическим лицам.<sup>4</sup> Социальное объединение, приобретая статус корпорации, начинает действовать в экономическом обороте как единое целое, как единый субъект. Целостность субъекта не может быть образована ни через объединение имущества, ни через объединение деятельности. Единство субъекта — абстрактная категория, особый статус, который может возникнуть лишь через признание такого «единого» субъекта другими субъектами и всем обществом в результате публичного признания, исходя из того, что социальные функции корпорации реализуются в обществе. В континентальной Европе публичные субъекты имеют обособленное имущество, которое остается государственной собственностью, и несут самостоятельную имущественную ответственность. Публичный характер целей и наличие властных полномочий возникают на основании специального акта, принимаемого органами государственной власти. В ряде случаев счета публичных государственных юридических лиц отделены от государства, но государство обязывает

<sup>1</sup> Ершов И. В. Проблемы правового режима государственного имущества в хозяйственном обороте. М., 2001. С. 217–228.

<sup>2</sup> Залесский В. В., Каллистратова Р. Ф. Комментарий к федеральному закону «О некоммерческих организациях» (постатейный) // Издательство «Юрайт», 2000 (издание 3-е, дополненное и переработанное); Братановский С. Н., Злобина Е. А. Комментарий к Федеральному закону от 12 ЯНВАРЯ 1996 г. № 7-ФЗ «О некоммерческих организациях» (постатейный) // материал подготовлен для Системы КонсультантПлюс, 2006.

<sup>3</sup> Петухов В. Некоторые вопросы административно-правового регулирования организации и деятельности корпораций в России // Право и экономика. 2000. № 4.

<sup>4</sup> Суворов Н. С. Об юридических лицах по римскому праву. М., 2000. С. 40–41.



их соблюдать «технические задания», осуществлять свою деятельность в рамках «программных» или «плановых» договоров и даже иногда погашает долги публичных юридических лиц. Во Франции имущество промышленных и коммерческих публичных учреждений является собственностью именно этих учреждений.<sup>5</sup> Термин «публичная корпорация» в российском праве отсутствует. Государственная корпорация как тип юридических лиц установлена законом «О некоммерческих организациях». Государственная корпорация не является полным аналогом «публичной корпорации». В российском законодательстве широко используется термин «саморегулируемая организация», которая не представляет собой какую-либо новую организационно-правовую форму.

При определении понятия «корпорация» перечисляют близкие по значению слова: «союз, объединение, общество, объединенная группа, круг лиц одной профессии» или иные. Указанные определения отражают наиболее распространенные значения термина «корпорация». Такое понимание корпорации является достаточно широким. Вплоть до XIX века в юридической науке отсутствовало научно обоснованное понятие юридического лица<sup>6</sup>, термин «корпорация» из-за отсутствия какой-либо другой юридической формы служил своеобразным тождеством понятию «юридическое лицо» в его современной интерпретации. В современном понимании термин «корпорация» есть эквивалент для обозначения юридического факта объединения лиц и ресурсов.

Законодательная классификация типов юридических лиц стала источником юридических коллизий. Субъекты права как виды организационно-правовых форм не всегда соответствуют строгим требованиям закона, что проявляется в неадекватной интерпретации учредителями своих подведомственных юридических лиц. Создатели государственного унитарного предприятия «Государственная корпорация по организации воздушного движения в Российской Федерации» так же, как создатели государственного учреждения «Калужская областная государственная продовольственная корпорация» и создатели государственного унитарного предприятия «Тульская областная государственная агропромышленная продовольственно-финансовая корпорация» не обратили внимания на противоречие названия юридического лица и его организационно-правовой формы. Указ Президента Российской Федерации от 2 февраля 1993 г. № 184 «О создании Государственной инвестиционной корпорации», равно как и Указ Президента Российской Федерации от 15 марта 1993 г. № 339 «О создании Российской финансовой корпорации» поя-

вились ранее, чем в тексте о гражданском праве кодекса Российской Федерации возникла юридическая конструкция о государственных корпорациях.

Источником правового обоснования статуса и самой юридической конструкции «государственная корпорация» явилось желание законодателя расширить возможности операционного распоряжения федеральным имуществом. Право распоряжения является центральным элементом права собственности, которое определяют как право собственника своим волевым актом устанавливать правоотношения с другими лицами по поводу принадлежащих ему вещей. Право распоряжения определяют через обеспеченную законом возможность совершения действий, влекущих за собой существенное изменение самой вещи (вплоть до перехода ее в иное состояние) либо ее правовой принадлежности, а также предполагающих возможность такой перемены. Правительство Российской Федерации вправе создавать две формы некоммерческих организаций: учреждения (автономные либо бюджетные) или государственные корпорации. Иные федеральные органы государственной власти могут исполнять роль учредителя юридического лица только по поручению Правительства Российской Федерации. Причиной этого правила является исключительность права Правительства Российской Федерации на распоряжение федеральной собственностью, закрепленная в пункте «г» статьи 114 Конституции Российской Федерации. Без ведома Правительства Российской Федерации никто, ни один федеральный орган исполнительной власти не вправе наделить создаваемую организацию федеральной собственностью и, следовательно, лишен самостоятельной возможности создать новое юридическое лицо.

Федеральное имущество, переданное государственной корпорации, становится собственностью указанной корпорации, которая вправе распоряжаться им по своему усмотрению. В этом отношении статус государственной корпорации приближен к статусу такой некоммерческой структуры, как фонд, и, конечно, значительно отличен от статуса учреждения. Государственная корпорация не относится к органам власти, но имущество, переданное ей Российской Федерацией, находится у государственной корпорации на праве собственности, и государство не вправе распоряжаться ее активами, а она, в свою очередь, не отвечает по обязательствам Российской Федерации. Столь либеральные права в распоряжении имуществом позволяют государственным корпорациям выполнять особые функции, например, выступать гарантом перед зарубежными партнерами. Упомянутый ранее Указ Президента Российской Федерации от 2 февраля 1993 г. № 184 устанавливал, что Государственная инвестиционная корпорация «выступает гарантом иностранным и отечественным инвесторам, в том числе за счет осуществления залоговых операций с иностранными банками». Функция имущественного гаранта возможна только, если кор-

<sup>5</sup> Фурнье Ж. Предприятия публичного сектора в государствах Европейского Союза // Участие государства в коммерческой деятельности. С. 71–72; Белорже Ж.-М. Правовые формы публичного участия в коммерческой деятельности во Франции // Участие государства в коммерческой деятельности. С. 90–94.

<sup>6</sup> Ельшавич В. Б. Юридическое лицо, его происхождение и функция в римском частном праве. СПб., 1910. С. 32.

порация вправе отчуждать имеющееся у нее имущество в пользу третьих лиц.

Гражданский кодекс Российской Федерации и закон «О некоммерческих организациях» формально не относят государственные корпорации к категории некоммерческих организаций. Каждая государственная корпорация попадает в категорию некоммерческих организаций на основании федерального закона согласно требованию, изложенному в статье 50 Гражданского кодекса Российской Федерации: «Юридические лица, являющиеся некоммерческими организациями, могут создаваться в форме потребительских кооперативов, общественных или религиозных организаций (объединений), учреждений, благотворительных и иных фондов, а также в других формах, предусмотренных законом». Таким законом для каждой государственной корпорации является федеральный закон о ее создании. Государственной корпорацией признается не имеющая членства некоммерческая организация, учрежденная Российской Федерацией на основе имущественного взноса и созданная для осуществления социальных, управленческих или иных, общественно полезных функций.

Федеральный закон устанавливает правовое положение, принципы организации, цели создания и деятельности, порядок управления деятельностью, порядок реорганизации и ликвидации Российской корпорации нанотехнологий (далее по тексту — **Корпорация**).

**Корпорация** действует в целях содействия реализации государственной политики в области нанотехнологий, развития инновационной инфраструктуры в сфере нанотехнологий, реализации проектов создания перспективных нанотехнологий и наноиндустрии.<sup>7</sup> **Корпорация** вправе осуществлять предпринимательскую деятельность лишь постольку, поскольку это служит достижению целей, установленных частью 1 настоящей статьи, и соответствует этим целям. Прибыль Корпорации, полученная по результатам ее деятельности, подлежит направлению исключительно на достижение ее целей. Для достижения целей своей деятельности **Корпорация** реализует следующие основные функции в области нанотехнологий: рассматривает проекты в целях последующего предоставления финансовой поддержки за счет средств Корпорации; осуществляет организационную и финансовую поддержку научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок; осуществляет финансирование проектов; осуществляет финансирование проектов по подготовке специалистов; осуществляет мониторинг реализации проектов, финансируемых за счет средств **Корпорации**. Деятельность **Корпорации** регулируется федеральным законодательством.

Законом установлено, что на **Корпорацию** не распространяются положения пунктов 3, 5, 7, 10 и 14 статьи 32 Федерального закона от 12 января 1996 года № 7-ФЗ «О некоммерческих организациях», регламентирующие порядок осуществления контроля за деятельностью некоммерческих организаций.

В пункте 3 статьи 32 установлена обязанность представлять отчет о деятельности, о персональном составе руководящих органов; документы о расходовании денежных средств и об использовании иного имущества, в том числе полученных от международных и иностранных организаций, иностранных граждан и лиц без гражданства. В пункте 5 статьи 32 закреплено право уполномоченного органа на осуществление контроля за соответствием деятельности целям, предусмотренным ее учредительными документами. В пункте 7 статьи 32 установлены обязанности информировать уполномоченный орган об изменении сведений, содержащихся в перечне сведений и документов о юридическом лице. Как предусмотрено в п. 10 статьи 32, неоднократное непредставление в установленный срок сведений, предусмотренных этой статьей, является основанием для обращения в суд с заявлением о ликвидации данной некоммерческой организации. В пункте 14 статьи 32 перечислены органы, которые полномочны устанавливать соответствие расходования денежных средств и использования иного имущества целям, предусмотренным их документами. Под федеральными органами государственного финансового контроля подразумевается в том числе Счетная палата Российской Федерации.<sup>8</sup>

На **Корпорацию** не распространяются положения Федерального закона от 26 октября 2002 года № 127-ФЗ «О несостоятельности (банкротстве)». Имущество **Корпорации** формируется за счет имущественного взноса Российской Федерации, доходов, получаемых от деятельности **Корпорации**, добровольных имущественных взносов и пожертвований, а также за счет других законных поступлений и является собственностью **Корпорации**. Федеральные органы государственной власти, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления не вправе вмешиваться в деятельность **Корпорации**, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами.

Годовой отчет **Корпорации** включает отчет о деятельности за прошедший отчетный период, годовую финансовую (бухгалтерскую) отчетность, аудиторское заключение по ведению бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности за отчетный период и отчет о результатах мониторинга. Годовой отчет направляется в Правительство Российской Федерации. Обобщенные данные годового отчета подлежат обязательному опубликованию, в том числе путем размещения на собственном сайте **Корпорации** в сети Интернет.

<sup>7</sup> Барчуков В. П. Статус государственной корпорации «Агентство по страхованию вкладов» век конкурсного управляющего (ликвидатора) банков и организации, осуществляющей страхование банковских вкладов // Банковское право, 2006, № 1.

<sup>8</sup> Борисов А. Н. Комментарий к Федеральному закону «О некоммерческих организациях» (постатейный) // ЗАО Юстицинформ, 2007.

Высшим органом управления **Корпорации** является наблюдательный совет. Правление **Корпорации** является коллегиальным исполнительным органом. Научно-технический совет **Корпорации** формируется из числа лиц, имеющих опыт и знания в сфере нанотехнологий. Обеспечение деятельности осуществляется за счет имущества **Корпорации**.

В управление Российской корпорации нанотехнологий, начиная с 2007 года в течение 4-5 ближайших лет, будут переданы бюджетные ассигнования в объеме 185 млрд рублей. На реализацию ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации» на 2008-2010 годы в федеральном бюджете предусмотрено 2,8 млрд рублей в 2008 году, 3,3 млрд рублей в 2009 году и 3,7 млрд рублей в 2010 году.

Денежные средства **Корпорации** направляются на финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в области нанотехнологий, осуществляемое на возмездной или безвозмездной основе; проектов по внедрению нано-

технологий или производству продукции в области наноиндустрии в форме участия в уставных капиталах юридических лиц, в паевых инвестиционных фондах, инвестирующих средства в проекты в области нанотехнологий, в некоммерческих организациях, создаваемых в целях развития нанотехнологий, или в форме предоставления денежных средств на условиях возмездности, возвратности и срочности; проектов по подготовке специалистов в области нанотехнологий, в том числе путем выделения денежных средств на безвозмездной и безвозвратной основе. Инвестирование временно свободных средств осуществляется на принципах возвратности, прибыльности и ликвидности приобретаемых **Корпорацией** финансовых инструментов. Направления, порядок и условия инвестирования временно свободных средств **Корпорации**, а также предельный размер инвестируемых временно свободных средств определяет Правительство Российской Федерации.

## НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ СОВЕТ КОРПОРАЦИИ:

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО СОВЕТА КОРПОРАЦИИ

- **ФУРСЕНКО АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**,  
министр образования и науки Российской Федерации

### ЧЛЕНЫ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО СОВЕТА:

- **ДМИТРИЕВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ**,  
председатель государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)»
- **КОВАЛЬЧУК МИХАИЛ ВАЛЕНТИНОВИЧ**,  
директор ФГУ «Российский научный центр «Курчатовский институт»
- **КОКОШИН АНДРЕЙ АФАНАСЬЕВИЧ**,  
председатель Комитета Государственной Думы четвертого созыва по делам СНГ и связям с соотечественниками
- **МЕЗЕНЦЕВ ДМИТРИЙ ФЕДОРОВИЧ**,  
заместитель Председателя Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации
- **МЕЛАМЕД ЛЕОНИД БОРИСОВИЧ**,  
генеральный директор государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий»
- **НАБИУЛЛИНА ЭЛЬВИРА САХИПЗАДОВНА**,  
министр экономического развития и торговли Российской Федерации
- **НАЗАРОВ ВЛАДИМИР ПАВЛОВИЧ**,  
заместитель секретаря Совета Безопасности Российской Федерации
- **ПОГОСЯН МИХАИЛ АСЛАНОВИЧ**,  
генеральный директор ОАО «Авиационная холдинговая компания «Сухой»
- **ПОПИК ВАСИЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ**,  
заместитель начальника Экспертного управления Президента Российской Федерации
- **ПРОХОРОВ МИХАИЛ ДМИТРИЕВИЧ**,  
президент ООО «Группа ОНЭКСИМ»
- **ФЕДОРОВ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**,  
председатель Комитета Государственной Думы четвертого созыва по экономической политике, предпринимательству и туризму
- **ХРИСТЕНКО ВИКТОР БОРИСОВИЧ**,  
министр промышленности и энергетики Российской Федерации
- **ЧУБАЙС АНАТОЛИЙ БОРИСОВИЧ**,  
председатель правления Российского открытого акционерного общества энергетики и электрификации «ЕЭС России»
- **ШУДЕГОВ ВИКТОР ЕВГРАФОВИЧ**,  
председатель Комитета Совета Федерации по науке, образованию, здравоохранению и экологии

# **О РОССИЙСКОЙ КОРПОРАЦИИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

Принят Государственной Думой  
Закон одобрен Советом Федерации

4 июля 2007 года  
06.07.2007 пост. 272-СФ

## **Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **Статья 1. Отношения, регулируемые настоящим Федеральным законом**

Настоящий Федеральный закон устанавливает правовое положение, принципы организации, цели создания и деятельности, порядок управления деятельностью, порядок реорганизации и ликвидации Российской корпорации нанотехнологий (далее — Корпорация).

### **Статья 2. Правовое положение Корпорации**

1. Корпорация является государственной корпорацией, созданной Российской Федерацией.

2. Корпорация имеет печать с изображением Государственного герба Российской Федерации и со своим наименованием.

3. Местом нахождения Корпорации является город Москва.

4. Полное наименование Корпорации на русском языке — государственная корпорация «Российская корпорация нанотехнологий». Сокращенное наименование Корпорации на русском языке — ГК «Роснано». Полное наименование Корпорации на английском языке — «Russian Corporation of Nanotechnologies». Сокращенное наименование Корпорации на английском языке — «RCNT».

5. Корпорация имеет банковский счет в Центральном банке Российской Федерации, а также вправе открывать иные банковские счета на территории Российской Федерации и за ее пределами в установленном законодательством Российской Федерации порядке.

### **Статья 3. Цели деятельности и функции Корпорации**

1. Корпорация действует в целях содействия реализации государственной политики в сфере нанотехнологий, развития инновационной инфраструктуры в сфере нанотехнологий, реализации проектов создания перспективных нанотехнологий и наноиндустрии.

- 1) Корпорация вправе осуществлять предпринимательскую деятельность лишь постольку, поскольку это служит достижению целей, установленных частью 1 настоящей статьи, и

соответствует этим целям. Прибыль Корпорации, полученная по результатам ее деятельности, подлежит направлению исключительно на достижение целей, установленных частью 1 настоящей статьи.

2. Корпорация для достижения целей своей деятельности реализует следующие основные функции:

- 1) рассматривает проекты в сфере нанотехнологий в целях последующего предоставления финансовой поддержки за счет средств Корпорации;
- 2) осуществляет организационную и финансовую поддержку научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в сфере нанотехнологий;
- 3) осуществляет финансирование проектов в сфере нанотехнологий, предусматривающих внедрение нанотехнологий или производство продукции в сфере наноиндустрии;
- 4) осуществляет финансирование проектов по подготовке специалистов в сфере нанотехнологий;
- 5) осуществляет мониторинг реализации проектов в сфере нанотехнологий, финансируемых за счет средств Корпорации;
- 6) выполняет другие функции в соответствии с федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

### **Статья 4. Правовое регулирование деятельности Корпорации**

1. Деятельность Корпорации регулируется настоящим Федеральным законом и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

2. На Корпорацию не распространяются положения пунктов 3, 5, 7, 10 и 14 статьи 32 Федерального закона от 12 января 1996 года № 7-ФЗ «О некоммерческих организациях», регламентирующие порядок осуществления контроля за деятельностью некоммерческих организаций.

3. Функции, полномочия и порядок деятельности наблюдательного совета Корпорации определяются настоящим Федеральным законом.

4. Функции, полномочия и порядок деятельности иных органов Корпорации определяются настоящим Федеральным законом и утверждаемыми на его осно-

ве наблюдательным советом Корпорации положениями об органах Корпорации.

5. На Корпорацию не распространяются положения Федерального закона от 26 октября 2002 года № 127-ФЗ «О несостоятельности (банкротстве)».

## Статья 5. Имущество Корпорации

1. Имущество Корпорации формируется за счет имущественного вноса Российской Федерации, доходов, получаемых от деятельности Корпорации, добровольных имущественных взносов и пожертвований, а также за счет других законных поступлений и является собственностью Корпорации.

2. Российская Федерация не отвечает по обязательствам Корпорации, а Корпорация не отвечает по обязательствам Российской Федерации.

3. Корпорация использует свое имущество исключительно для достижения целей, ради которых она создана.

4. Корпорация для достижения целей, ради которых она создана, формирует в составе своего имущества резервный фонд и иные целевые фонды в порядке и размерах, которые определены наблюдательным советом Корпорации.

5. Для достижения целей, предусмотренных настоящим Федеральным законом, Корпорация вправе за счет своего имущества создавать другие некоммерческие организации и вступать в ассоциации и союзы на условиях, определенных наблюдательным советом Корпорации.

## Статья 6. Взаимоотношения Президента Российской Федерации, органов государственной власти и органов местного самоуправления с Корпорацией

1. Федеральные органы государственной власти, органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления не вправе вмешиваться в деятельность Корпорации, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами.

2. Президент Российской Федерации назначает на должность и освобождает от должности генерального директора Корпорации.

3. Правительство Российской Федерации:

- 1) назначает на должность и освобождает от должности членов наблюдательного совета Корпорации, в том числе председателя наблюдательного совета Корпорации, за исключением генерального директора Корпорации, входящего в состав наблюдательного совета Корпорации по должности;
- 2) определяет размер вознаграждения генерального директора Корпорации;
- 3) определяет направления, порядок и условия инвестирования временно свободных средств Корпорации, а также предельный размер ин-

вестируемых временно свободных средств Корпорации.

4. Контроль за деятельностью Корпорации осуществляется на основе ежегодного представления Корпорацией в Правительство Российской Федерации годового отчета Корпорации, аудиторского заключения по ведению бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности, а также заключения ревизионной комиссии по результатам проверки финансовой (бухгалтерской) отчетности и иных документов Корпорации, предусмотренных настоящим Федеральным законом.

## Глава 2. ОТЧЕТНОСТЬ И АУДИТ КОРПОРАЦИИ

### Статья 7. Отчетность Корпорации

1. Отчетный период Корпорации устанавливается с 1 января по 31 декабря включительно.

2. Годовой отчет Корпорации подготавливается правлением Корпорации ежегодно не позднее 15 февраля года, следующего за отчетным периодом, и направляется в наблюдательный совет Корпорации, который должен утвердить его до 1 апреля года, следующего за отчетным периодом.

3. Годовой отчет Корпорации включает отчет о деятельности Корпорации за прошедший отчетный период, годовую финансовую (бухгалтерскую) отчетность Корпорации, аудиторское заключение по ведению бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности Корпорации за отчетный период и отчет о результатах мониторинга, подготовленный в соответствии со статьей 21 настоящего Федерального закона.

4. Годовой отчет Корпорации направляется в Правительство Российской Федерации до 1 мая года, следующего за отчетным периодом.

5. Обобщенные данные годового отчета Корпорации, а также отчет о результатах мониторинга, подготовленный в соответствии со статьей 21 настоящего Федерального закона, направляются Президенту Российской Федерации до 1 мая года, следующего за отчетным периодом.

6. Обобщенные данные годового отчета Корпорации подлежат обязательному опубликованию, в том числе путем размещения на собственном сайте Корпорации в сети Интернет, до 1 июня года, следующего за отчетным периодом.

7. В целях настоящего Федерального закона годовой финансовой (бухгалтерской) отчетностью Корпорации признаются годовой бухгалтерский баланс, отчет о прибылях и убытках, отчет о движении средств Корпорации, отчет о результатах инвестирования временно свободных средств Корпорации, отчет об исполнении финансового плана доходов и расходов (бюджета) Корпорации, отчет о формировании и об использовании резервов и фондов Корпорации.

8. Достоверность годовой финансовой (бухгалтерской) отчетности Корпорации подтверждается аудиторским заключением.



## Статья 8. Аудит Корпорации

1. Для проверки ведения бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности Корпорации наблюдательный совет Корпорации определяет на конкурсной основе аудиторскую организацию, а также размер ее вознаграждения.

2. Аудиторская организация проводит обязательный аудит ведения бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности Корпорации до утверждения годового отчета Корпорации наблюдательным советом Корпорации. Аудиторское заключение подлежит обязательному опубликованию вместе с годовой финансовой (бухгалтерской) отчетностью Корпорации.

3. Внутренний финансовый контроль Корпорации осуществляется ревизионной комиссией Корпорации.

4. Наблюдательный совет Корпорации вправе принимать решение о проведении внеочередного аудита ведения бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности Корпорации на условиях, установленных частью 1 настоящей статьи.

## Глава 3. ОРГАНЫ КОРПОРАЦИИ

### Статья 9. Органы Корпорации

1. Органами управления Корпорации являются наблюдательный совет Корпорации, правление Корпорации и генеральный директор Корпорации.

2. Органом внутреннего финансового контроля является ревизионная комиссия Корпорации.

3. В Корпорации формируется консультативный орган — научно-технический совет Корпорации.

### Статья 10. Наблюдательный совет Корпорации

1. Высшим органом управления Корпорации является наблюдательный совет Корпорации. В наблюдательный совет Корпорации входят 14 членов и генеральный директор Корпорации, являющийся членом наблюдательного совета Корпорации по должности. Члены наблюдательного совета Корпорации назначаются Правительством Российской Федерации в следующем порядке:

- 1) пять членов — по представлению Президента Российской Федерации;
- 2) два члена — по представлению Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации;
- 3) два члена — по представлению Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации;
- 4) пять членов — по представлению Правительства Российской Федерации.

2. Председатель наблюдательного совета Корпорации и иные члены наблюдательного совета Корпорации, за исключением генерального директора Корпорации, назначаются Правительством Российской

Федерации не более чем на четыре года. Генеральный директор Корпорации не может являться председателем наблюдательного совета Корпорации.

3. Члены наблюдательного совета Корпорации, за исключением генерального директора Корпорации, работают в Корпорации не на постоянной основе и вправе совмещать свое членство в наблюдательном совете Корпорации с замещением государственной должности.

4. Полномочия председателя наблюдательного совета Корпорации и (или) иных членов наблюдательного совета Корпорации, за исключением генерального директора Корпорации, могут быть прекращены Правительством Российской Федерации досрочно на основании представлений, соответственно, Президента Российской Федерации, Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации в отношении представляемых ими кандидатур либо по собственной инициативе в отношении кандидатур, представляемых Правительством Российской Федерации. В случае досрочного прекращения полномочий членов наблюдательного совета Корпорации назначаются новые члены наблюдательного совета Корпорации в порядке, установленном настоящей статьей.

### Статья 11. Полномочия наблюдательного совета Корпорации

1. При осуществлении возложенных на Корпорацию функций наблюдательный совет Корпорации:

- 1) определяет направления деятельности Корпорации;
- 2) утверждает организационную структуру Корпорации;
- 3) утверждает положение о правлении Корпорации;
- 4) утверждает положение о научно-техническом совете Корпорации;
- 5) утверждает положение о ревизионной комиссии Корпорации;
- 6) утверждает положения о филиалах Корпорации и представительствах Корпорации;
- 7) рассматривает и утверждает годовой отчет Корпорации;
- 8) утверждает финансовый план доходов и расходов (бюджет) Корпорации, а также направления использования прибыли Корпорации;
- 9) принимает решение о создании филиалов Корпорации, об открытии представительств Корпорации, а также об участии Корпорации в уставных капиталах хозяйственных обществ и в других организациях и определяет условия такого участия;
- 10) утверждает аудиторскую организацию, выбранную на конкурсной основе, для проведения ежегодного обязательного аудита ведения бухгалтерского учета и финансовой (бухгалтерской) отчетности Корпорации;

- 11) заслушивает отчеты генерального директора Корпорации по вопросам деятельности Корпорации;
- 12) определяет количественные ограничения на привлечение Корпорацией заемных средств и в их пределах принимает решения об осуществлении заимствований, а также о форме, размерах и сроках таких заимствований;
- 13) определяет порядок и условия финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в сфере нанотехнологий, проектов в сфере нанотехнологий, предусматривающих внедрение нанотехнологий или производство продукции в сфере nanoиндустрии, проектов по подготовке специалистов в сфере нанотехнологий;
- 14) принимает решения о заключении сделки или нескольких взаимосвязанных сделок, связанных с приобретением, отчуждением либо возможностью отчуждения Корпорацией имущества, балансовая стоимость которого составляет 1 процент и более балансовой стоимости активов Корпорации на последнюю отчетную дату, предшествующую дате принятия решения о заключении таких сделок;
- 15) принимает решения о назначении, о прекращении полномочий членов правления Корпорации;
- 16) принимает решения о назначении, о прекращении полномочий членов научно-технического совета Корпорации;
- 17) принимает решения о назначении, о прекращении полномочий членов ревизионной комиссии Корпорации;
- 18) определяет размер вознаграждения членам правления Корпорации и членам научно-технического совета Корпорации;
- 19) заключает трудовой договор с генеральным директором Корпорации;
- 20) принимает решения о создании резервного фонда Корпорации и иных целевых фондов Корпорации, определяет порядок их формирования и использования;
- 21) осуществляет иные полномочия, предусмотренные настоящим Федеральным законом.

2. Передача полномочий наблюдательного совета Корпорации, предусмотренных настоящим Федеральным законом, иным органам Корпорации не допускается.

## Статья 12. Заседания наблюдательного совета Корпорации

1. Заседания наблюдательного совета Корпорации созываются председателем наблюдательного совета Корпорации или членом наблюдательного совета Корпорации, уполномоченным председателем наблюдательного совета Корпорации по мере необходимости, но не реже одного раза в квартал.

2. Наблюдательный совет Корпорации правомочен принимать решения, если на заседании наблюдательного совета Корпорации присутствуют не менее половины его членов. Решения принимаются простым большинством голосов от общего числа голосов членов наблюдательного совета. При равенстве числа голосов голос председательствующего на заседании наблюдательного совета Корпорации является решающим.

3. Заседание наблюдательного совета Корпорации проводится председателем наблюдательного совета Корпорации, а в его отсутствие — членом наблюдательного совета Корпорации, уполномоченным председателем наблюдательного совета Корпорации.

4. Протокол заседания наблюдательного совета Корпорации подписывается председательствующим на заседании наблюдательного совета Корпорации, который несет ответственность за правильность составления указанного протокола. Мнение членов наблюдательного совета Корпорации, оставшихся в меньшинстве при голосовании, заносится по их требованию в этот протокол.

5. Внеочередное заседание наблюдательного совета Корпорации проводится по решению председателя наблюдательного совета Корпорации или по требованию ревизионной комиссии Корпорации либо аудиторской организации.

## Статья 13. Правление Корпорации

1. Правление Корпорации является коллегиальным исполнительным органом Корпорации. В состав правления Корпорации входят восемь членов и генеральный директор Корпорации, являющийся членом правления Корпорации по должности. Работой правления Корпорации руководит генеральный директор Корпорации.

2. Решения о назначении на должность, о прекращении полномочий членов правления Корпорации принимаются наблюдательным советом Корпорации по представлению генерального директора Корпорации.

3. Члены правления Корпорации работают в Корпорации на постоянной основе.

4. Полномочия членов правления Корпорации могут быть прекращены наблюдательным советом Корпорации досрочно по представлению генерального директора Корпорации. В этом случае назначаются новые члены правления Корпорации в порядке, установленном настоящим Федеральным законом.

5. Правление Корпорации действует на основании настоящего Федерального закона и положения о правлении Корпорации, которым устанавливаются сроки, порядок созыва и проведения его заседаний, а также порядок принятия решений.

6. На заседании правления Корпорации ведется протокол, который представляется членам наблюдательного совета Корпорации, членам ревизионной комиссии Корпорации и аудиторской организации по их требованию.

7. Проведение заседаний правления Корпорации организует генеральный директор Корпорации или лицо, им уполномоченное. Протоколы заседания правления Корпорации подписываются председательствующим на соответствующем заседании.

## Статья 14. Полномочия правления Корпорации

При осуществлении возложенных на Корпорацию функций правление Корпорации:

- 1) утверждает решения о финансировании проектов в сфере нанотехнологий при наличии положительных рекомендаций научно-технического совета Корпорации;
- 2) подготавливает и вносит на утверждение наблюдательного совета Корпорации финансовый план доходов и расходов (бюджет) Корпорации;
- 3) подготавливает годовой отчет Корпорации и представляет его на утверждение наблюдательного совета Корпорации;
- 4) представляет в наблюдательный совет Корпорации предложения о направлениях использования прибыли Корпорации;
- 5) утверждает штатное расписание Корпорации, определяет условия приема на работу, увольнения, права и обязанности работников Корпорации, размер и формы оплаты их труда в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- 6) осуществляет иные полномочия, предусмотренные настоящим Федеральным законом.

## Статья 15. Генеральный директор Корпорации

1. Генеральный директор Корпорации является единоличным исполнительным органом Корпорации и осуществляет руководство ее текущей деятельностью.

2. Генеральный директор Корпорации назначается на должность не более чем на пять лет и освобождается от должности Президентом Российской Федерации.

3. Полномочия генерального директора Корпорации могут быть прекращены досрочно Президентом Российской Федерации.

## Статья 16. Полномочия генерального директора Корпорации

Генеральный директор Корпорации:

- 1) действует от имени Корпорации и представляет без доверенности ее интересы в отношениях с органами государственной власти, органами местного самоуправления, организациями иностранных государств, международными организациями, другими организациями;
- 2) возглавляет правление Корпорации и организует реализацию его решений;
- 3) издает приказы и распоряжения по вопросам деятельности Корпорации;

- 4) распределяет обязанности между своими заместителями;
- 5) представляет наблюдательному совету Корпорации предложения о назначении на должность и об освобождении от должности членов правления Корпорации;
- 6) принимает на работу и увольняет работников Корпорации;
- 7) принимает решения по иным вопросам осуществления функций Корпорации, за исключением вопросов, отнесенных к компетенции наблюдательного совета Корпорации и правления Корпорации.

## Статья 17. Научно-технический совет Корпорации

1. Научно-технический совет Корпорации формируется из числа лиц, имеющих опыт и знания в сфере нанотехнологий.

2. В научно-технический совет Корпорации входят 19 членов. Члены научно-технического совета Корпорации назначаются наблюдательным советом Корпорации на пять лет. Членами научно-технического совета Корпорации не могут являться работники Корпорации. Полномочия членов научно-технического совета Корпорации могут быть прекращены наблюдательным советом Корпорации досрочно. Порядок выдвижения кандидатур в научно-технический совет Корпорации и порядок досрочного прекращения деятельности членов научно-технического совета Корпорации, иные вопросы деятельности научно-технического совета Корпорации определяются положением о научно-техническом совете Корпорации.

3. Председатель научно-технического совета Корпорации избирается научно-техническим советом Корпорации из числа его членов не менее чем двумя третями голосов.

4. Члены научно-технического совета Корпорации получают вознаграждение за выполнение своих функций. Размер такого вознаграждения утверждается наблюдательным советом Корпорации.

5. Научно-технический совет Корпорации:

- 1) предварительно рассматривает проекты в сфере нанотехнологий и подготавливает рекомендации правлению Корпорации о целесообразности или нецелесообразности их финансирования за счет средств Корпорации;
- 2) рассматривает отчеты о ходе реализации указанных в пункте 1 настоящей части проектов и подготавливает рекомендации о целесообразности прекращения их финансирования за счет средств Корпорации в случае, если в ходе реализации проекта получены результаты, свидетельствующие о невозможности достижения его целей.
6. Научно-технический совет Корпорации правомочен принимать решения, если на заседании присутствует не менее половины его членов.

7. Научно-технический совет Корпорации осуществляет иные полномочия в соответствии с положением о научно-техническом совете Корпорации.

## **Статья 18. Ревизионная комиссия Корпорации**

1. Ревизионная комиссия Корпорации создается для контроля финансово-хозяйственной деятельности Корпорации в количестве пяти членов.

2. Решения о назначении на должность, о прекращении полномочий председателя и членов ревизионной комиссии Корпорации, в том числе о досрочном прекращении указанных полномочий, принимаются наблюдательным советом Корпорации. Срок полномочий членов ревизионной комиссии Корпорации — пять лет. Члены ревизионной комиссии Корпорации не могут одновременно занимать какие-либо должности в иных органах Корпорации.

3. Ревизионная комиссия Корпорации действует на основании настоящего Федерального закона и утверждаемого наблюдательным советом Корпорации положения о ревизионной комиссии Корпорации.

4. Ревизионная комиссия Корпорации проводит проверку финансово-хозяйственной деятельности Корпорации за календарный год. Ревизионная комиссия Корпорации вправе проводить внеочередные проверки финансово-хозяйственной деятельности Корпорации по собственной инициативе или по требованию не менее чем одной трети членов наблюдательного совета Корпорации.

5. По результатам проверки ревизионная комиссия составляет заключение и направляет его в наблюдательный совет Корпорации.

## **Глава 4. ФИНАНСИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОРПОРАЦИИ**

### **Статья 19. Обеспечение деятельности Корпорации**

Обеспечение деятельности Корпорации осуществляется за счет имущества Корпорации.

### **Статья 20. Направления расходования денежных средств Корпорации**

1. В соответствии с порядком и условиями, которые определяются наблюдательным советом Корпорации в соответствии с пунктом 13 части 1 статьи 11 настоящего Федерального закона, денежные средства Корпорации направляются на финансирование:

- 1) научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в сфере нанотехнологий, осуществляемое на возмездной или безвозмездной основе;
- 2) 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;

- 3) проектов по подготовке специалистов в сфере нанотехнологий, в том числе путем выделения денежных средств на безвозмездной и безвозвратной основе.

2. Инвестирование временно свободных средств Корпорации осуществляется на принципах возвратности, прибыльности и ликвидности приобретаемых Корпорацией финансовых инструментов. Направления, порядок и условия инвестирования временно свободных средств Корпорации, а также предельный размер инвестируемых временно свободных средств Корпорации определяются Правительством Российской Федерации.

## **Глава 5. МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ, ФИНАНСИРУЕМЫХ ЗА СЧЕТ СРЕДСТВ КОРПОРАЦИИ**

### **Статья 21. Мониторинг реализации проектов, финансируемых за счет средств Корпорации**

1. В случае, если правлением Корпорации утверждено решение о финансировании проекта в сфере нанотехнологий за счет средств Корпорации, Корпорация осуществляет мониторинг реализации такого проекта в целях контроля эффективности использования средств Корпорации.

2. Мониторинг реализации проектов в сфере нанотехнологий осуществляется на основе сбора и анализа отчетности о ходе их реализации, представляемой в Корпорацию юридическими лицами, которым предоставлена финансовая поддержка за счет средств Корпорации, и управляющими компаниями соответствующих паевых инвестиционных фондов.

3. Юридические лица, получившие финансовую поддержку за счет средств Корпорации, а также управляющие компании соответствующих паевых инвестиционных фондов ежегодно в сроки, установленные наблюдательным советом Корпорации, представляют в Корпорацию отчет о ходе реализации указанных проектов по форме, утвержденной правлением Корпорации, а также отчеты о поступлении и об использовании средств Корпорации на реализацию проектов в сфере нанотехнологий по формам, установленным правлением Корпорации.

4. Ответственность за достоверность и полноту представляемой в Корпорацию отчетности о ходе реализации проектов в сфере нанотехнологий возлагается на руководителей юридических лиц, которые получили финансовую поддержку за счет средств Корпорации, руководителей управляющих компаний соответствующих паевых инвестиционных фондов.

5. Отчеты о результатах мониторинга реализации проектов в сфере нанотехнологий представляются правлением Корпорации в наблюдательный совет Корпорации.

## **Статья 22. Порядок принятия решения о приостановлении и прекращении предоставления финансовой поддержки за счет средств Корпорации**

1. Предоставление финансовой поддержки за счет средств Корпорации приостанавливается на основании решения правления Корпорации в случае:

- 1) непредставления юридическим лицом, получившим финансовую поддержку за счет средств Корпорации, или управляющей компанией соответствующего паевого инвестиционного фонда отчета о ходе реализации проекта в сфере нанотехнологий в установленный срок или представления такого отчета с нарушениями требований к его форме;
- 2) выявления Корпорацией по результатам мониторинга реализации проектов в сфере нанотехнологий нецелевого использования средств Корпорации.

2. Решение правления Корпорации о приостановлении финансирования проектов в сфере нанотехнологий за счет средств Корпорации в течение пяти рабочих дней с даты принятия такого решения направляется соответствующим юридическому лицу или управляющей компании.

3. Финансирование проектов в сфере нанотехнологий за счет средств Корпорации, приостановленное Корпорацией по основаниям, которые предусмотрены частью 1 настоящей статьи, возобновляется в случае устранения выявленных нарушений при условии представления соответствующими юридическим ли-

цом или управляющей компанией отчета об устранении выявленных нарушений.

4. Правление Корпорации в течение 10 рабочих дней с даты получения отчета об устранении выявленных нарушений, указанного в части 3 настоящей статьи, обязано рассмотреть указанный отчет и принять решение о возобновлении финансирования проектов в сфере нанотехнологий за счет средств Корпорации или решение об отказе в возобновлении такого финансирования.

5. Решение об отказе в возобновлении финансирования проектов в сфере нанотехнологий за счет средств Корпорации принимается правлением Корпорации в случае неустранения нарушений, указанных в части 1 настоящей статьи.

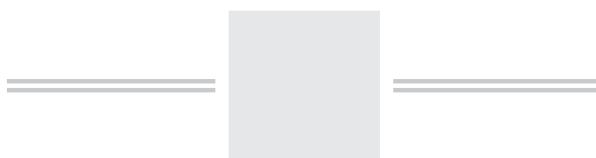
6. Финансирование проекта в сфере нанотехнологий за счет средств Корпорации прекращается на основании решения правления Корпорации при наличии рекомендаций научно-технического совета Корпорации о целесообразности прекращения финансирования проекта в сфере нанотехнологий.

## **Глава 6. РЕОРГАНИЗАЦИЯ И ЛИКВИДАЦИЯ КОРПОРАЦИИ**

### **Статья 23. Реорганизация и ликвидация Корпорации**

Корпорация может быть реорганизована или ликвидирована на основании федерального закона, определяющего порядок ее реорганизации или ликвидации. Федеральный закон о ликвидации Корпорации должен определять порядок использования имущества Корпорации после ее ликвидации.

*Президент  
Российской Федерации В. Путин*





# Возможные направления инновационного развития оборонно-промышленного комплекса<sup>1</sup>



**Е. В. Попова,**  
*к. э. н., член-корреспондент РАЕН,  
помощник руководителя  
Администрации Президента РФ*

В советский период и наука, и промышленность работали на военно-стратегический заказ. В рамках решения данной задачи обеспечивались крупные достижения в инновационной сфере. Однако такая система не была приспособлена к получению экономических, коммерческих результатов. Задачи капитализации новых знаний, новых технологических решений не ставились.

В ходе экономических и политических реформ 1990-х годов создалась следующая ситуация: с одной стороны, полуразрушенный ВПК, который все-таки сохранил большой инновационный потенциал, и с другой — практическое отсутствие центрального звена современной инновационной экономики — наукоемкой промышленности, ориентированной на гражданский спрос.

В настоящее время одной из наиболее важных задач в целях инновационного развития ОПК является создание эффективного механизма внедрения инновационных разработок ОПК в производство как с целью технологического обновления и создания новых видов вооружений в рамках ОПК, так и использование данных разработок для гражданских отраслей промышленности.

В настоящее время наша армия, по экспертным оценкам, отстает от армии США по уровню технологичности на 10-15 лет. У многих экспертов возникают сомнения в ее готовности и способности защитить Россию от современных угроз и от угроз, которые могут возникнуть в ближайшей перспективе.

Принципиально новые технологии, разработка на их основе новых видов вооружений становятся в наше время основой обеспечения национальной безопасности. Таким образом, совершенно очевидно, что для страны, не обладающей достаточным научно-техническим потенциалом экономики, существует непосредственная угроза утраты самостоятель-

ности в сфере военно-технического обеспечения национальной безопасности. Тем более, что уже существующие и быстро модернизирующиеся технологии позволяют вести «войну шестого поколения». Данные технологии, включающие информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), характеризуются распространением бесконтактного способа ведения военных действий с главной целью — разгромом инфраструктуры управления и экономического потенциала противника.

Военная техника шестого поколения нацелена на нанесение массированных точечных огневых ударов по адресным объектам экономики в пределах всей территории противника. Поэтому основным боевым средством войны шестого поколения является высокоточное оружие. Боевые системы высокоточного оружия (ВТО) — это органичное сочетание высокоэффективных средств разведки, управления силами, доставки оружия и поражения назначенных целей.

Системы ВТО существенным образом влияют на облик всех остальных средств ведения войны. Так, главным качеством современных военных самолетов становятся их бортовые системы. Они обеспечивают перевод управления боевыми системами в виртуальное пространство и их широкую интеграцию с разведывательными системами. На данной технической и информационно-технологической базе формируются разведывательно-ударные комплексы, работающие в реальном масштабе времени, чем обеспечивается групповое взаимодействие на поле боя. Развитие авиации для войн шестого поколения — это не столько совершенствование собственно летательных аппаратов, сколько перевод управления их применением в виртуальное пространство на основе пространственно распределенной вычислительной структуры.

Принципиальное значение ИКТ для развития военной техники выводит силы и средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ) в число приоритетов ведения войн шестого поколения. Однако влияние ИКТ на во-

<sup>1</sup> В статье использованы материалы Лиги оборонных предприятий и концерна «Наноиндустрия».

енную сферу имеет и более масштабные последствия. Залог военного успеха — в адекватном отражении реальной ситуации, складывающейся в физической сфере военных действий и воспроизводимой в форме виртуальной реальности. Основой военного превосходства становится информационное превосходство как более высокий уровень осознания и понимания ситуации на поле боя. На этой основе традиционный принцип массирования сил успеха сменяется новым принципом массирования результатов, направленным на лишение противника возможности проводить целеустремленные действия и доведение его до шокового состояния.

В плане разработок новых видов вооружений необходимо обратить особое внимание на возможности использования нанотехнологий в системах вооружения и в военной технике. Тем более, что в настоящее время руководство страны все больше внимания уделяет вопросу развития нанотехнологий. Подготовлен проект ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы», проект «Государственной инициативы в области развития нанотехнологий». Однако во всех основополагающих документах по данной тематике отсутствует важная часть — роль Министерства обороны в развитии нанотехнологий в военных целях. В этом плане, как представляется, необходимо брать пример с американской программы «Национальная нанотехнологическая инициатива», где Минобороны США выступает в качестве важнейшего участника программы. Агентство DARPA при Минобороны США является основным исполнителем программы в области нанотехнологий.

Развитие нанотехнологий — путь к управляемому синтезу атомно-молекулярных структур, который призван обеспечить получение объектов любого назначения не из обычных сырьевых ресурсов, а непосредственно из атомов и молекул с помощью машин-сборщиков, оборудованных системами искусственного интеллекта.

С точки зрения национальной безопасности, необходимо выделить следующее.

1. 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 размножаемых нанобиороботов, способных внедряться в генетическую структуру человека.

2. Испытания такого оружия могут быть проведены скрытно, вне рамок общественного сознания. Такое оружие 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.

3. Данные системы могут размещаться не обязательно на собственной территории. Они могут находиться в океанах, в космосе.

4. Их назначение, как и назначение самого оружия, нельзя определить обычными методами.

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

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

Машины, способные делать необходимые операции с атомами, уже создаются. Закладываются основы технологий атомной и молекулярной сборки для использования в электронике, связи, оптике, робототехнике. Число международных конференций по нанотехнологиям стремительно нарастает, что говорит о целенаправленном сборе информации о проблеме и о разработчиках.

В связи с вышеизложенным представляется целесообразным:

1. Под руководством Минобороны России и при участии заинтересованных министерств и ведомств сформировать ФЦП «Нанотехнологии и национальная безопасность России».

2. Предусмотреть в ФЦП «Нанотехнологии и национальная безопасность России» следующие основные направления:

- 1) развитие электроники и вычислительной техники, включая программу исследований создания компьютеров на принципиально новой основе с использованием устройств типа спиновых транзисторов и спиновых логических элементов;
- 2) программу молекулярной электроники с использованием устройств из молекул, нанотрубок, нанопроводов и т. д.;
- 3) проекты, связанные с материаловедением;
- 4) программу нанобиологии, включая создание новых типов микроскопов — магниторезонансных атомно-силовых микроскопов с кронштейнами с принципиально новым уровнем разрешения;
- 5) программу создания интегрированных биохимических микросистем;
- 6) программу биологического моделирования вычислительных процессов на основе сопряжения электронных и биологических систем и структур (прямой путь к созданию искусственного интеллекта, новому поколению робототехники).

Состояние работ по нанотехнологиям возможно периодически рассматривать на Совете Безопасности Российской Федерации.

Очевидно, что ОПК России не может вечно существовать за счет научных прорывов и технологических заделов, созданных в советское время. Сегодня набирает силу тенденция ускоренного морального устаревания создаваемой техники, приводящая к сокращению активного периода использования товаров и технологий, на основе которых они создаются. При этом каждое последующее поколение оказывается значительно сложнее и дороже предыдущего, требует наличия «опережающих» знаний и соответствующих специалистов.

Основной причиной тяжелого экономического положения ОПК России и его низкой инновационной активности является отсутствие спроса на его продукцию со стороны государства, так как именно государственный заказ определяет профиль и объемы производства в данном секторе экономики.

Сегодня многие из предприятий ОПК с трудом функционируют, а десятки из них находятся в критическом финансовом состоянии. Это происходит по причине устаревания выпускаемой продукции, выхода из оборота основных производственных фондов, разрушения кооперационных связей, банкротства и перепрофилирования выполняющих государственный оборонный заказ предприятий и организаций при смене собственников. В особо тяжелом положении находятся электронная промышленность, производство специальных материалов, спецхимия и промышленность боеприпасов.

Отсутствие спроса национальной экономики на инновации не позволяет запустить и поддерживать механизм перехода к инновационной стратегии развития по пути от спроса и потребностей производства к исследованиям и разработкам. В условиях, когда предпринимательский сектор страны ориентирован на закупку импортного оборудования, инновационные инициативы выдвигаются преимущественно их разработчиками. Их исследования и технические решения оказываются сегодня в большей степени востребованными за рубежом.

В данных условиях представляется чрезвычайно важным использовать самые современные схемы менеджмента в военной сфере, стимулирующие внедрение разработок в производство. В этом плане весьма интересен и полезен опыт работы американского агентства DARPA (Агентство перспективных исследований), созданного при Минобороны США.

Аналогичное агентство (или подразделение) в рамках Минобороны России могло бы взять на себя важнейшие функции по коммерциализации военных технологий и технологий двойного назначения.

Схема работы DARPA по коммерциализации под-ходит и для технологий гражданского назначения.

Когда частные корпорации еще не инвестируют в технологии, важные для Министерства обороны США, DARPA занимает лидерские позиции в разработке технологической базы (Technology base). Инвестиции агентства в этот момент направлены

на удовлетворение потребностей национальной безопасности и не преследуют цели создания заделов для промышленной базы частного сектора. Как только развитие технологии сдвигается от Министерства обороны к частному сектору, DARPA должна определить стратегию выхода (exit strategy) для осуществления перехода с позиции технологического лидера на место нишевого игрока (niche player).

Примером такого перехода от лидерства к занятию своей ниши на рынке может служить технология интегральных схем. В начале 1970-х годов Министерство обороны было главным потребителем интегральных схем. Спрос со стороны вооруженных сил достигал 17% рынка полупроводников. К середине 1990-х годов частный спрос на полупроводники значительно вырос, в результате в 1990-е годы Министерство обороны занимало около 1% этого рынка, его влияние на разработку технологий резко упало, а DARPA в этот период осуществило сдвиг от роли лидера на роль нишевого игрока. В настоящее время Управление электронных технологий (Electronic Technology Office) в DARPA расформировано.

DARPA является основным исследовательским центром Министерства обороны США.

DARPA играет уникальную роль в данном министерстве, докладывает непосредственно министру обороны и работает скоординировано, но полностью независимо от структур военных исследований и разработок.

Проекты DARPA направлены на радикальное новаторство, способное снять ограничения в представлении людей о создаваемых технологиях.

Под проект создаются временные проектные структуры (сообщества) выдающихся ученых. Продолжительность проектов — 3-5 лет, они имеют четкую направленность и цель. Собрание ученых с одинаковыми идеями может привести к нелинейному возрастанию потока идей. Необходимый обслуживающий персонал (технический, наемный, административный) нанимается тоже на временной основе под конкретные проекты. Идея заключается в обеспечении новаторского императива агентства, защите его деятельности от протекционизма.

Существенную роль DARPA играет в снижении рисков принципиально новых разработок, обеспечивая финансирование процесса от идеи до создания прототипа.

## Реструктуризация ОПК

Для приведения во взаимное соответствие государственных потребностей и реально используемого потенциала оборонных предприятий осуществляется реформирование ОПК. В соответствии с имеющимися планами дальнейшее развитие ОПК к 2010 году будут определять 45 объединений, которые в дальнейшем могут быть преобразованы в еще более крупные структуры. В их состав войдут как промышленные предпри-

ятия, так и ведущие исследовательские институты со статусом государственных научных центров.

Важнейшей отраслью, нашедшей свое отражение в нынешней реформе ОПК, является авиационная промышленность. Созданная указом Президента Российской Федерации Объединенная авиационная корпорация (ОАК) займется всем комплексом работ, связанных с военной и гражданской авиационной техникой, включая расширение модельного ряда, ее производство, ремонт и утилизацию.

Правительство одобрило также идею создания укрупненных интегрированных структур в ракетно-космической, радиоэлектронной, бронетанковой и ряде других отраслей ОПК. Принято решение о создании интегрированных структур в судостроительной промышленности.

Объединение компаний в большие интегрированные структуры позволит более эффективно распределить государственные финансовые потоки, осуществить при необходимости структурную перестройку, наладить выпуск востребованной продукции. Это создает благоприятные условия для взаимодействия с частным капиталом, так как их отношения становятся более прозрачными и эффективными для всех участвующих сторон.

Несмотря на то, что новый этап реформирования ОПК начался не так давно, определенные результаты в этой сфере уже появляются. Эффективность нового подхода доказал успешно функционирующий концерн «Алмаз-Антей», который объединил предприятия, специализирующиеся на разработке и производстве средств противоракетной обороны. К сегодняшнему дню обозначилась позитивная динамика ресурсного обеспечения оборонной промышленности. Появились компании, менеджмент которых продемонстрировал достаточную компетентность, наличие стратегического видения ситуации и национальную мотивацию, что послужило условием выделения им бюджетных средств. Государство начало также разворачиваться в сторону машиностроения и высокотехнологичных отраслей промышленности, наращивать усилия по ресурсному обеспечению ОПК.

По мере ускорения процесса диверсификации ведущих оборонно-промышленных компаний, имеющих стратегически мыслящий менеджмент, финансирование этих экономических субъектов стало осуществляться по линии гражданских ведомств. Примером является государственный контракт на проведение НИОКР по региональному самолету RRJ и формирование пула компаний по финансированию проекта и выводу продукции на мировые рынки.

Наиболее сложной проблемой является выработка алгоритма объединения предприятий ОПК с различной формой собственности в единый холдинг. Эксперты полагают, что в рамках государственно-частного партнерства при создании холдингов доля государства должна составлять 51% акций, а остальные 49% могут быть сформированы за счет пропор-

циональных долей заводов и предприятий ОПК. Создание эффективной нормативно-правовой базы реструктуризации ОПК и развития частно-государственного партнерства в сфере высоких технологий представляется актуальной задачей законодательных органов Российской Федерации.

## Система государственных заказов

Государство выступает в качестве крупнейшего заказчика и потребителя продукции целого ряда отраслей, превращая государственный спрос в мощный инструмент влияния на экономику, ее динамику и структуру. Государственный заказ выполняет ряд важнейших функций, в том числе и инновационную функцию, заключающуюся в формировании экономических предпосылок для создания принципиально новой или с новыми потребительскими свойствами продукции (товаров, работ, услуг).

В размещении заказов на предприятиях ОПК России и финансировании военных НИОКР наметился определенный прогресс. Это позволило, в частности, значительно продвинуть работы по созданию «изделия 117С» — двигателя промежуточного поколения — и изменить к лучшему ситуацию с проведением НИОКР по истребителю пятого поколения. Заказы государства способствуют до некоторой степени обеспечению загрузки крупных предприятий ОПК и дают толчок для создания новых военных систем. Главными позитивными тенденциями являются улучшение с ресурсным обеспечением ОПК, рост качества его менеджмента, заявки на реализацию крупных проектов, в том числе гражданского назначения и ориентированных на глобальные рынки.

Но для сохранения и развития высокотехнологичной промышленности России и повышения ее обороноспособности эти меры недостаточны. Ограничителями для развития ОПК являются низкое качество управления государственным оборонным заказом со стороны Минобороны и неспособность Минпромэнерго воплотить в жизнь собственные концепции реструктуризации и консолидации ОПК.

В России проблема формирования эффективной системы организации и управления государственными заказами имеет особое значение в связи с высоким удельным весом, который традиционно занимают в структуре расходов федерального бюджета поставки для государственных нужд. Нормативно-правовая база по государственным закупкам формировалась в сложный период и с большими трудностями, характеризуется нечеткостью и несогласованностью отдельных нормативно-правовых норм. Развитие институтов рынка государственных заказов на поставки товаров, выполнение работ и оказание услуг для государственных нужд предполагает реформирование сложившейся в переходный период системы государственных закупок, включая правила и механизмы размещения заказов, заключения контрактов, процедур контроля.

## Реализация перечня критических технологий

Анализ российских критических технологий показывает, что из 50 базовых технологий, на которых живет и развивается мир, СССР лидировал по 32 позициям. Сегодня Россия реально обладает лишь восемью из них. В настоящее время действует Перечень критических технологий Российской Федерации, поддержание и развитие которых имеет принципиальное значение для реализации жизненно важных национальных интересов страны (Указ Президента РФ от 30.03.2002 г. № Пр-577. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации и Перечень критических технологий Российской Федерации).

В него включено 34 технологии по 8 направлениям: информационно-телекоммуникационные системы; индустрия наносистем и материалы; живые системы; рациональное природопользование; энергетика и энергосбережение; транспортные системы; безопасность и противодействие терроризму; перспективные вооружения и военная техника.

Составление такого перечня — важный шаг вперед для определения перспектив технологического развития ОПК. Основами политики Российской Федерации в области развития науки и технологий прямо определено: переориентировать действующие целевые программы научных исследований и экспериментальных разработок на обеспечение приоритетных направлений развития науки, технологий и техники с учетом номенклатуры первоочередных важнейших инновационных проектов государственного значения. Однако данная правовая норма не находит должного практического воплощения. Минобрнауки России указывает на то, что «...наиболее существенной и принципиальной является проблема низкого уровня интеграции критических технологий Российской Федерации в систему принятия практических решений по научно-техническому развитию и технологической модернизации российской экономики» (Проект Комплексной программы научно-технического развития и технологической модернизации. Минобрнауки, М., 2007 г.).

С учетом данного обстоятельства необходимо законодательно обеспечить реализацию перечня критических технологий через систему государственного заказа, директивы представителей государства в советах директоров компаний, согласование с бюджетной классификацией и бюджетным процессом.

## Кадровая проблема

К числу наиболее острых проблем ОПК относится нехватка квалифицированных рабочих кадров. Для кардинального изменения положения дел в ОПК требуется комплекс специальных мероприятий со стороны государства.

Уже полтора десятка лет многие предприятия ОПК не ведут серийного производства вооружений и военной техники. Численность работников на крупнейших заводах сократилась в два-три и более раз. Среди ушедших с предприятий — квалифицированные рабочие и инженеры, без которых немислимо эффективное производство качественной продукции. Отыскать подготовленные кадры на рынке труда становится все более сложно, а обучение молодежи обходится недешево и требует времени. Уходящим кадрам некому передавать опыт, что влечет утрату технологий. За период реформ утрачено, по данным Лиги содействия оборонным предприятиям, свыше 500 технологий. Это влечет продолжающуюся «утечку мозгов» за границу, истощение источников инновационного развития страны и ослабление позиций сил модернизации, выступающих естественной социальной опорой инновационной политики.

В этой связи представляется целесообразным проведение специального научного исследования, направленного на выяснение причин и обстоятельств недооценки человеческого капитала в России и выработку специального комплекса мер.

## Актуальность законодательного обеспечения распределения прав на результаты интеллектуальной деятельности для инновационного развития ОПК

На многих предприятиях ОПК России не оформлены наработанные ими передовые технологии в виде патентов и ноу-хау. Предпринятые государством попытки монополизации прав на результаты бюджетных НИОКР и учет интересов производителей ценных знаний не только не улучшили ситуацию в этой сфере, но и привели к неконтролируемой утечке конструктивных научных идей и технических решений ОПК в зарубежные компании.

Уже упоминалось, что разработка законодательства по вопросу распоряжения правами на результаты научно-технической деятельности имеет большое значение для развития всех наукоемких отраслей, в том числе для ОПК. Законодательные акты, относящиеся к решению данного вопроса, можно разделить на две группы.

Первая группа законопроектов связана с исполнением четвертой части Гражданского кодекса, в том числе главы 77 «Право использования результатов интеллектуальной деятельности в составе единой технологии». Глава содержит много отсылочных норм, которые предполагают принятие соответствующих законодательных актов, включая и Федеральный закон «О передаче технологий».

Вторая группа законопроектов связана с реализацией постановления Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2005 г. № 685 «О порядке распоряжения правами на результаты научно-технической деятельности».



Предполагается, что в Федеральный закон «О передаче технологий» будет включен порядок распределения доходов, полученных от реализации технологий, принадлежащих Российской Федерации или субъектам Российской Федерации; законопроект определяет существенные условия договоров, по которым передаются права на технологии, принадлежащие Российской Федерации или субъектам Российской Федерации; определяет план реализации технологии; определяет условия конкурсов по передаче прав на технологии и др.

При этом России целесообразно опираться на уже отработанный в данном направлении опыт европейского законодательства.

Основной смысл европейского законодательства заключается в том, чтобы гарантировать «fair share» (честную долю) роялти исследователю (в том случае, если права на продажу или лицензирование ИС принадлежат организации) или организации (в том случае, если права на продажу или лицензирование ИС принадлежат ученому).

Европейский опыт дает основания для следующих выводов. Жесткий законодательный вариант закрепления схемы участия в прибыли от использования ИС определяет понятные правила игры и защищает права участников, но не обладает гибкостью. Регулирование отношений на основе политики государственной организации — гибкий инструмент, но нуждается в развитии практики установления такой политики. Свободный договорный процесс распределения прибыли эффективен при хорошо развитых отношениях между участниками процесса коммерциализации технологий.

Использование европейского опыта для России возможно и целесообразно. Учитывая, что практика распределения прибыли от ИС (роялти) неразвита в России, целесообразно в проекте ФЗ «О передаче технологий» определить правила распределения роялти.

## Международный технологический обмен и специализация ОПК России

В настоящее время сфера высоких технологий становится все более сложной и дифференцированной с усиливающейся тенденцией специализации и международного разделения труда. Этот процесс затронул также сферу создания и развития вооружений. С учетом данного обстоятельства российское военное и оборонно-промышленное руководство должно определиться по трем направлениям производства вооружений и военной техники (ВВТ):

1. ВВТ и комплектующие изделия, разработкой и производством которых Россия не может и не должна ни с кем делиться.
2. ВВТ и комплектующие изделия, которые целесообразно приобретать у зарубежных производителей.

3. ВВТ, разработку и производство которых целесообразно осуществлять в кооперации с другими странами.

Реализация работы ОПК по первому направлению требует его институализации как сугубо национального производства. Это направление связано с обеспечением стратегических сил в сфере ракетно-ядерных и авиационно-космических вооружений.

Второе направление связано с такими образцами ВВТ или комплектующих изделий, разработка и производство которых своими силами либо технологически невозможна, либо экономически нецелесообразна. Это небольшие партии систем управления и связи тактического и оперативного звена, специальное оружие или оборудование, которые необходимы российской армии в мизерных количествах, а также эксклюзивные и одиночные экземпляры.

Реализация третьего направления требует налаживания взаимодействия российского ОПК со странами СНГ, входившими в кооперацию советского ОПК, со стратегическими партнерами, с которыми налажено военно-техническое сотрудничество, а также с технологическими лидерами в необходимых для развития ОПК России областях.

Законодательное обеспечение сферы международного военно-технического сотрудничества представляется важным направлением, требующим тщательного определения национальных интересов, их проецирования на военно-политическую и военно-экономическую ситуацию в мире, точных прогнозов технологического развития и четкого выделения сферы государственной тайны в ОПК России.

## Создание нового типа инфокоммуникационной инфраструктуры (грид-технологии)

В быстро меняющемся мире современных высоких технологий в настоящее время поднимается новая волна технического перевооружения. Наиболее перспективные технологии будущего (нанотехнологии, термоядерная энергетика, биотехнологии и медицина, космос, управление климатом, геология и т. п.) требуют все возрастающего объема компьютерных вычислений.

Суперкомпьютерный грид — это инфокоммуникационная инфраструктура создания и поддержки деятельности распределенных команд разработчиков.

Важность развития грид-технологий понимается правительством как США, так и стран Евросоюза.

Так, приоритетное значение грид-технологий в 2004 году получило политическое закрепление в стратегической GRID-программе Президента США (Strategic Grid Computing Initiative). Основной целью этой программы является создание единого национального пространства высокопроизводительных вычислений (National High Performance Computing

Environment), что определено как стратегический вклад государства в ускоренное развитие своего научно-технического, промышленного и оборонного потенциалов. Евросоюзом в 2005 году принята специальная программа: «Грид-технологии — ключ к инициативе «Европейское информационное общество», которой отводится важнейшая роль в превращении Евросоюза в «самую конкурентоспособную в мире экономику, основывающуюся на знаниях». Запрошенный на эти цели объем финансирования — 13 млрд евро.

В мире такими лидерами рынка ИКТ, как Google, Sun, Oracle, AMD, обсуждается проект построения глобальной вычислительной сети — суперкомпьютерного грида, который бы позволил организовать аренду существующих компьютерных мощностей удаленным заказчикам, а также объединять для решения особо сложных задач много компьютеров в единый виртуальный вычислительный центр. Альтернативный проект «виртуального персонального компьютера» прорабатывается Microsoft. Первые попытки конкретных реализаций уже предпринимаются и не без успеха — например, действует глобальный проект одного из американских университетов SETI, в который вовлечено свыше миллиона персональных компьютеров по всему миру.

Для России создание суперкомпьютерного грида актуально, например для развития нанотехнологий. Так, разработки в области нанотехнологий ведутся одновременно в научных центрах Москвы, Московской и Калужской областей, Новосибирска и в других городах. Мининформсвязи в сотрудничестве с Минобрнауки и Курчатовским институтом планирует создать национальный суперкомпьютерный грид, который пройдет через всю территорию страны и объединит большинство наукоградов в единую сеть инноваций. Это позволит оптимизировать инвестиции в вычислительные мощности и резко повысить полезное использование разрабатываемых технологий.

География расположения технопарков в значительной степени совпадает с маршрутом прохождения грид-сети. В рамках программы предполагается реализовать строительство 8 технопарков в 7 регионах РФ: Республике Татарстан, Тюменской, Калужской, Московской, Нижегородской, Новосибирской областях и в Санкт-Петербурге. Ряд объектов создается в сотрудничестве с Мининформсвязи вне рамок госпрограммы. Первые шаги на пути создания грида будут сделаны уже в этом году в трех пилотных точках сети — Обнинске, Курчатовском институте и в Тюмени. (Л. Рейнман. Доклад по развитию технопарков в РФ в г. Новосибирске 2 июня 2007 г.). Строительство современной многоцелевой информационно-вычислительной инфраструктуры становится

важной национальной задачей, обеспечивающей благоприятные условия для создания национальной информационно-вычислительной платформы и достойного участия в формировании глобальных инфокоммуникационных систем на новых технологических принципах.

Освоение и внедрение грид-технологий в качестве инфокоммуникационной инфраструктуры инновационной деятельности — новая проблема, требующая тщательного изучения, выявления и поиска путей решения экономических, организационных, технологических и юридических проблем.

## **Информационно-коммуникационное обеспечение экспорта вооружений и военной техники (ВВТ)**

Несмотря на ежегодное увеличение экспорта и расширение географии поставок в рамках сформировавшейся структуры военно-технического сотрудничества, Россия сегодня практически достигла «потолка». Продвижение военной техники на мировой рынок требует не только **ее высоких характеристик и привлекательной стоимости, но и организации послепродажного обслуживания, приносящего современным компаниям-производителям более половины получаемых доходов.**

Для российского ОПК послепродажная поддержка экспортируемых ВВТ является одним из важнейших нерешенных вопросов. По утверждению генерального директора — генерального конструктора Российской самолетостроительной корпорации «МиГ» А. Федорова, наши предприятия несут большие убытки в этом сегменте рынка. Страна теряет рынки и огромные контракты, так как не может обеспечить нормальные конкурентоспособные предложения заказчикам и затем их строго реализовать. Время исполнения срочных заявок от эксплуатантов нашей техники исчисляется не часами и даже не днями, а месяцами. И не из-за организации работы производителей, а по бюрократическим причинам. Если Россия не обеспечит сервисной поддержки наших изделий на должном уровне, то существует опасность потери рынков.

Основной логистической поддержкой военно-технического сотрудничества являются информационно-аналитические системы поддержки жизненного цикла продукции от разработки до эксплуатационного обслуживания и утилизации. Создание таких систем требует большого объема работ по каталогизации и сертификации продукции (комплектующих изделий), согласования с международными системами каталогизации и решения многих других вопросов, требующих тщательного нормативно-правового регулирования.

## Россия в русле глобальной гонки за лидерство в нанотехнологиях<sup>1</sup>



**Н. В. Гапоненко,**  
член-корр. РАН,  
нач. отдела Центра  
исследований проблем  
развития науки при  
Президиуме РАН  
(ЦИПРАН РАН)

*Важнейшей технологической областью, которая существенно изменит практически все сектора экономики, позволит значительно улучшить качество жизни и качество окружающей среды, являются нанотехнологии. Кроме того, нанотехнологии рассматриваются как важная технологическая основа для обеспечения национальной оборонной безопасности. И, наконец, ожидается, что нанорынок в ближайшие 10-15 лет будет самым динамичным. Именно поэтому к нанотехнологиям приковано внимание правительств, корпораций, венчурных капиталистов технологически развитых и развивающихся стран.*

### Инвестиции в нанотехнологии: как Россия выглядит на фоне глобальных трендов и основных конкурентов

В последние годы борьба за лидерство в этой области усиливается, что, естественно, выражается в постоянном росте инвестиций. Общий объем инвестиций в нанотехнологии за период 2003-2006 гг. увеличился в 1,6 раза, при этом объем бюджетных ассигнований вырос в два раза, расходы корпоративного сектора на нанонауку увеличились в 2,3 раза, а общий объем венчурных инвестиций вырос в 3,3 раза (см. рис. 1). Следует отметить, что своего рода феноменом этой области является то, что расходы корпораций на наноисследования растут более быстрыми темпами, чем бюджетные инвестиции, хотя в 2006 году общий объем вложений корпоративного сектора в нанонауку все еще был на 19% меньше объема бюджетных инвестиций.

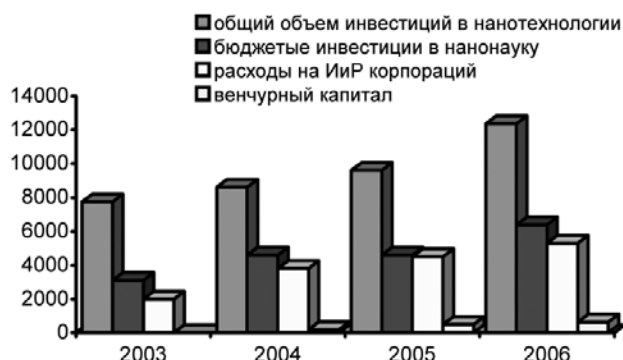


Рис. 1. Глобальные инвестиции в нанотехнологии, 2003-2006 гг. (млн долл. США)

Источник: Jill Jusko Nanotechnology Commercialization Efforts Continue, 2006 Nanotech Report — 4, Lux Research

По нашему мнению, уже сформировался некий паритет между основными регионами мира по отношению к бюджетным инвестициям, однако что касается корпоративных расходов на нанонауку, то США остаются безусловным лидером, страны Азиатско-Тихоокеанского региона отстают, но ненамного, а инвестиции корпораций стран — членов ЕС почти в два раза меньше расходов корпоративного сектора стран Азиатско-Тихоокеанского региона и более чем в два раза уступают США (см. рис. 2).

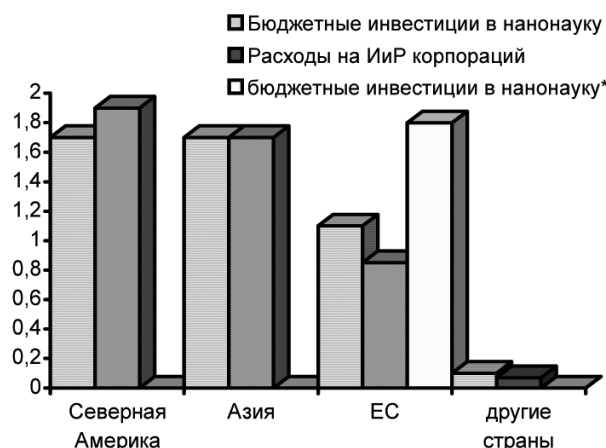


Рис. 2. Инвестиции государственного и корпоративного секторов в нанотехнологии по регионам мира в 2005 г. (млрд долл. США)

Источник: Nanotechnology: Where Does U.S. Stand, 2005; Thomas Heinze Emergence of Nano S&T in Germany, April 2006, memo

Бюджетные инвестиции в нанотехнологии за период 1997-2004 гг. в мировом масштабе увеличились в 7,4 раза, причем страны-лидеры (Япония и США) увеличили бюджетные ассигнования в 7,1, а так называемые «другие страны» — в 11,4 раза (см. рис. 3).

Следует отметить, что статистических данных относительно бюджетных инвестиций в нанотехно-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ, грант № 07-02-04036а.

логии по странам мира нет, имеются лишь отдельные оценки некоторых структур и аналитиков, причем эта информация, как правило, запаздывает на несколько лет и не систематизирована. Мы обобщили данные различных структур и там, где имеется информация, мы приводим более поздние оценки, а в случае ее отсутствия мы приводим данные за 2003 год.

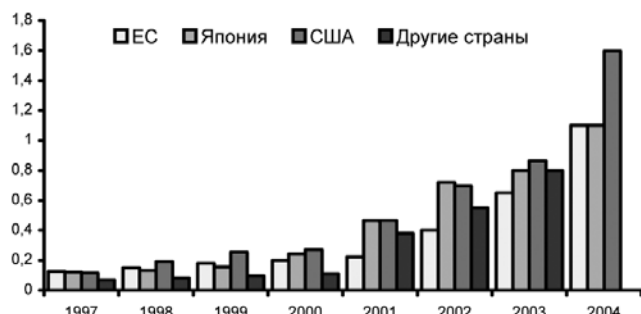


Рис. 3. Бюджетные инвестиции в нанотехнологии, страны-лидеры и другие регионы мира, 1997-2004 гг. (млн долл. США)

Источник: Нанотехнологии: Форсайт, под ред. Н. В. Гапоненко. М.: 2006, с. 125

Страновые различия в масштабах бюджетных ассигнований на нанотехнологии показаны на рис. 4-5. Как видно из рис. 4, США увеличили бюджетные инвестиции в нанотехнологии за период 2003-2007 гг. в 1,4 раза, причем в США нанотехнологии получают поддержку как из бюджета федерального правительства, так и от правительства штатов. В странах ЕС на-

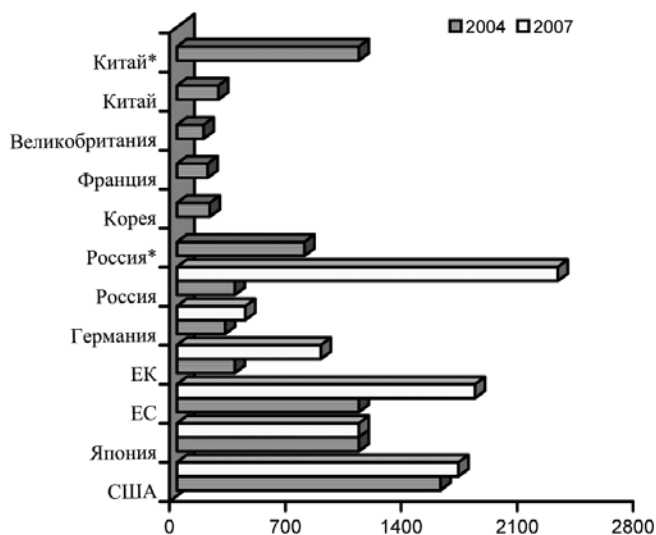


Рис. 4. Бюджетные инвестиции в нанотехнологии в странах-лидерах (млн долл. США; \$1=1 евро)

Источник: Nanotechnology: Where Does U.S. Stand, 2005; Thomas Heinze Emergence of Nano S&T in Germany, April 2006, memo Россия — оценка автора

ЕК — Европейская Комиссия;  
ЕС — страны — члены ЕС;  
Китай\* — расчеты по паритету покупательной способности;  
Россия — данные приведены за 2006 и 2007 гг.;  
Россия\* — расчеты по паритету покупательной способности



Рис. 5. Бюджетные инвестиции в нанотехнологии стран, не входящих в группу лидеров (млн долл. США; \$1=1 евро)

нотехнологии финансируются из бюджета Европейской Комиссии и из бюджетов стран — членов ЕС. В шестой Рамочной программе Европейская Комиссия ежегодно инвестировала 320 млн евро в нанотехнологии, а в седьмой Рамочной программе планирует вкладывать около 870 млн евро; если сравнивать с шестой Рамочной программой, то инвестиции увеличатся в 2,7 раза. Следует отметить, что бюджет седьмой Рамочной программы по нанотехнологиям составит 3500 млн евро, а по энергетике — 2400 млн евро, то есть почти в 1,5 раза меньше. Лидерами по бюджетным инвестициям в нанотехнологии среди стран — членов ЕС являются Германия, Великобритания и Франция.

Среди стран Азиатско-Тихоокеанского региона безусловным лидером в этой области является Япония, однако все более уверенно заявляют о себе Китай, Корея и Тайвань. Бюджетные инвестиции Китая в нанотехнологии оцениваются в объеме 250 млн долл. США, за период 2004-2005 гг. они увеличились почти в два раза, однако если проводить расчеты по паритету покупательной способности, то уже в 2005 году они превышали 1150 млн долл. США, то есть подтягивались до уровня стран-лидеров.

Как выглядит Россия на фоне общего бума инвестиций в нанотехнологии? Общие расходы бюджета на нанотехнологии в 2005-2006 гг. составили, по нашим оценкам, около 9 млрд руб., или 350 млн долл. США<sup>2</sup>. Если проводить расчеты по паритету покупательной способности, то Россия инвестировала из бюджета около 770 млн долл., то есть в два раза меньше, чем США, и в 1,5 раза меньше, чем Япония. Нанонаука финансировалась различными структурами: Министерством науки и образования, Министерством

<sup>2</sup> Анализ тенденций развития нанонауки и нанотехнологий. М.: 2005, 2005-РИ-31.0/005/023, руководитель Гапоненко Н. В.

промышленности и энергетики, Министерством обороны, РАН, РАМН, РФФИ, МНТЦ, Министерством здравоохранения, Российским фондом поддержки малых предприятий в научно-технической сфере, однако никакой скоординированности действий между этими структурами не было и пока что нет. Безусловно, при таком уровне финансирования и эффективности использования финансовых ресурсов конкурировать с лидерами сложно.

В своем Послании Федеральному Собранию в 2007 году Президент России В. В. Путин заявил о том, что Правительство Российской Федерации планирует выделить из бюджета 180 млрд руб. на развитие нанотехнологий; это в годовом исчислении около 2,3 млрд долл. США, т. е. приблизительно в 1,4 раза больше, чем бюджетные ассигнования США на нанотехнологии в 2007 г. Много ли это? Если учесть, что российские корпорации и венчурные капиталисты практически не инвестируют в нанотехнологии, то это не так уж много. Однако, если проводить сравнения по паритету покупательной способности, то бюджетные расходы на нанотехнологии России перекроют ежегодные инвестиции государственного и корпоративного сектора США приблизительно в 1,4 раза.

Таким образом, российское правительство приняло радикальные меры финансовой поддержки нанотехнологий, по словам В. В. Путина, масштабы финансирования нанотехнологий будут сопоставимы с общими объемами финансирования российской науки. Однако что Россия получит взамен? Здесь могут быть как минимум два сценария: российская наука может по-прежнему продолжать «кормить» науку и промышленность других стран мира либо Россия сможет изменить конкурентоспособность своих основных секторов экономики. Дело в том, что поскольку нанотехнологии являются революционными технологиями и повлияют на развитие практически всех секторов экономики, то таким шагом конкурентоспособность российской экономики может измениться радикально. По какому сценарию пойдет Россия зависит от того, каким образом будут использоваться эти ресурсы и какие меры и механизмы политики будут задействованы.

На рис. 6 представлены данные о государственных расходах на нанотехнологии на душу населения, рассчитанные по паритету покупательной способности. Это достаточно важный показатель, поскольку он позволяет оценить место нанотехнологий в системе государственных приоритетов и способность стран сделать рывок в тех или иных нанобластях. Как видно из этого рисунка, позиции США — лидера по бюджетным инвестициям в нанотехнологии — смещаются на четвертую ступеньку, а Японии — на вторую. Правительство США очень озабочено тем, что США уступают Тайваню в 1,7 раза и пропускают вперед Корею; они рассматривают это как «наступление» на конкурентные позиции США, и в этом есть своя правда. *Как выглядит Россия на фоне основных нанодержав мира?* По нашим оценкам, по этому по-

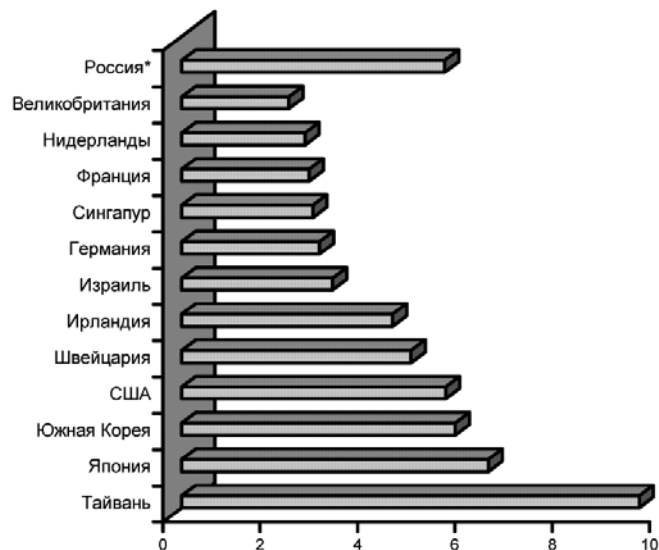


Рис. 6. Государственные расходы на нанотехнологии в расчете на душу населения, 2004 год (с учетом паритета покупательной способности, долл. США)

казателю Россия находилась на уровне США, а в том случае, если Правительство России реализует инвестиции, заявленные в Послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию, Россия займет позицию лидера и «обойдет» по этому показателю Тайвань в 3,8 раза.

На рис. 7 показана доля бюджетных ассигнований на нанотехнологии в общих расходах бюджета на ИиР по 15 странам мира<sup>3</sup>. Этот показатель характе-

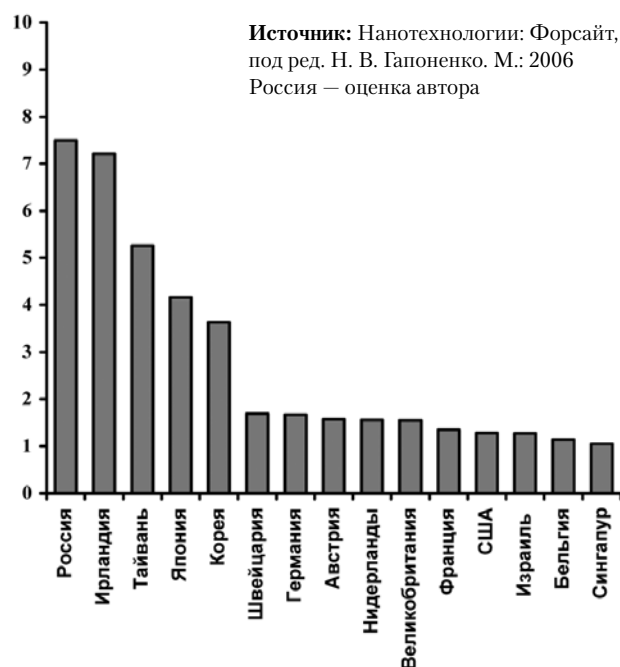


Рис. 7. Доля бюджетных ассигнований на нанотехнологии в общих расходах бюджета на ИиР (в %)

<sup>3</sup> Источник: *Elvio Mantovani Report to the International Conference Nanoroadmap, Rome, November, 2004*; Россия — оценка автора (данные за 2005–2006 гг.).



ризует приоритетность нанотехнологий среди других областей науки и технологий; лидерами являются Россия, Ирландия, Тайвань, Япония и Корея. Хотелось бы отметить, что, несмотря на то, что в 2004-2006 гг. Россия по бюджетным инвестициям уступала пальму первенства США, однако она находилась на уровне США по бюджетным инвестициям в нанотехнологии в расчете на душу населения, а по доле бюджетных ассигнований на «нано» в общих расходах бюджета на ИиР она обходила США. Это говорит о высоком рейтинге нанотехнологий в системе государственных приоритетов.

Как мы уже отмечали, *расходы корпоративного сектора на наноисследования растут*; за один лишь год они увеличились почти в 1,4 раза. Следует отметить, что рост расходов корпораций на нано науку имеет место при условиях, когда рынок находится на эмбриональной стадии развития, когда большая часть и фундаментальных, и прикладных исследований осуществляется государственным сектором науки. Своего рода феноменом нанообласти является то, что расходы корпораций на наноисследования растут на фоне стагнации или даже снижения корпоративных инвестиций в ИиР в других технологических областях; эта тенденция сформировалась за последние пять лет в основных регионах мира. Одновременно меняется и «вес» различных регионов мира в совокупных, глобальных расходах корпоративного сектора на нано науку (см. рис. 8); растет доля так называемых других стран: за период 2004-2005 гг. она выросла с 7,8 до 12%, одновременно несколько увеличивается доля стран Азиатско-Тихоокеанского ре-

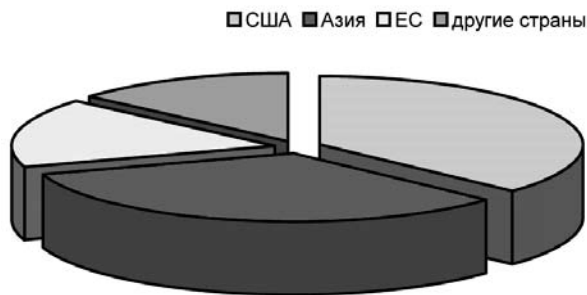


Рис. 8. Расходы корпораций на нано науку по регионам мира, 2005 г. (млрд долл. США)

гиона. Ряд крупных транснациональных компаний, таких как Mitsubishi (Япония), BASF (Германия), Motorola (США), наращивают инвестиции в нано науку. В части инвестиций частного сектора в нано науку можно выделить три уже сформировавшиеся глобальные тенденции: увеличение расходов на ИиР со стороны крупных транснациональных компаний; увеличение расходов на ИиР со стороны малых и средних предприятий; увеличение расходов частного сектора на фундаментальные наноисследования. В США расходы частного сектора на фундаментальные наноисследования составляют около 14% от их инвестиций в нано науку.

*Как выглядит Россия на фоне бума корпоративных инвестиций в нано науку?* В России, как и во всем мире, наноисследования сконцентрированы в государственном секторе науки, на частный сектор приходится всего лишь около 10% научных организаций. Российские корпорации не проявляли активности ни на поле финансирования нано науки, ни на поле коммерциализации наноисследований. В 2003 году Альфа-групп приняла решение о создании венчурного фонда, инвестирующего в нанотехнологии на посевной стадии, однако, не найдя конкурентных НИОКР, ушла от этой идеи. В 2007 году ситуация начала меняться. ОНЕКСИМ-групп выступила с инициативой о создании фонда для инвестирования в водородную энергетику и нанотехнологии. Этот шаг ОНЕКСИМ-групп, по нашему мнению, может повлиять на поведение и мотивации других частных компаний и изменить траекторию инвестиций корпораций в нанотехнологии.

В условиях, когда рынок находится на эмбриональной стадии, спрос на нанотовары и наноуслуги еще не сформировался, а основная часть фундаментальных и прикладных ИиР сосредоточена в государственном секторе науки, что толкает корпорации наращивать инвестиции в нанотехнологии? Наши исследования позволили выделить следующие основные факторы: рыночные ожидания, предвкушение вступления нанорынка в фазу быстрого развития и, соответственно, получения технологической ренты теми, кто оказался первым на рынке; обострение конкуренции на рынке микроэлектроники, где уже не возможно быть конкурентным без «нано»; обострение энергетических проблем (высокие цены на энергоресурсы); надежды, которые связываются с нанотехнологиями в деле решения ряда острых социальных проблем (лечение рака, диабета, адресная доставка лекарств, принципиально новые методы диагностики, которые позволяют выявлять заболевания на ранней стадии) подталкивают и государственные структуры, и корпорации инвестировать в наноисследования; и, наконец, недостаток инноваций «вне нано», которые обещали бы прибыль, сопоставимую с нанотехнологиями. В настоящее время, по данным Lux Reseach, нанопродукты, уже реализуемые на рынке, стоят на 10% дороже своих традиционных аналогов.

Во всем мире растет интерес *венчурного капитала к нанотехнологиям*. За период 2002-2006 гг. совокупный объем глобальных венчурных инвестиций в нанотехнологии увеличился в 1,68 раза (см. рис. 9). Однако, по данным Lux Research, в 2005 году на нанотехнологии пришлось всего лишь 2% от общего объема венчурных инвестиций; количество сделок сократилось, однако средний размер одной сделки вырос и составил 10,9 млн долл. США. Много это или мало? Для такой области, которая находится на эмбриональной стадии, где рынок еще не сформировался, это не так уж и мало. По объему венчурных инвестиций лидировала микроэлектроника, в 2004 и в 2005 годах на эту область приходилось 40% общего объема

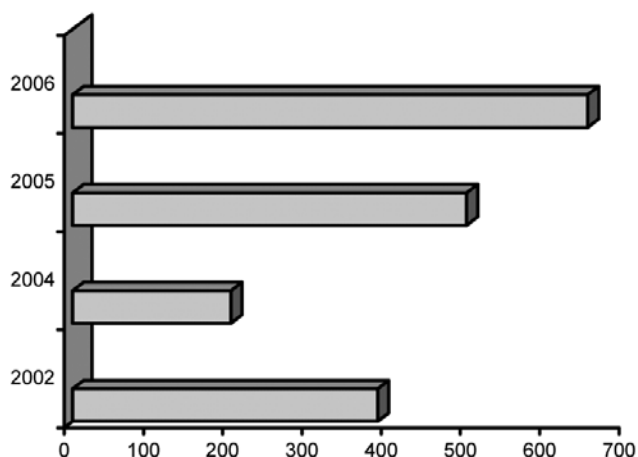


Рис. 9. Инвестиции венчурного капитала в нанотехнологии, млн долл. США

Источник: Lux Research, 2006

венчурных инвестиций в нанотехнологии; второе место заняла наука о жизни, а третье место разделили наноматериалы и наноинструменты. За период 1998–2005 гг. всего лишь 143 стартующие нанокomпании были проинвестированы венчурными капиталистами, а по состоянию на 2005 год на мировом рынке работало около 1500 стартующих нанокomпаний, т. е. была проинвестирована венчурными капиталистами каждая десятая компания. Около 50% глобальных венчурных инвестиций приходится на США, однако растущий интерес венчурных капиталистов к нанотехнологиям — это глобальная тенденция. По данным NanoBusiness Alliance, многие транснациональные компании создали корпоративные венчурные фонды для инвестирования в нанотехнологии, среди них IDM, Motorola, Hewlett Packard, Lucent, Hitachi, Mitsubishi, NEC, Corning, Dow Chemical. Однако все аналитики без исключения, а также структуры власти и ученые отмечают, что для развития нанорынка венчурных инвестиций не хватает катастрофически.

*Как Россия выглядит на фоне роста венчурных инвестиций в нанотехнологии?* В России венчурные инвестиции в ВВП составляют всего 0,01%; для сравнения — в США доля венчурных инвестиций в ВВП составляет около 0,5%. По данным РАВИ, за 10 лет венчурные инвесторы вложили более 2,4 млрд долл. США в 353 российские компании. В 2005 году МЭРТ выступило с инициативой создания венчурных фондов с государственным участием и определило порядок создания, правовую базу работы такого рода фондов. В общем и целом программа региональных венчурных фондов МЭРТ может оживить инвестиционную активность в регионах, аккумулируя средства бюджетов всех уровней и корпоративного сектора, может способствовать формированию венчурной культуры в регионах и «выращиванию» профессиональных менеджеров венчурных фондов, но она не ориентирована на структурно-технологические сдвиги, на формирование региональных высокотехнологичных кластеров, на занятие ниш вы-

сокотехнологичной продукции на мировом рынке. Как правило, национальные венчурные программы других стран ориентируются на создание конкурентоспособных высокотехнологичных секторов.

Несмотря, а может быть, и вопреки политике МЭРТ, венчурный рынок России развивается под влиянием притока иностранного венчурного капитала и самоорганизации национального венчурного капитала. ЦИПРАН РАН проводит мониторинг венчурных фондов, работающих на российском рынке. Хотя информации в этой области недостаточно и многие венчурные инвесторы не открывают направлений инвестирования, а относят эту информацию к коммерческой тайне, однако даже по тем данным, которыми мы располагаем, можно сделать вывод, что на российском рынке венчурные капиталисты начинают разворачиваться лицом к нанотехнологиям. По состоянию на август 2007 г. наша база данных включала 102 венчурных фонда, из них 13 фондов работали на поле нанотехнологий; следует отметить, что в 2006 году всего лишь два венчурных фонда инвестировали в нанотехнологии.

## Научный потенциал — основа развития нанотехнологий

Нанотехнологии относятся к той области науки и технологий, где наука является двигателем технологического прогресса и развития рынка. В западной литературе такого рода технологии называют «science-based technology», т. е. технологии, основывающиеся на науке. Именно поэтому имеющийся научный потенциал играет особую роль в развитии такого рода технологий. Поскольку статистика в этой области науки и технологий, равно как и сами нанотехнологии, находится на эмбриональной стадии, то возникает вопрос: как можно оценить научный потенциал? По нашему мнению, основным показателем для оценки научного потенциала и для бенчмаркинга может служить «количество научных организаций, проводящих наноисследования»; он отражает и уже имеющийся научный потенциал, и потенциал роста. Если сравнивать Россию с другими регионами мира, то она превосходит Северную Америку в 2,7 раза, Азию — в 2,5 раза, а ЕС — в 1,6 раза (см. рис. 10).

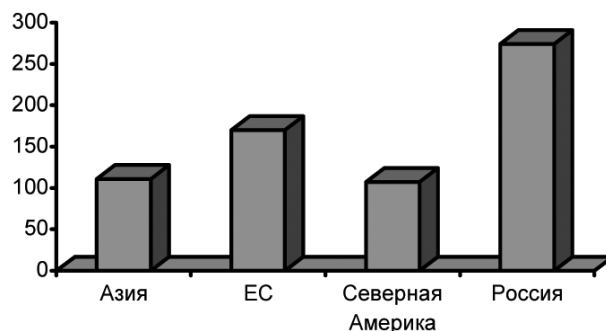


Рис. 10. Научные организации по регионам мира, ед.

Источник: Нанотехнологии: Форсайт, под ред. Н. В. Гапоненко. М.: 2006

ЦИПРАН РАН создал базу данных научных организаций России, которые занимаются наноисследованиями, и проводит их мониторинг. Если анализировать распределение научных организаций, проводящих наноисследования по секторам науки, то, по нашим данным, ядро российской нанонауки сосредоточено в Российской академии наук. По количеству научных организаций научный потенциал Академии сопоставим с потенциалом Северной Америки и Азии; каждый четвертый институт Академии наук проводит наноисследования. Следует отметить, что академические институты — это не небольшие научные центры (в других регионах мира значимую часть составляют небольшие, вновь созданные по инициативе государства научные центры), а это институты с мировым именем, со сложившимися научными школами, с опытом проведения исследований в этой области. Академия наук из средств Президиума Академии наук финансирует шесть научных программ в области нанотехнологий. Некоторые региональные отделения, например Сибирское отделение Академии наук, также финансирует программы в области нанотехнологий.

Вузовский сектор науки уступает академическому на 23% по количеству организаций, проводящих наноисследования (см. рис. 11). В США 60 университетов проводят исследования на наноуровне, по количеству вузов, проводящих ИиР в этой области, Россия превосходит США, однако не более 10 университетов имеют научный потенциал, сравнимый со

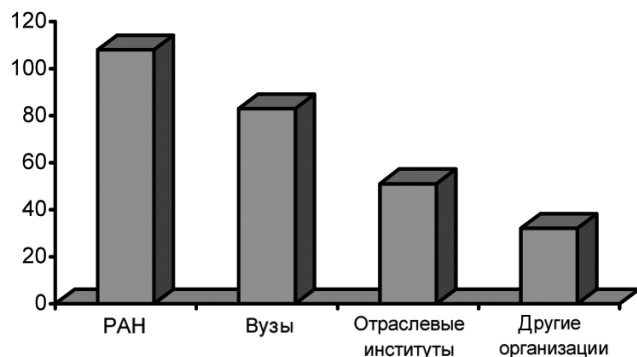


Рис. 11. Научные организации России по секторам науки, ед.

Источник: Нанотехнологии: Форсайт, под ред. Н. В. Гапоненко. М.: 2006

среднестатистическим академическим институтом. Отраслевой сектор российской науки уступает и академическому, и вузовскому; лишь единицы научных организаций этого сектора можно сравнивать по их потенциалу с академическими институтами.

## Результативность науки — основа конкурентоспособности страны на мировом рынке

Результативность науки оценивается по двум основным показателям — по количеству публикаций и по количеству зарегистрированных патентов. Значи-

мость этих двух 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.

Количество публикаций в области нанотехнологий в мировом масштабе за период 1990-2006 гг. выросло более чем в 28 раз (см. рис. 12). Странами-лидерами по публикационной активности на протяжении всего этого периода являлись США, Япония, Китай и Германия (см. рис. 13). Следует отметить, что

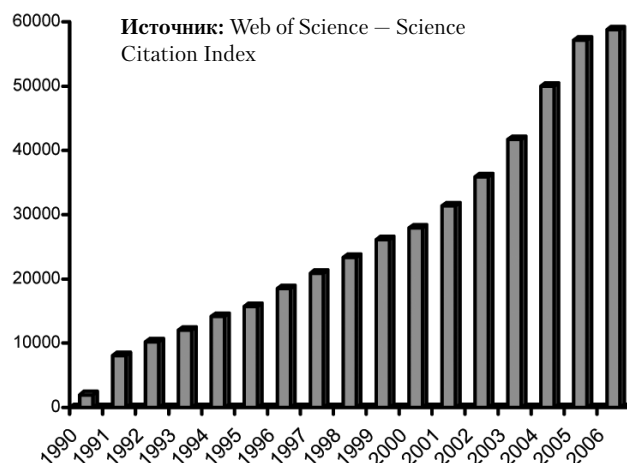


Рис. 12. Публикации в области нанотехнологий (ед.)

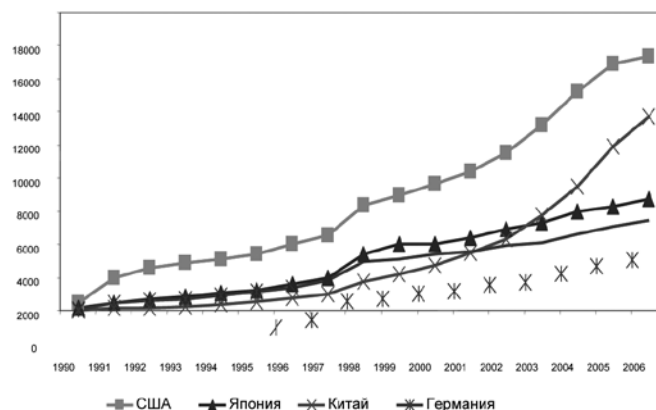


Рис. 13. Динамика публикации в области нанотехнологий стран-лидеров

Источник: Web of Science — Science Citation Index

Китай вплоть до 2001 года по количеству публикаций уступал и США, и Японии, и Германии; в 2002 году он обошел Германию, а в 2003 году — Японию. Как выглядит Россия по публикационной активности? По данным Lux Research, в 2005 г. на Россию приходилось около 5% общего объема публикаций в нанообласти. Россия заняла шестую позицию, пропустив вперед США, Японию, Китай, Германию, Францию, но обогнав такого признанного лидера в области нанотехнологий, как Великобритания (см. рис. 14). На рис. 15 выделены города с количеством публикаций,

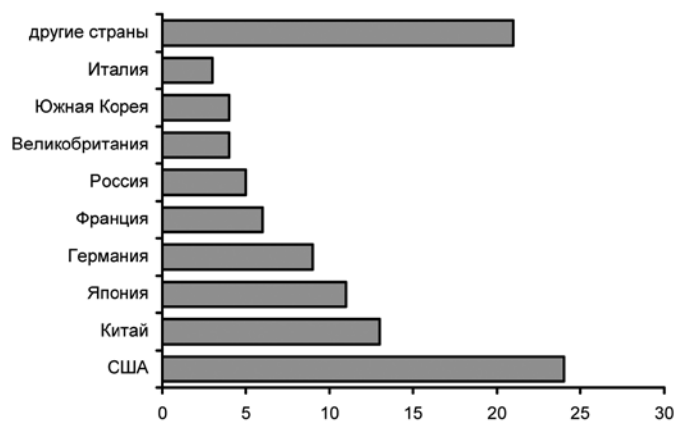


Рис. 14. Научные статьи в нанотехнологиях, опубликованные в июне 2005 г., в %

Источник: Lux Research, 2006

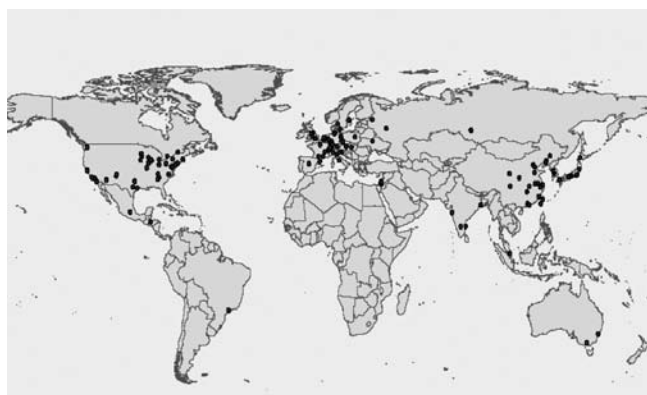


Рис. 15. Города с количеством публикаций в области нанотехнологий более 1000

Источник: Web of Science — Science Citation Index

превосходящим планку в 1000 научных публикаций, плотность этих городов достаточно высока в США, странах ЕС и в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в особенности в Японии. Это те города мира, которые будут бороться и конкурировать за мировой рынок. В России к городам, в которых публикационная активность находится на уровне основных мировых лидеров, относится Москва, Санкт-Петербург и Томск. Это свидетельствует о суперконцентрации наноисследований в трех крупных агломерациях.

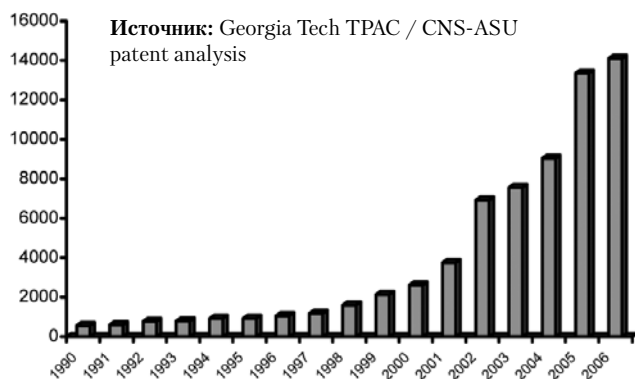


Рис. 16. Патенты в области нанотехнологий (ед.)

Источник: Georgia Tech TPAC / CNS-ASU patent analysis

Еще одной глобальной тенденцией является быстрый рост количества патентов в области нанотехнологий. За период 1990-2006 гг. количество выданных патентов увеличилось почти в 25 раз, то есть темпы роста публикаций и патентов почти что совпали (см. рис. 16).

На рис. 17 показана пятерка стран-лидеров по количеству выданных патентов, однако ни в одном из международных обзоров Россия даже не упоминается в контексте патентования.

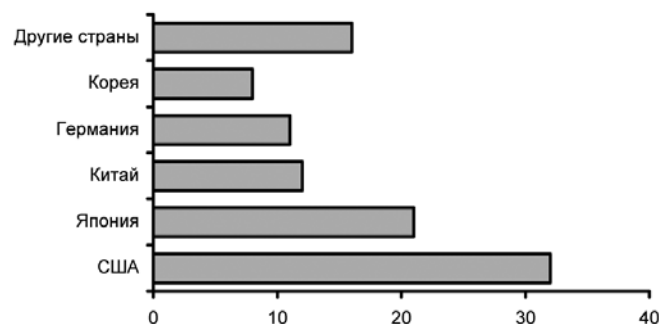


Рис. 17. Страны-лидеры по количеству выданных патентов в области нанотехнологий

Источник: Lux Research, 2005

## Нанорынок: каково место России в этом сегменте технологического рынка?

Нанорынок находится на начальной стадии развития, однако ожидается, что уже в ближайшей перспективе это будет наиболее динамично развивающийся сегмент технологического рынка. По оценке Национального научного фонда США, в 2010 году мировой рынок нанопродукции и наноуслуг составит 1 млрд долл. США; с применением различных нанотехнологий и/или нанопродуктов будет производиться 15% всей промышленной продукции. Во всех регионах мира рынок развивается за счет создания новых спин-офф компаний, образованных учеными для коммерциализации выполненных ими НИОКР; на долю таких компаний приходится 70% мирового рынка (см. рис. 19). Это объясняется в значительной степени спецификой этой области, где грань между исследованиями и производством продукции оказывается размытой, более того, и после выхода на рынок компании не могут обеспечить свою конкурентоспособность без тесной унии с наукой. В 2005 г., по данным Lux Research, на мировом рынке работало 1480 наноконпаний, более 50% — это американские компании (см. рис. 18). Столь существенное преимущество США сохраняется на протяжении последних десяти лет. Страны ЕС и Азиатско-Тихоокеанского региона разрабатывают стратегии с тем, чтобы укрепить свои позиции и выйти на новые сегменты нанорынка. Меры, предпринимаемые ими, как правило, фокусируются на поддержке стартующих, спин-офф компаний, поскольку именно они являются двигателями развития рынка.

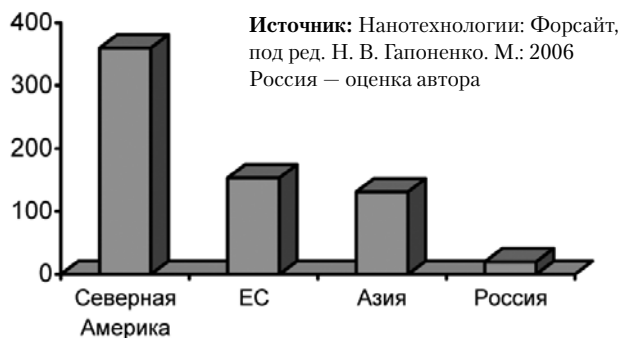


Рис. 18. Наноконпании, работающие на мировом рынке (ед.)

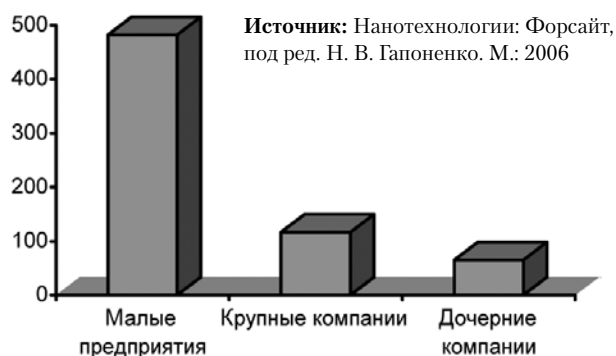


Рис. 19. Основные игроки на рынке нанотехнологий

Как выглядит Россия на нанорынке? Доля российских компаний на мировом рынке составляет всего лишь 3%. Ряд факторов предопределил существенное отставание России от основных регионов мира. Одним из ключевых факторов является недооценка роли малых предприятий и спин-офф компаний и, соответс-

твенно, недостаток мер государственной поддержки малого высокотехнологичного бизнеса. Кроме того, российские научные организации не имеют опыта коммерциализации НИОКР, а ученые не готовы совмещать научную карьеру с предпринимательством.

## Новые вызовы и новые возможности

Нанотехнологии открывают новые возможности для повышения конкурентоспособности национальной экономики, для решения ряда социальных и экологических проблем; на сегодняшний день основу для их развития формирует научный потенциал, система образования и человеческий капитал. Россия располагает всеми этими тремя компонентами и выгодно отличается от других регионов мира. Последние решения Президента России В. В. Путина создают финансовую основу для рывка в этой области и выхода на лидирующие позиции. Нанотехнологии получают столь мощную государственную поддержку, что по финансовому обеспечению эта область науки и технологий превзойдет финансовые вливания государственного и корпоративного секторов США вместе взятых. Новые широкие возможности формируют и новые вызовы к этой области науки и технологий, к системе управления, научному сообществу и корпоративному сектору. Прежде всего, речь идет об эффективности использования бюджетных ассигнований, о грамотном их распределении по стадиям инновационного цикла, по технологическим приоритетам, о формировании партнерства между государством и частным сектором в широком контексте и о создании сбалансированной, адаптивной и динамичной секторальной инновационной системы в области нанотехнологий.

## ТАЛОН ПОДПИСКИ ЖУРНАЛА

## «ИННОВАЦИИ»

Подписка в редакции — это получение журнала сразу после тиража.

Подписка на 2008 год (12 номеров) **7200 руб. 00 коп.** (Семь тысяч двести рублей),  
в том числе НДС — 654 руб. 55 коп.

Название организации \_\_\_\_\_

Фамилия, имя, отчество \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Почтовый адрес (адрес доставки) \_\_\_\_\_

Просим высылать нам журнал «Инновации» в количестве \_\_\_\_\_ экземпляров.

Нами уплачена сумма \_\_\_\_\_

Платежное поручение № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_\_\_

### Банковские реквизиты редакции:

ОАО «ТРАНСФЕР», ИНН 7813002328, КПП 781301001  
р/с 40702810727000001308 в Приморском филиале ОАО «Банк Санкт-Петербург», г. Санкт-Петербург,  
к/с 30101810900000000790, БИК 044030790

Дата заполнения талона подписи \_\_\_\_\_ Подпись \_\_\_\_\_

Подписка на год, а также полугодие оформляется с любого месяца.

Заполненный талон подписи мы принимаем по факсу: (812) 234-09-18

Контактное лицо: А. Б. Каминская..

По каталогу «Агентство «РОСПЕЧАТЬ» ГАЗЕТЫ. ЖУРНАЛЫ-2007 (Москва) подписка принимается на общих основаниях.  
Подписной индекс: **38498.**

# Методология российских форсайтных исследований



**И. Р. Куклина,**  
руководитель направления экспертизы и прогнозов  
РНЦ «Курчатовский институт», национальный эксперт  
ООН по промышленному развитию по программе Форсайт,  
член Рабочей группы по разработке проекта концепции  
долгосрочного прогноза научно-технологического  
развития РФ на период до 2025 г.

*Российский научный центр «Курчатовский институт»*

## Наука и технология

К середине XX века Россия смогла создать уникальное поле научно-технологических разработок: выстроить систему научных школ, построить развитую индустрию, обеспечив ее достаточным количеством требуемого энергетического и сырьевого ресурса.

Тем самым восстановление поля НИР после периода экономического переформатирования для России является абсолютно естественным. После запуска энергетического проекта реформация пространства русской науки явилась необходимым стратегическим шагом на пути движения страны к самому высокому международному статусу. Такой проект требует активного взаимодействия государства, науки и бизнеса для формирования современной и эффективной инновационной системы, системы, призванной обеспечить конкурентоспособность российской экономики в целом, российских компаний как на внешних, так и на внутренних рынках; повышение уровня жизни населения; принципиальное изменение качества человеческого капитала.

Принципиальной в этой ситуации оказывает поставленная государством задача выявления перспективных научных и технологических направлений, которые могли бы лечь в основу долгосрочной научной и инновационной политики развития Российской Федерации. В этом поиске перспективных направлений развития важны как политические, так и социально-экономические потребности страны. Важна методология, которая сформирует стратегии секторов экономики и задаст высокий уровень конкурентоспособности российских компаний на мировом и российском рынках.

Такое возвращение Российской Федерации в глобальную проектность ставит перед форсайтными исследованиями в Российской Федерации задачи формирования принципиально иного видения, формирования стратегий, основанных на преодолении избыточной локализации научных направлений, свойственных науке второй половины XX — начала XXI веков.

Характер задач, в свою очередь, диктует необходимость анализа и коррекции методологии форсайтных исследований.

## Среды человеческой деятельности

Мир начала XXI столетия вступил в полосу глобальных потрясений, среди множественных признаков которых: расширяющийся конфликт на Ближнем Востоке; жесткое экономическое противостояние в Азиатско-Тихоокеанском регионе; терроризм, выступающий против глобализации; падение ликвидности капитала с последующим каскадным кризисом экономики в развитых странах. В настоящее время мировое хозяйство находится в стадии упадка индустриального уклада и оформления сложнейшего перехода к новой постиндустриальной форме развития. Наблюдается острая необходимость в построении и внедрении новых технологий гуманитарного характера: управленческих, образовательных, исследовательских, экономических. Это резко усложняет решение задач, стоящих перед форсайтными исследованиями и предъявляет дополнительные требования к их методологии. Критичным для методологии прогноза является следующее: все прогнозы формируются с учетом множества факторов, различных по своей структуре. В результате — точек ветвления, учитываемых при построении возможных вариантов развития, оказывается чрезвычайно много, что делает традиционный сценарный анализ трудоемким.

Такое понимание методологических проблем «классического» сценарного анализа указывает на необходимость другого — не дискретного — подхода к прогнозированию. При таком подходе прогнозируется не событийный ряд, а реализуется прогноз изменения социально-экономических потребностей и ожидаемых в будущем угроз. В предложенном контексте возникает необходимость прогнозирования **социальной среды** и ее требований к научно-технологическому развитию.



Ясно, что прогнозирование эволюции и развития будет в первую очередь связано с динамикой как минимум трех сред, связанных с человеческой деятельностью:

- **Природная среда.** В контексте этой среды рассматриваются экологический аспект, проблемы климатических изменений, взаимовлияние ландшафтов и человеческой деятельности. В последнее время в состав природной среды необходимо включать и ближайший космос.
- **Технологическая среда.** В контексте этой среды рассматриваются пространство технологий и материальной культуры, промышленное производство во всех его видах, инфраструктура и транспорт, другие аспекты материальной деятельности. Именно сюда направлены основные современные форсайтные работы в России.
- **Социальная среда.** Включает пространство человеческой и общественной жизни; социальные виды деятельности и познания, управление. В сложнейшую задачу по исследованию изменения и формирования образов будущего должны быть включены ожидания общества достижений науки и технологий и требования к качеству жизни.

Вместе с тем, системный анализ сред, связанных с человеческой деятельностью и их взаимного влияния, требует адекватного инструмента и обходимого методологического обеспечения. Таким инструментом являются рассматриваемые ниже технологические пакеты.

## Индустриальные НИРы и технологические пакеты

Минувший век заявил и реализовал индустриальный подход к научно-исследовательской деятельности. Это воплотилось в востребованности большого числа научно-исследовательских учреждений, формировании множества научных школ, масштабной подготовки научных и инженерно-технических работников. Так, например, это было более чем обосновано для автономного Российского (Советского) инновационного мегапроекта, каким был атомно-космический проект СССР.

К концу XX века реализация целостной, системной цели была завершена, и русская наука столкнулась с проблемой масштаба. Уже существующие и вновь формирующиеся научные школы продолжали вести фронтальные исследования по нескольким десяткам тысяч научных направлений. Стратегия, положенная в основу развития российской науки, как уже было отмечено, к тому моменту была полностью реализована. К этому моменту существующий ресурс уже не капитализовался Россией в полной мере (как мы сейчас понимаем) и, естественно, был капитализирован иностранными заказчиками.

При традиционном подходе только постановка новой стратегической задачи могла систематизиро-

вать хотя бы в первом приближении все имеющиеся поля исследования, сделать их доступными для анализа, а также потенциально востребованными в рамках российского национального хозяйства.

Само знакомство со всеми направлениями НИР представляет собой достаточно трудоемкую работу, а хотя бы первичное форсайтное исследование — практически неисполнимую на общей статистике. Ни один из экспертов не сможет достаточно адекватно и в осмысленный промежуток времени оценить все представленное поле, привлекаемые эксперты вынуждены работать по отдельным выборочным направлениям.

В рамках работ, осуществляемых РНЦ «Курчатовский институт» по прогнозированию научно-технологического развития России до 2025 года была предложена концепция технологического пакета, решающая указанную методологическую проблему форсайтных исследований.

Единичные технологии представляют собой слишком малый объект для анализа. На уровне отдельной технологии нельзя отследить, какие технологии важны и значимы, а какие — нет. Анализ каждой конкретной технологии имеет смысл при внутриотраслевом форсайте или при работе с возможными решениями для конкретного продукта. Но для среднесрочных прогнозов технологического развития этот масштаб является слишком малым [1].

Более того, линейное выделение стратегического направления резко снижает число исследуемых технологий, но остро ставит проблему социальной востребованности. Обычно задачу востребованности решали методом, близким к теории возмущений. В такой логике, например, действовали сотрудники американской «фабрики мысли» RAND Corporation, выстраивая на диаграмме взаимодействие технологий с минимальным учетом реакции социальной среды [2].

Совершенно очевидно, что при переходе от локальных технологий к продуктам, востребованным социумом, мы получаем совсем другую логику, лежащую совсем в иной плоскости восприятия. Было предложено перейти при рассмотрении приоритетных направлений развития к пониманию системного технологического блока, называемого технологическим пакетом. При этом отдельные технологии оказываются включенными в последовательность технологических цепочек, решающую актуальный социальный заказ. Так, например, Россия, имеющая развитый и внедренный энергетический технологический пакет, оказывается активно вовлеченной в мировые рынки, независимо от их высокого административного сопротивления.

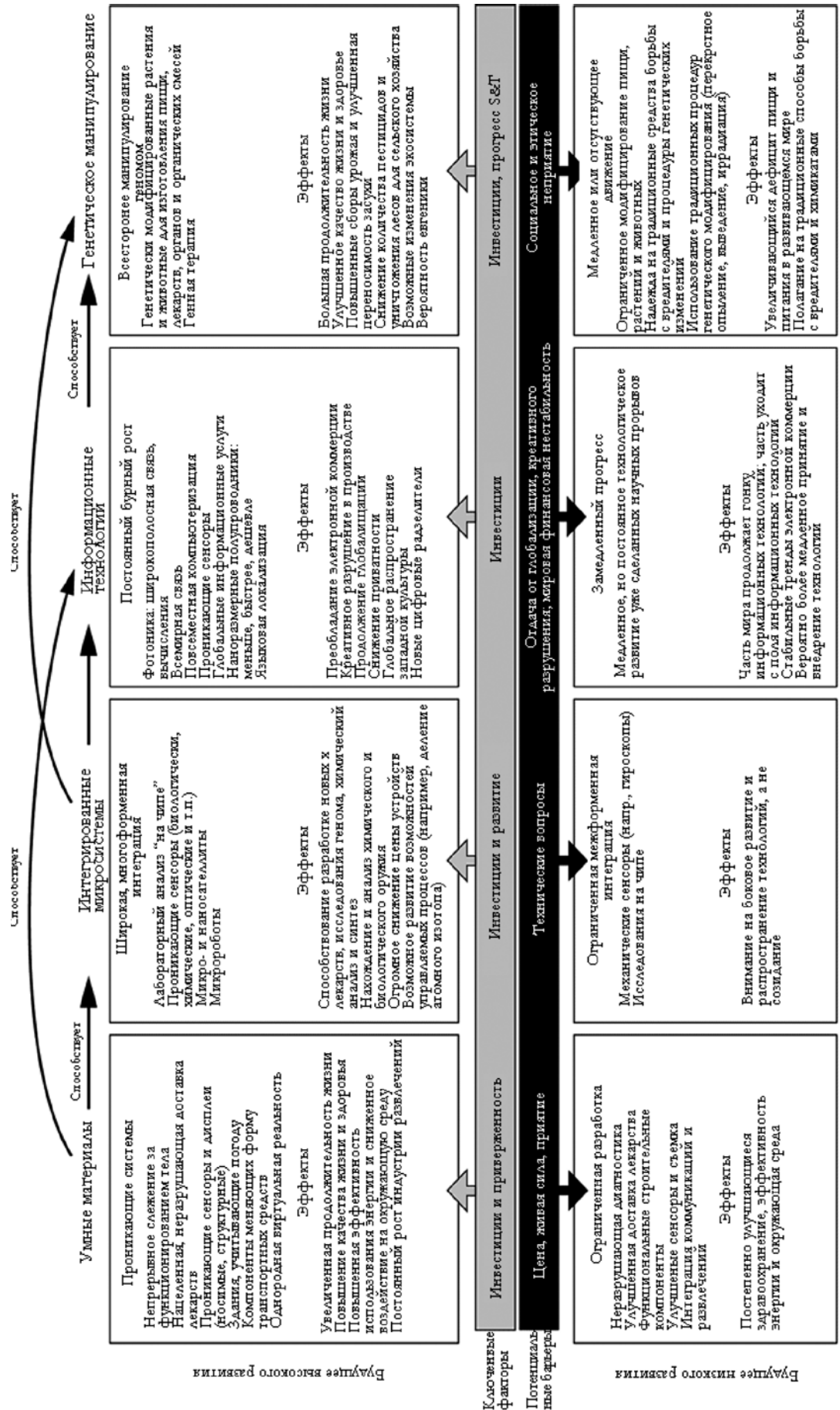
Пакетный подход позволяет сменить масштаб исследования технологического поля как для Российской Федерации, так и при анализе мировой конъюнктуры. «Прописывание» существующих технологических пакетов национального хозяйства России — продовольственного, жилищного, пакета нанотехнологий и т. д. — позволит оценить полноту совокупности технологий, включая гуманитарные,

их достаточность для реализации в рамках национального хозяйства и учесть социальные последствия внедрения новых технологий, а также проанализировать их применимость и возможность капитализации на территории России.

Реализация представленного подхода при разработке прогнозов научно-технологического развития Российской Федерации в формате сценарного планирования [3] позволит сформулировать четкие цели для всех уровней работы — от Дельфи-анализа до принятия административного решения — и обеспечить критерии качества прогноза.

## Литература

1. Желтов А. О понятии технологического пакета. «Инновации», настоящее издание, 2008.
2. Silbergliitt R, Anton P. H, Howell D. R., Wong A. The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses Bio / Nano / Materials / Information Trends, Drivers, Barriers, and Social Implications. RAND, 2005.
3. Куклина И., Ютанов Н. Форсайт как управление будущим. // В сб. «Технологии форсайта: масштабы применения». РИЭПП, М., 2008.



# Понятие технологического пакета

А. О. Желтов

*Рабочая группа по форсайту при Российском научном центре  
«Курчатовский институт»*

При анализе и прогнозировании развития технологий первая проблема, с которой приходится сталкиваться, — проблема масштаба и детализации. Она возникает вне зависимости от глубины исследования и прогноза, а также применяемой методологии. Вкратце содержание данной проблемы заключается в том, что крайне трудно выделить ту самую «технологию», анализ или прогноз которой является предметом работы. При попытке выделить «атом» технологии исследователи упираются в бесконечное наращивание контента: «для создания этой технологии нужны еще технологии, для которых в свою очередь...». При переходе от логики технологий к логике товаров и продуктов существенно меняются результаты прогноза. В самом деле, логика жизни и развития товара существенно отличается от развития технологий, описывается в другом языке и т. д.

Единичные технологии представляют собой слишком маленький объект для анализа. На уровне отдельной технологии нельзя отследить, какие технологии важны и значимы, а какие — нет. Анализ каждой конкретной технологии имеет смысл при внутриотраслевом форсайте или при работе с возможными решениями для конкретного продукта. Но для среднесрочных прогнозов технологического развития этот масштаб является слишком маленьким. Также не подходит он и для метода Дельфи.

Наиболее удобной формой отслеживания и прогнозирования технологического развития является пакет технологий (или «технологический пакет»). Понятие «пакета технологий» включает в себя набор технологий и научно-технологических решений, составляющий объект, ведущий себя как независимая техническая система. Пакет технологий (ПТ) развивается самостоятельно, его внутренние связи и взаимозависимости прочнее, чем внешние.

Формально технологическим пакетом является генетически и функционально связанная совокупность технологий, обладающая системными свойствами. Пакет с необходимостью включает в себя как физические, так и гуманитарные технологии, то есть он «вертикально интегрирован» в технологическом пространстве.

Развитие пакета технологий может быть положено на S-кривую Альтшуллера по ключевому параметру, определяющему эффективность образован-

ной технической системы [1]. S-кривая может быть создана как для пакета технологий (скажем, персонального компьютера), так и для любого из его компонентов (представляющих собой «систему в системе»). В целом развитие крупного пакета технологий (например, обобщенно информационных) выглядит как S-кривая, образуемая в результате анализа облака точек — участков перехода с кривой на кривую технических систем, составляющих данный пакет технологий.

Для информационных технологий классическим пакетом технологий является персональный компьютер (понимаемый не как продукт, а как отражение развития определенного пакета технологий). Его эффективность может быть отслежена по быстродействию, выраженному в тактовой частоте процессора или скорости вычислений (параметры, производные от технологического совершенства, но не зависящие напрямую ни от какого конкретно технологического решения). В таком случае для прогнозирования развития информационных технологий не нужно разбираться с технологиями литографии, сверхплотной записи данных и ЖК-дисплеями. Вполне достаточно отследить перспективы и особенности развития персональных компьютеров, а также других пакетов технологий, которые мы считаем репрезентативными для данного направления, к примеру сотовых телефонов.

Технологический пакет «сшивает» всю систему сред, с которыми связана жизнь и деятельность человека:

1. Структурирует технологическую среду, образуя в ней системно связанную область.
2. Воздействует на материальную (естественную) среду либо основан на сетевых структурах, прописанных в материальной среде.
3. Взаимодействует с социальной средой, оказывая на нее значимое воздействие вплоть до адаптивного структурирования этой среды. Социальная среда изменяется таким образом, чтобы в максимальной степени соответствовать требованиям технологического пакета.
4. «Прописан» в информационной среде, в частности, в языковом и в нормативно-правовом пространствах этой среды.

Технологический пакет оказывает воздействие на все социосистемные деятельности — на познание,

управление, образование и производство. Технологический пакет также в обязательном порядке институционализирован, т. е. вписан в определенные институты или их образует. Как правило, основным институтом, поддерживающим пакет, является господствующее в данную эпоху представление социосистемы: полис, номос, национальное государство... Разумеется, существуют и технологические пакеты, установленные на более низком структурном уровне. Например, инфраструктурные промышленные технологические пакеты опираются на структуру и особенности жизни города, а также соответствующие институты жизни.

Как правило, ТП имеет инфраструктурную составляющую, то есть опирается на те или иные сети. Более того, без определенных инфраструктур существование «поздних» пакетов невозможно. Так, нормальная работа компьютера и сотового телефона в условиях отсутствия электросетей по меньшей мере затруднительна. Аналогично и в случае с гуманитарными технологиями — установка и работа сложных технологических пакетов в этой сфере (скажем, сложных форм мышления) невозможны без наличия соответствующих навыков общения и т. д.

Технологическое развитие цивилизации связано не столько с созданием новых технологий, сколько с возникновением или созданием возможности развития одной или нескольких технологий в ТП. Хрестоматийный пример: паровая машина была изобретена Героном Александрийским в эпоху античности, но соответствующий технологический пакет начал оформляться только в конце XVIII столетия и был окончательно оформлен к началу последней трети XIX века (изобретение клапана Уатта, компаунд-машины, создание сети угольных станций и сети железных дорог). Аналогичная судьба может ожидать и целую группу современных новых технологий, если они будут вписаны в соответствующие технологические пакеты.

Любая техническая и экономическая инновация может влиять на жизнь общества несколькими путями, одним из которых является появление новой гуманитарной технологии. С другой стороны, инновация не обязательно порождает гуманитарную технологию, зачастую уходя в военную плоскость (так стремя породило кавалерию, металлургия — бронирование, а космические спутники — навигационную сеть).

Напротив, существуют военные технологии, превратившиеся в гуманитарные: коллективизация, Интернет. Вообще, любая, сколько-нибудь успешная инновация в науке, технике, экономике, военном деле порождает зависимую технологию хотя бы в одной смежной области, что должно рассматриваться как тренд к формированию технологического пакета: технология тогда и только тогда является успешной, когда она приводит к образованию технологического пакета или, по крайней мере, включается в уже существующий пакет, модифицируя его.

Фазовое состояние цивилизации задается небольшим числом базовых технологических пакетов. Почти все пакеты «прописаны» в виде производственных цепочек, что подразумевает наличие в структуре пакета той или иной экономической составляющей.

В качестве примеров рассмотрим ряд технологических пакетов — персональный компьютер, атомный реактор, реактивная авиация, нанотехнологии.

## Информационные технологии — пакет «персональный компьютер»

Для информационных технологий классическим пакетом технологий является персональный компьютер (в широком смысле понимаемый не как продукт, а как отражение развития определенного пакета технологий). С точки зрения количественного анализа, его развитие может быть отслежено по быстродействию, выраженному в тактовой частоте процессора или скорости вычислений (параметры, производные от технологического совершенства, но не зависящие напрямую ни от какого конкретно технологического решения). Значимыми параметрами также являются размеры, в том числе масса.

Персональный компьютер оказал воздействие практически на все среды. На его основе (с помощью сетевых технологий) появились новые формы социальной организации. Появились новые элементы языка — несколько сленгов, глагол *to google*, а также герметичные<sup>1</sup> пласты юмора. Создался отдельный пласт журналистики — блоги. Появились новые форматы и средства выражения в кино.<sup>2</sup> С помощью компьютера экранизируется то, что раньше было в принципе невыразимо имеющимися в кино средствами.

Персональный компьютер создал новое измерение проблемы безопасности — безопасность личной коммуникации, личной информации, личных данных. Резко обострилась проблема авторского права на информационные продукты.

Влияние компьютера на образование пока до сих пор недооценено — клиповое мышление толком не изучено. В производстве, управлении, военном деле роль ПК такова, что породила понятие «информационных революций» в соответствующих областях.

Без определенных инфраструктур существование этого пакета невозможно. Нормальная работа компьютера в условиях отсутствия электросетей — по меньшей мере, затруднительна (с подобной проблемой в свое время столкнулся японский МЧС). Для эффективной работы требуется также набор соответствующих гуманитарных технологий.

Существует несколько ответвлений развития данного пакета: системы класса Wintel,<sup>3</sup> парадигма

---

<sup>1</sup> Т. е. непонятные людям, не включенным в соответствующую субкультуру или не работающим с соответствующим пакетом технологий.

<sup>2</sup> Те же визуальные спецэффекты, технология motion capture и т. д.

<sup>3</sup> Специализированные разработки операционной системы Windows компании Microsoft для процессоров Intel.

Apple,<sup>4</sup> специализированная техника, в том числе сверхбыстрые системы, кластерные системы.

Интенсивное развитие пакета породило ноутбуки и персонализацию электроники. В настоящее время развитие пакета дошло до своего логического и технологического предела: техника меньшего размера является эргономически неудобной, большая производительность не имеет адекватных задач. Для дальнейшего развития пакета требуется новая концепция интерфейса и систем вывода информации.

## Энергетические технологии — атомный реактор

Атомная энергетика (технологический пакет «атомный реактор») является одной из предельных промышленных технологий. На сегодняшний день из существующих это наиболее эффективная и технологически продвинутая форма получения энергии.

В настоящее время коммерчески эксплуатируются шесть классов реакторов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Большое разнообразие конструкций свидетельствует об отсутствии единого понимания тенденций развития ядерных энергетических установок. Не будет преувеличением сказать, что на сегодняшний день коммерчески эффективный «основной промышленный реактор» не существует даже как прототип.

Мировые тренды расходятся:

- Во-первых, существует точка зрения, согласно которой коммерчески наиболее привлекательная рабочая мощность растет со временем, и в настоящее время следует ориентироваться на установки мощностью от 1400 до 1600 МВт.
- Во-вторых, ряд специалистов убежден, что следует ограничиться установками «тысячниками» (от 950 до 1350 МВт). Такие установки лучше освоены, дешевле в производстве и удобнее в транспортировке крупноразмерного оборудования (прежде всего, это относится к корпусам реакторов и теплообменникам), менее критичны по отношению к параметрам электросетей. Наконец, формальная коммерческая эффективность сверхмощных установок подрывается более жесткими требованиями безопасности.
- В-третьих, существуют убежденные сторонники установок умеренной мощности — 600–800 МВт, для которых может быть обеспечена пассивная безопасность и которые органично «вписываются» в энергосистемы небольших стран.

Существует также тренд на появление малых и сверхмалых реакторов. К таким относится анонсированный реактор Toshiba на 200 кВт [2]. Развитие нанотехнологий позволяет предположить, что в пределах

горизонта прогнозирования будут созданы эффективные ядерные реакторы малого размера и мощности (индивидуальные реакторы). Предельной версией такой технологии может стать «ядерный кубик». Система не содержит движущихся деталей, охлаждение осуществляется за счет прямого преобразования энергии. Система не требует контроля, цепная реакция продолжается до полного распада активного вещества (коэффициент выгорания близок к 100%).

Сопутствующими элементами развития пакета технологий «атомный реактор» являются:

- опреснение воды;
- «ядерные батарейки»;
- новые типы вооружений и двигателей;
- новые инфраструктуры.

С формальной точки зрения, атомная энергетика как технологический пакет определила:

- решение проблемы энергообеспечения крупных городов;
- новый класс фобий (радиофобия, особенно обострившаяся после аварии на Чернобыльской АЭС);
- новые пласты литературы и кинематографа (атомная энергетика стала основой множества произведений о «страшной радиации»);
- новые элементы философского понимания мира (как и атомная отрасль в целом) [3];
- возможное решение мирового энергетического кризиса (через серийное строительство АЭС все большим числом стран мира, рассматриваемое как единственное возможное решение).

Атомная энергетика полностью соответствует требованиям к технологическим пакетам. Она оказывает воздействие практически на все области человеческой деятельности и основывается на развитых инфраструктурах.

## Авиация

Коммерческая авиация, бурное развитие которой пришлось на 1950–1960-е годы, стала последним крупным инфраструктурным прорывом промышленной цивилизации. В настоящее время роль авиации в общемировой связности невозможно переоценить. На практике она обеспечивает значительную часть мирового антропопоток, почти весь туризм, деловые поездки, доставку срочных и дорогостоящих грузов, перевозку войск, действия в чрезвычайных ситуациях и в зоне стихийных бедствий.

Авиация целиком диспетчеризирована. Ее деятельность чрезвычайно строго регламентируется международными и национальными законами. Авиация «привязана» к аэродромам, которые очень трудоемки в проектировании и строительстве и весьма дороги. Доставка грузов и пассажиров в аэропорт для многих городов является сложной интермодальной проблемой.

Очень серьезными трудностями, подрывающими рентабельность авиационного транспорта как целого, являются меры антитеррористической безопасности в аэропортах. Очевидным трендом является непрерыв-

<sup>4</sup> Максимальное удаление пользователя от настроек компьютера. Пользователь урезается в правах вмешательства в работу и настройки системы, что компенсируется за счет высокой стабильности, надежности и удобства работы системы.

ное наращивание этих мер, которые уже в 2004 году вышли за границу здравого смысла и экономического расчета. Можно, однако, предположить, что этот тренд сохранится до тех пор, пока одна из ведущих авиационных держав мира не предпримет резких односторонних действий по отмене ненужных ограничений. Маловероятно, однако, что это произойдет без инсталляции целого ряда гуманитарных управленческих технологий. С достаточным основанием можно сказать, что сегодня мировой воздушный транспорт остается заложником катастрофического отставания гуманитарной технологической сферы от технологий в индустриальном, общепринятом значении этого слова.

Отличие от железнодорожного и автомобильного транспорта следует ожидать, что в авиации предстоящие десятилетия окажутся временем быстрого развития новых технологий. Это обусловлено, во-первых, наличием нескольких очевидных социальных заказов, во-вторых, законами эволюции технических систем, в-третьих, ожиданием появления новых конструкционных материалов, в-четвертых, прогнозируемыми научными достижениями в области газодинамики. Следует, однако, учитывать, что НИОКРы в авиации носят характер столь же длительный, что и в ядерной энергетике.

Представляется очень вероятным создание коммерчески эффективного сверхзвукового широкофюзеляжного пассажирского самолета. На этом пути основные проблемы носят кадровый характер: в работах по конструированию подобных самолетов была допущена слишком длительная, почти сорокалетняя пауза. Необходимо также иметь в виду, что могут возникнуть трудности в обслуживании подобных самолетов в современных аэропортах. Подобные трудности встречались и раньше («реактивный бум» 1950-х годов, первые широкофюзеляжные самолеты 1960-х годов), но в настоящее время уровень регламентации всего и вся в авиации настолько высок, что возникают обоснованные сомнения в том, что за 2010-е годы удастся адаптировать существующие аэродромы к новым типам самолетов. Здесь мы вновь встречаемся с тем, что *большинство проблем развития технических систем в современном мире носят гуманитарный характер.*

Интересной новой технологией, особенно актуальной для России, является межстоличная авиация. Имеется в виду необходимость дополнительно связать между собой два крупных города с большим суточным трафиком, расположенных сравнительно близко (до 1000 км) и не имеющих никаких ограничений по классу аэродромов. В Японии аналогичная проблема решается через массовое использование на малых дистанциях крупных дальнемагистральных лайнеров.

Для перелетов между такими городами нужны самолеты малого радиуса действия, большой пассажиро- и грузоподъемности, со сравнительно небольшой скоростью (время перелета определяется длительностью предполетных процедур, взлета и посадки), высокой экономичностью двигателей. Таким требованием может полностью удовлетворить *турбовинтовой*

*самолет нового поколения, встроенный в единый технологический пакет с системами экспресс-доставки пассажиров в аэропорт и из аэропорта и системами экспресс-прохождения предполетных процедур.* Появление такой машины и вытеснение ею с межстоличных трасс среднемагистральных реактивных самолетов представляется достаточно вероятным.

Общая логика развития транспортных технических систем предполагает, что в ближайшие десятилетия произойдет широкое распространение индивидуальной авиации («летающих автомобилей»), причем эта авиация получит в свое распоряжение отдельный диапазон высот и доступных трасс, что позволит оторвать ее от крупных аэродромов, значительно перегруженных. Соответствующее решение в области безаэродромной индивидуальной авиации уже доведено до коммерческого уровня [3]. Появление в продаже «летающего автомобиля» можно ожидать в ближайшие два-три года.

## Нанотехнологии

Интерес десятилетия направлен на наноматериалы, в частности фуллерены. Перспективными признаются также исследования в области нанотрубок. Наноматериалы рассматриваются как особая форма существования вещества. Предполагается, что наноматериалы имеют особые свойства, позволяющие достаточно широко использовать их в промышленности, несмотря на высокую стоимость производства (включаящую цену НИОКР) и метастабильность.

Возможно, эти надежды оправданы. Во всяком случае, уже сейчас можно прогнозировать спрос на изделия, полученные путем напыления нанотрубок (фуллерена) на металлическую основу. Таким путем можно получать острые режущие кромки (инструментов, крыла, воздухозаборников, холодного оружия и т. п.). Сложные высокочастотные структуры наноматериалов могут найти применение в ядерной физике, металлургии.

Среди прогнозов в области производства новых материалов, не связанных с массовым увлечением нанотехнологиями и наноматериалами, выделяется сценарная (форсайтная) гипотеза, предложенная фирмой «Филипс» [4]. Согласно этой гипотезе, в пределах горизонта планирования будут изобретены «активные пластики», способные изменять свои свойства (цвет, прозрачность, плотность и т. п.)

Нет никаких оснований сомневаться в том, что наноэлектроника будет создана, в результате чего произойдет замена существующего парка комплектующих. Это, безусловно, приведет к значительному прогрессу в производстве электронной и компьютерной техники. Остается, однако, неясным, насколько *социально значимыми* окажутся эти *технологически революционные* изменения? Иными словами, будут ли новые технологии в области дизайна технических (электронных) систем упакованы в значимый технологический пакет?



Мировой опыт форсайтов дает в этом отношении следующие прогнозы:

- Беспроводной интерфейс компьютера.
- Носимые компьютеры, компьютеры, встроенные в одежду и предметы быта.
- Квантовые компьютеры, в работе которых проявляется принцип неопределенности, что приводит к физической непредсказуемости работы и, как следствие, к способности системы на аппаратном, а не на программном уровне пройти тест Тьюринга. Если современные представления о мышлении верны, это придаст квантовому компьютеру черты личности.
- Японцы идут дальше, предсказывая появление андроидов — человекоподобных роботов, способных к мышлению. Такие роботы будут коммуницировать с людьми, станут частью социосистемы и займут место на мировом рынке трудовых ресурсов.

Из менее значимых инноваций предсказывается автоматизированный дизайн электронных устройств (Япония), химические, биологические, радиационные и впоследствии комплексные сенсоры (США).

Нам представляется, что в ближайшие годы технологический прогресс в области интеллектуальной электроники проявится, прежде всего, в быстром прогрессе и широком распространении коммуниторов, в их «сопряжении» с человеком. Необходимо также учитывать неизбежный прогресс в промышленности «группы  $A_0$ » в старой советской классификации — то есть в производстве критически важных средств производства.

Но в отличие от успешных и реализовавшихся информационных технологий трудности с судьбой нанотехнологий заключаются в том, что данное направление пока не сформировало внятных технологических пакетов. В этом смысле прогнозирование их развития напрямую связано с прогнозированием появления законченных самостоятельных пакетов технологий.

Нанотехнологии и шире — нанотехнологическая парадигма по ряду причин считаются принципиально новым витком научно-технологического развития. При этом их развитие пока не набирает темп, ожидаемый по аналогии со стремительным скачком информационных технологий в 1990-х годах.

Проблема нанотехнологий как пакета заключается в том, что они до сих пор не сформировали ни одного серьезно значимого потребительского продукта или услуги, на которых мог бы собратся пакет. Иными словами, можно сколько угодно говорить о развитии нанотехнологий, но до появления пакета «нанотехнологических» продуктов (товаров и услуг) нанотехнологий для людей не существует. Ситуация усугубляется тем, что нанотехнологии и потенциально порождаемые ими товары и услуги пока явно не решают ни одной реальной или иллюзорной проблемы. Отдельные подвижки в этом направлении есть в медицине и военном деле, но они пока что не дошли до «потребительского уровня».

Развитию пакета нанотехнологий препятствует также отсутствующая необходимая литературная

база. Существует практически единственная научно-популярная книга, описывающая «светлое нанотехнологическое будущее» — «Машины создания» Э. Дрекслера [5]. Фрагменты нанотехнологий можно найти только в романах некоторых отдельных писателей-фантастов.<sup>5</sup> Число форсайтов, проведенных по тематике нанотехнологий, считается по пальцам.<sup>6</sup> В открытых презентациях и документах военных ведомств нет четкого понимания, что же может дать военным нанотехнология. «Нанотехнологическая революция» не имеет литературно оформленных «дорожной карты» и понятных перспектив развития, т. е. не встроена в язык и культуру.

Как мы помним по опыту бума информационных технологий, непосредственно технологическое развитие персональных компьютеров сопровождалось:

- Концепцией информационного общества, прописывающей роль информатизации во всех сферах общественной жизни (или, если угодно, во всех процессах социосистемы).
- Несколькими концепциями в менеджменте и бизнесе.
- «Информационной экономикой» (информатизация стала ключом к запуску постиндустриальной экономической модели).
- «Революцией в военном деле» (концепция виртуального поля боя, информационное превосходство и т. д.).
- Огромным пакетом продуктов и социальных практик (об этом уже было сказано выше).
- Системой ожиданий и намерений всех уровней.

В случае с нанотехнологиями практически все указанные «сопровождающие факторы» пока отсутствуют. Иными словами, нанотехнологии не встроены практически ни в какие антропосреды, а также социосистемные деятельности. И для их дальнейшего продвижения на реальные рынки это становится первоочередной задачей.

## Литература

1. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979.
2. «Toshiba Builds 100x Smaller Micro Nuclear Reactor», Next Energy News, 7 December 2007 (<http://www.nextenergynews.com/news1/next-energy-news-toshiba-micro-nuclear-12.17b.html>).
3. Журавлев И. Голландия начинает производство летающих авто. [http://www.autonews.ru/first\\_look/news.shtml?/2007/04/06/1254932](http://www.autonews.ru/first_look/news.shtml?/2007/04/06/1254932)
4. Проект Future Vision by Philips (<http://www.design.philips.com/about/design/portfolio/researchprojects/visionofthefuture/aboutvisionofthefuture/index.page>).
5. Drexler K. Eric Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology. Anchor Books, New York, 1986.

<sup>5</sup> Серьезного упоминания заслуживают только работы У. Гибсона и Д. Симмонса. Визуальный ряд представлен только в ряде японских фантастических мультфильмов. Игровой фантастический кинематограф ничего из этой области не представляет.

<sup>6</sup> Анализ проведен автором по материалам базы EFMN и медиа-представлениям в Интернете. Общее число релевантных материалов не превышает полутора десятков; сколько-нибудь любопытные данные по нанопродуктам присутствуют только в одной (!) работе.



# Объединенный институт ядерных исследований — нанотехнологии и особая экономическая зона

**А. Н. Сисакян,**  
директор ОИЯИ, член-корр. РАН



**О**бъединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) — это единственная на территории Российской Федерации международная межправительственная научно-исследовательская организация. Особый международный статус ОИЯИ закреплен в соглашении института с Правительством России и в соответствующем федеральном законе, подписанном В. В. Путиным 02.01.2000 г.

В прошлом году ОИЯИ отметил 50-летие. Начиная с 1992 года в деятельности института наступил качественно новый этап — 18 независимых государств, среди которых 9 республик бывшего СССР, стали странами — участницами института. Кроме того, на правительственном уровне заключены соглашения о сотрудничестве с Германией, Венгрией, Италией, Южно-Африканской Республикой, а недавно — и с Сербией. Сегодня мы сотрудничаем более чем с 700 организациями в 60 странах мира, участвуем в десятках совместных проектах.

Помимо фундаментальных исследований, в ОИЯИ с начала 1990-х годов активно и в разных формах развивается инновационная деятельность. Сейчас эта работа получает новый импульс с принятием Постановления Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2005 г. № 781 «О создании на территории г. Дубны особой экономической зоны технико-внедренческого типа». Появилась реальная возможность соединить преимущества особой экономической зоны в Дубне со спецификой ОИЯИ и тем самым обеспечить эффективность технико-внедренческой деятельности в ОЭЗ.

Направленность ОЭЗ в Дубне естественным образом опирается на результаты научных исследований в ОИЯИ, соответствующих мировому уровню, — это нанотехнологии и другие ядерно-физические технологии, а также информационные технологии. На практике это означает, что ядром особой зоны на лево- и правобережном участках ОЭЗ станут те направления, где у ОИЯИ и других организаций Дубны есть уже значительный инновационный задел.

В качестве примера следует отметить ряд проектов в области нанотехнологий, уже достаточно проработанных технически и экономически и получающих финансовую поддержку из разных источников.

Во-первых, это комплекс ионно-лучевых технологий для создания новых наноструктурированных материалов на базе ускорителя тяжелых ионов DC-60. Потребителями продукции такого комплекса могут быть научные и производственные центры нанотехнологий, предприятия в сфере микроэлектроники, производства изделий медицинского назначения и др.

Преимущества предлагаемого комплекса по сравнению с мировыми аналогами заключаются в следующем:

1. Высокая интенсивность ионных пучков (от 15 до 100 трлн ионов в секунду, что превосходит аналоги в 3–10 раз).
2. Энергопотребление в 3–5 раз ниже.
3. Более 120 типов ускоряемых ионов.
4. Экологическая безопасность.

Подобный комплекс, в частности, произведен в 2006 г. в ОИЯИ по заказу Казахстана и поставлен в университет им. Л. Гумилева в Астане.

Во-вторых, это производство трековых мембран, потребителями которых являются научно-производственные центры РФ и стран СНГ (НПО «Альфа», ФГУП «Центр Келдыша», НЛП «Симпекс»), медицинские центры РФ, Beijing Fert Technology (Китай), Graiver Ltd. (США), SDK GmbH (ФРГ) и другие компании. Объем реализации этой продукции в институте составил в 2006 г. 20 млн руб. Прогноз на 2010 г. предсказывает объем рынка на уровне 200 млн руб., причем это касается только объема реализации трековых мембран. При организации производства изделий на их основе (плазморефрезаторов, фильтров питьевой воды, картриджей очистки воды и газов и т. д.) объем реализации увеличивается на 1–2 порядка.

В настоящее время среди мировых производителей трековых мембран — Whatman (Великобритания), Oxiphen (Германия) и др. — ОИЯИ занимает лидирующее положение. Дальнейшее совершенствование технологии в ОИЯИ будет вестись по линии оптимизации структурных параметров мембран и увеличения удельной производительности.

Третий проект связан с технологией производства материалов для динамически гибких и СВЧ-печатных плат, в которой в качестве несущей основы

используется модифицированная по ионно-трековой и ионно-плазменной технологии полимерная пленка.

Преимущества предлагаемых СВЧ-материалов: безадгезивная технология, слой меди от нескольких микрон, тонкий (до 1 мкм) переходный слой, стабильная диэлектрическая проницаемость в широком диапазоне частот (до 200 ГГц) при низком коэффициенте потерь, высокая термостойкость, стойкость к многократным изгибам, виброустойчивость и негорючесть.

Такие материалы необходимы для широкого спектра СВЧ-приложений, например в мобильных телефонах, устройствах беспроводного доступа к сети Internet, системах передачи данных на базе стандарта Bluetooth, устройствах позиционирования на местности, системах GPS, ГЛОНАСС и т. д.

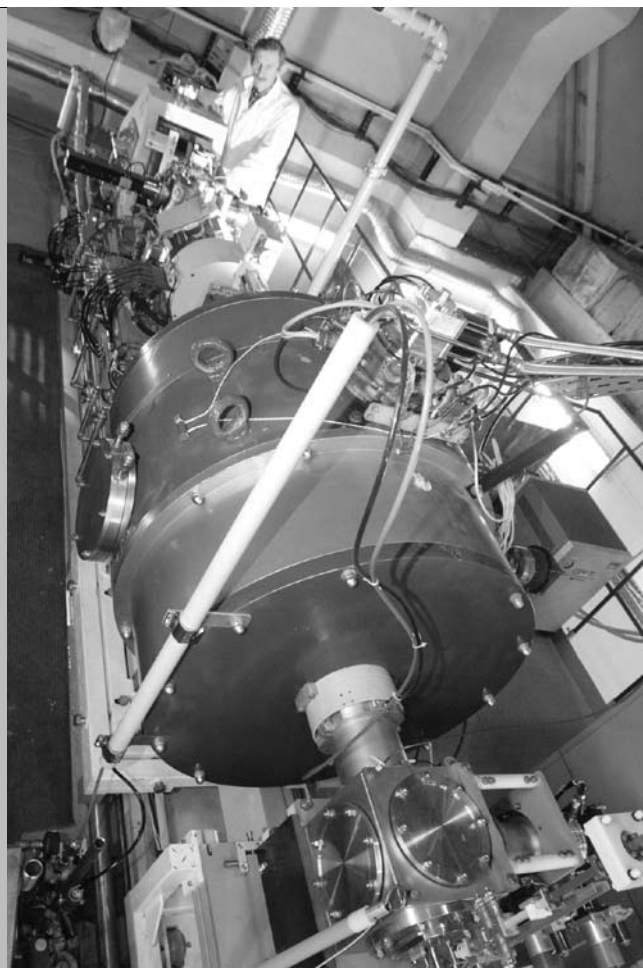
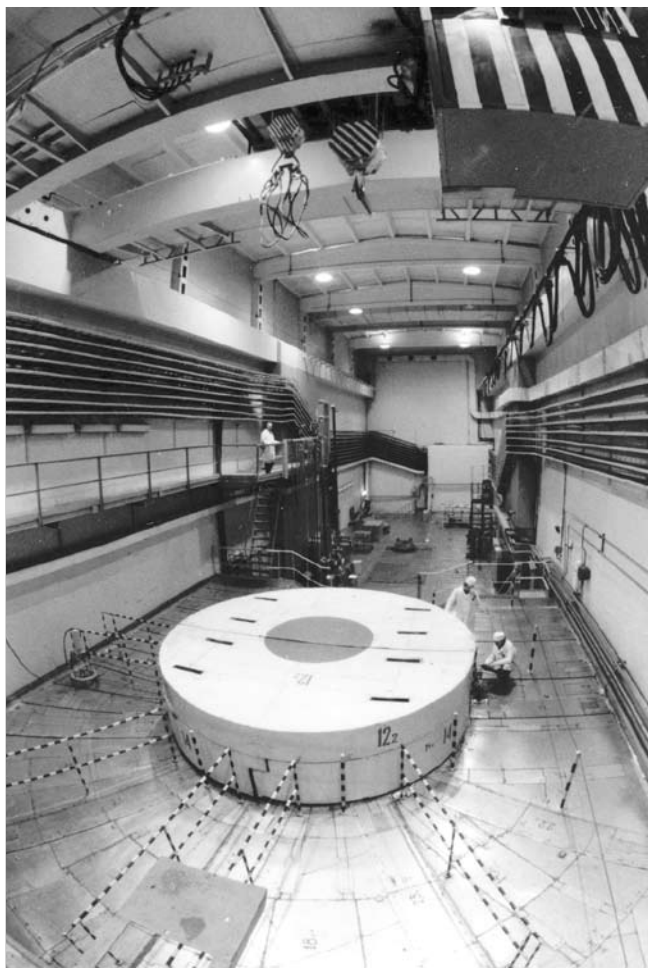
На мировом рынке печатных плат гибкие печатные платы занимают 29% от общего объема. Прогнозируемый мировой рынок с 2006 до 2008 г. увеличится на 2 млрд долл. США и составит около 10 млрд долл. США.

Четвертый проект — это нанотехнология вакуумного напыления/осаждения вентильных металлов на металлические и неметаллические рулонные подложки, которая позволяет достичь высокой емкости конденсаторной фольги с наноструктурированной пористой поверхностью.

Основными потребителями вакуумного оборудования и конденсаторной фольги являются японские компании — производители конденсаторов («Ниппон Кэми-Кон», «Ничикон», «Рубикон», «Панасоник», «Эльна», «Саньо») и конденсаторной фольги (JCC, KDK), на долю которых приходится 70% мирового рынка электролитических конденсаторов, а также конденсаторные компании Китая (Тайвань), США и Европы, российские конденсаторные заводы в Сарапуле, Воронеже, Новосибирске.

Потенциальный объем рынка вакуумных машин для изготовления наноструктурированной конденсаторной фольги оценивается в 1,5 млрд долл. США, а потенциальный объем рынка катодной и анодной фольги — 1,8 млрд долл. США. Реализация проекта позволит контролировать около 5% мирового рынка специализированного вакуумного оборудования и около 1% мирового рынка электродной фольги для электролитических конденсаторов.

В качестве бизнес-партнеров ОИЯИ в этих и других нанотехнологических проектах выступают АФК «Система», ООО «Золотая формула», IST GmbH (ФРГ), ЗАО «ВТБ Управление активами» и другие компании. В ОЭЗ «Дубна» первый резидент ОАО «Управляющая компания Дубна-Система» начинает реализацию проекта «Центр ионно-плазменных технологий».



Экспериментальные установки ОИЯИ

# О развитии нанобиотехнологии



**М. П. Кирпичников,**  
доктор биологических наук, академик,  
член Президиума РАН, декан биологического  
факультета МГУ, заведующий  
кафедрой биоинженерии



**К. В. Шайтан,**  
д. ф.-м. н., профессор,  
зам. зав. кафедры биоинженерии  
биологического факультета МГУ

**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова  
биологический факультет**

*В статье кратко изложены некоторые актуальные направления современной нанобиотехнологии. Внимание уделено вопросам адресной доставки лекарств, диагностике заболеваний, биосовместимым материалам и материалам на основе белков паутины, наноустройствам и нанороботам, самосборке нанобиоструктур, молекулярному моделированию и компьютерному дизайну нано- и биоструктур, потенциальным биологическим рискам, возникающим при использовании наночастиц и наноматериалов, проблемам подготовки кадров для нанобиоиндустрии и биоинженерии.*

*Some relevant trends of modern nanobiotechnology are described. Attention is focused on the problems of targeted drug delivery, diseases identification, biocompatible materials and materials based on spider silk proteins, nanodevices and nanorobotics, nanostructures selfassembly, molecular modelling and computer aided design of bio- and nanostructures, potential biological risks connected with using of nanoparticles and nanomaterials, problems of manpower training for nanobioindustry and bioengineering.*

**В** настоящее время во всем мире значительное внимание уделяется развитию нанотехнологий, происходит формирование организационных структур и выбор приоритетов. В нанотехнологиях представлен широкий спектр научных достижений, имеющих выходы в самые разные производства и сферы деятельности. Набрав, например, на сайте Google слово «напо» мы получим около 70 млн ссылок. На слово «nanobio» число ссылок порядка 176 тысяч. Поэтому в предлагаемой вниманию статье мы лишь кратко коснемся некоторых вопросов нанобиотехнологии, т. е. раздела нанотехнологий, который связан с биологией и медициной. Далее дан очень краткий обзор отдельных направлений нанобиотехнологии, по которым, по нашему мнению, в России уже имеется существенный задел и где можно ожидать создания конкурентоспособных технологий и продукции. Учитывая общий информационный характер статьи, мы принципиально отказались от ссылок на какие-либо специальные научные работы. Дополнительная информация общего плана может быть найдена, например, в Интернете с использованием поисковых систем.

На рис. 1 представлен далеко не полный спектр направлений развития нанобиотехнологии, которые, как мы полагаем, являются весьма перспективными.

## Адресная доставка лекарств

Одной из областей интенсивного развития нанобиотехнологии в приложении к биомедицине является разработка новых методов селективной внутриклеточной и внутритканевой доставки физиологически активных веществ. Основная идея адресной доставки показана на рис. 2.

Здесь имеется несколько направлений. Ряд наноразмерных форм углерода (фуллерены, нанотрубки) обладают хорошей проникающей способностью по отношению к биомембранам и, что весьма важно, оказываются способными преодолевать гематоэнцефалический барьер и являться транспортерами для лекарственных препаратов. Проведенные, в частности в МГУ им. М. В. Ломоносова, предварительные исследования трансмембранного транспорта наноструктур и их комплексов с биополимерами показывают принципиальную возможность создания наноустройств (наномашин) для селективного распознавания рецепторных участков на поверхности клетки и доставки в них активных субстанций, что в перспективе способно расширить терапевтические возможности лечения онкологических заболеваний, нейродегенеративных заболеваний, нейроинфекций и др. и резко снизить терапевтические дозы лекарств, минимизировав побочные эффекты.



Рис. 1. Некоторые перспективные направления развития нанобиотехнологии

Важное направление связано с микро- и нанокапсулированием биологически активных веществ (БАВ) на основе биodeградируемых полимеров, а также с использованием липосом. Разработка этой технологии проводится рядом институтов РАН,

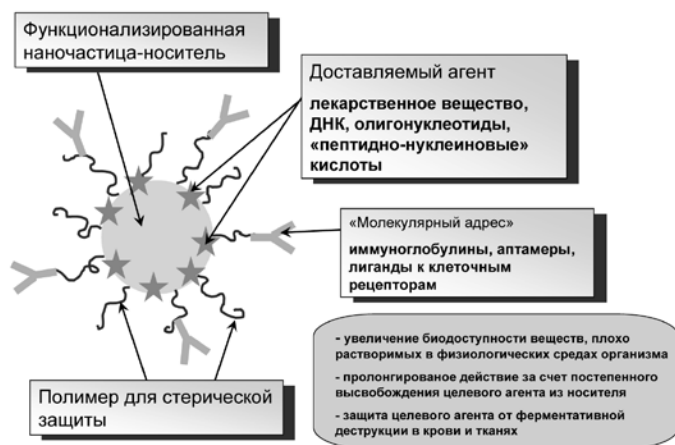


Рис. 2. Наноконструкции для селективной внутриклеточной доставки лекарств

РАМН и МГУ, что позволит в перспективе создать принципиально новые лекарственные препараты с контролируемым терапевтическим воздействием на определенные ткани и органы. Эта технология применяется для создания эффективных лекарственных систем контролируемого выведения инкапсулированных БАВ: лекарственных препаратов (в том числе нерастворимых в воде или нестабильных), пептидов и белков (имеющих функции гормонов и цитокинов), а

также генетических конструкций, несущих гены ферментов, гормонов и цитокинов. Прогресс в развитии синтеза биodeградируемых полимеров, технологии нанокапсулирования, а также методов клеточной и молекулярной физиологии и патофизиологии позволит использовать технологию создания систем контролируемого выведения БАВ на основе наночастиц из биodeградируемых полимеров для лечения раковых заболеваний, гормональных расстройств различной этиологии, атеросклероза, диабета, туберкулеза и других социально значимых болезней, а также для генной терапии широкого спектра заболеваний. Технология включения лекарственных веществ в нанокапсулы позволит использовать многие лекарственные соединения, доставка которых в органы и ткани была бы сильно затруднена из-за их нерастворимости в воде или нестабильности; эта технология позволит снизить токсичность и добиться желаемой фармакокинетики для лекарственных препаратов. Нанокапсулирование белков и нуклеиновых кислот позволит создавать системы доставки в различные ткани организма пептидных гормонов, цитокинов и генетических конструкций. Разработка способов присоединения к наночастицам лигандов направленного действия поможет доставлять биологически активные вещества в определенные ткани.

Важным моментом является также изучение транспорта нанообъектов металлической и полупроводниковой природы, а также суперпарамагнитных наночастиц для селективного разрушения клеток при электромагнитном разогреве, что важно для лечения ряда опухолей.

## Нанодиагностика патологических состояний и инфекций, нанобиосенсоры

Успехи последних лет в описании функционирования генома человека, молекулярных механизмов клеточных процессов обеспечивают основу для существенного повышения информативности медицинской диагностики. Вместо контроля немногих соединений, традиционно трактуемых как характерные маркеры для той или иной болезни, становится возможным получать надежные и информативные сведения о функционировании организма и развитии патологического процесса на основании комплексного учета уровня значительного числа соединений, тем или иным образом связанных с патологическим процессом.

В связи с этим представляется крайне важным снизить трудоемкость получения диагностически значимой информации, обеспечив тем самым возможность массового применения новых методов. Необходимые меры по обеспечению эффективности анализа должны включать сокращение объемов проб, применение единых протоколов проведения анализа, сокращение его длительности и автоматизированную регистрацию результатов. На сегодняшний день среди разработок в этом направлении доминирует создание микрочипов, в которых флуоресцентная метка, химически конъюгированная со специфическими реагентами, связывается с определенными участками подложки-носителя. Возможности анализа существенно расширяются при использовании в качестве детектируемых маркеров коллоидных наночастиц.

Варьирование состава и размеров наночастиц золота, серебра и других металлов позволяет сформировать ряд маркеров с различными спектрами поглощения. Еще большее разнообразие маркеров обеспечивается при использовании так называемых квантовых точек (quantum dots) — флуоресцирующих наночастиц на основе кадмия, цинка и других металлов. Квантовые точки с разным диаметром частиц (достигаемым посредством модификации условий синтеза) охватывают весь видимый спектр излучения, создавая эффективную основу для проведения мультианализа.

Таким образом, применение наночастиц для измерения специфических комплексов определяемого соединения (например, с помощью иммобилизации на их поверхности специфических антител) позволяет одновременно количественно определять содержание в тестируемой пробе различных соединений. Принципиальной особенностью этого подхода является возможность определять несколько соединений в одной пробе. Это позволяет не просто сократить объем пробы, но и проводить дифференциальную детекцию структурно близких соединений, способных связываться с одними и теми же рецепторными элементами.

Существенными диагностическими возможностями обладает атомно-силовая микроскопия (рис. 3, 4), используемая для детектирования комплексов биомакромолекул, например белок-антитело.

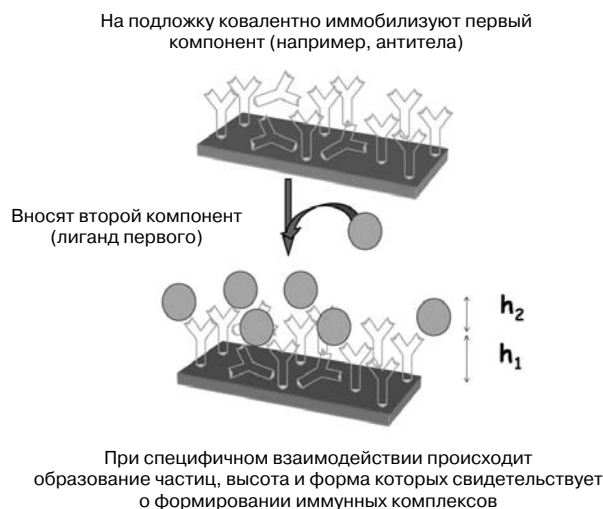
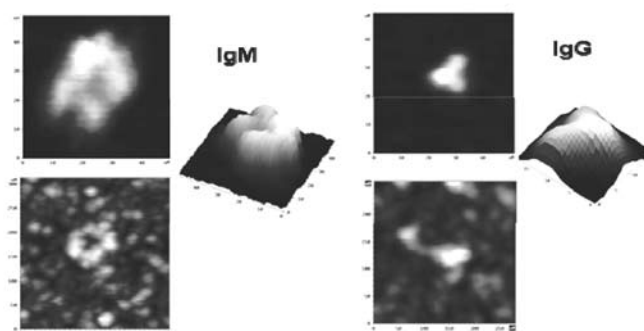


Рис. 3. Детекция комплексов антиген-антитело АСМ



Слева — иммуноглобулины IgM. Справа — иммуноглобулины IgG. Вверху — иммуноглобулины сорбированы на подложку, внизу — на антиген, сбоку — 3-Д изображение изолированной иммуноглобулина

Рис. 4. Изображения антител в свободном состоянии и иммунных комплексов, полученные с помощью атомно-силового микроскопа

Для создания высокочувствительных биосенсоров перспективна также технология, использующая биополимерные функциональные пленки в состоянии гидрогеля. Формирующаяся у них поверхностная архитектура имеет большие преимущества для использования в качестве биосенсоров в связи с чувствительностью к изменению внешних параметров среды, биосовместимостью, возможностью селективного захвата ДНК.

## Наноструктурированные биосовместимые материалы

Имеющиеся экспериментальные и клинические исследования показывают, что плазмонапыленные покрытия на поверхности имплантатов хорошо стимулируют остеоинтеграцию и являются весьма эффективным решением проблемы отторжений имплантатов. Однако покрытия на имплантатах должны обладать комплексом часто взаимоисключающих свойств: высокой адгезией, пористостью, развитой морфологией,

хорошей биосовместимостью. Эти условия достигаются применением слоистых наноструктурированных покрытий. Известно, что формирование заданных свойств материалов возможно путем создания условий образования самоорганизующихся структур нанодиапазона. Однако применительно к процессам плазменного напыления биопокрытий на имплантаты условия формирования наноструктур мало изучены. Между тем, переход на новый уровень взаимодействия искусственных (имплантат с покрытием) и естественных (костная ткань) материалов позволил бы качественно улучшить процесс остеоинтеграции имплантатов и повысить биологичность контакта имплантата и костного ложа. Поэтому важно совершенствовать методы и технологии получения биопокрытий, а также находить новые способы формирования заданных свойств материалов. Необходимо также совершенствовать исследовательские комплексы для получения достоверной базы знаний о таких сложных многофакторных процессах путем изучения влияния на механические и физико-химические свойства формируемых покрытий наноструктурных образований.

Большой интерес представляют биосовместимые материалы на основе белков паутины пауков-кругопрядов (спидроин 1 и спидроин 2), которые формируют в железах паука волокна, состоящие из нанофибрилл. Эти молекулярные конструкции, отобранные природой в процессе эволюции, способны подсказать нам удачные решения многих технических проблем. Паутинное волокно обладает уникальными свойствами и огромным инновационным потенциалом в самых различных областях промышленности. Вязко-эластичным нитям каркасного шелка пауков свойственны одновременно высокая прочность на разрыв, превышающая сталь и сопоставимая с кевларом, и высокая эластичность. Это приводит к очень высоким значениям энергии разрыва, по которым этот материал не имеет аналогов среди других природных и искусственных материалов.

Белки паутины имеют очень интересную структуру. Имеется чередование гидрофильных и гидрофобных сегментов, что крайне важно для обеспечения растворимости и регулирования агрегации молекул, которая ведет к формированию нанофибрилл, а именно наличие нанофибрилл беспечивает уникальные механические свойства этой нити. Молекулярное моделирование структуры нанофибрилл, проведенное на кафедре биоинженерии биологического факультета МГУ, показало, что высокая энергия разрыва обусловлена, по-видимому, формированием суперспиралей из бета-слоев богатых полиаланиновыми вставками спидроинов (рис. 5).

Есть первые результаты, которые свидетельствуют о принципиальной возможности получения на основе рекомбинантных аналогов белков паутины искусственных нитей и пленок, по своим свойствам сопоставимых с природными нитями, а также о возможности разработки технологии создания биосовместимых материалов с уникальными свойствами.

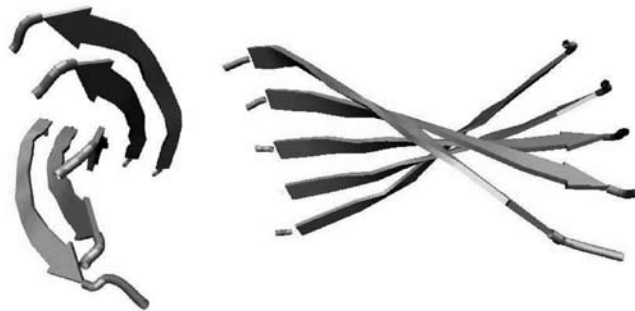


Рис. 5. Формирование суперспирали из бета-слоев полиаланиновых фрагментов спидроинов

## Молекулярные машины, самосборка нано- и нанобиоструктур, молекулярное моделирование и дизайн функциональных наноструктур и их комплексов с биополимерами

Сейчас все чаще говорят о наномире, о закономерностях наномира, о его практическом использовании. Хотелось бы подчеркнуть большую общность наномира. В частности, основные «кирпичики», из которых построены живые организмы, являются яркими представителями этого наномира. Ферменты, рецепторы, ионные каналы, ДНК, РНК, рибосомы, молекулярные моторы и множество других составляющих клетки и организма в целом являются в смысле своего размера наночастицами, но при этом чрезвычайно «умными» и, с функциональной точки зрения, очень рационально сделанными нанообъектами.

Несколько слов о возможностях нанобиотехнологии для молекулярной электроники. Биоэлектроника или биооптоэлектроника как раздел молекулярной электроники пытается применить биоструктуры, в первую очередь белки или их модифицированные аналоги, в качестве управляемых светом модулей компьютерных и оптических устройств. Основное требование к биологическим модулям (чипам) состоит в том, что в ответ на физическое воздействие — свет — они должны обратимо изменять свою конформацию и образовывать, по крайней мере, два дискретных состояния. Эти состояния должны различаться легко измеряемыми параметрами, например спектрами поглощения.

Наиболее вероятными кандидатами на роль таких чипов являются светочувствительные мембранные белки, иницирующие и обеспечивающие работу сложнейшей молекулярной «машинерии» двух основных фотобиологических процессов — зрения и фотосинтеза. Конкретно речь идет о молекулах зрительного пигмента родопсина и бактериородопсина — белка из галофильных микроорганизмов.

Оба эти белка обладают фотохромизмом и могут рассматриваться как основа для создания фотохромных материалов (чипов) биооптоэлектроники.

Бактериородопсин в отличие от других биологических структур имеет достаточно высокую тепловую и химическую стабильность, чтобы стать



первым, но отнюдь не последним светочувствительным материалом биологического происхождения, пригодным для промышленного применения в оптоэлектронных устройствах.

Впечатляющим примером тому может служить недавнее сообщение о разработке принципиально нового носителя информации, который позволяет записывать на обычный лазерный диск до 50 терабайт информации, то есть приблизительно в десять тысяч раз больше, чем на традиционный DVD. Этим новым носителем информации является бактериородопсин.

В качестве ячейки, хранящей один бит информации, используются два состояния бактериородопсина, которые могут переходить одно в другое под действием света определенной длины волны. При этом речь идет не об обычном (дикий тип), а генетически модифицированном бактериородопсине, обладающем исключительно высокой термо- и химической стабильностью. Оба состояния молекулы бактериородопсина могут сохраняться неограниченно долго — по крайней мере, несколько лет. Это позволяет записывать при помощи лазера на молекулы белка информацию в виде двумерной или линейной последовательности нулей (исходное состояние бактериородопсина) и единиц (продукт его фотопревращения), а затем сохранять и считывать ее.

Принципы организации биологических систем являются весьма эффективными и эволюционно отобранными для создания устройств нанометрового размера с заданной функцией. Объективно использование этих принципов в нанотехнологиях находится в стадии поисковых разработок. Вместе с тем, уже сейчас понятно, что проектирование и создание молекулярных машин, использующих энергию химических реакций (или изменения состава среды) для выполнения элементарных функций — фотопереклюкателей, перемещения молекулярного объекта, создания разности потенциалов, развития тягового усилия, является реальной задачей. Это направление считается, в частности, приоритетным для европейской программы развития нанотехнологий.

В России накоплен значительный опыт в детальном изучении молекулярных механизмов элементарных биохимических и биофизических процессов (диффузии лигандов, переносе электрона, переносе протона, конформационных перестроек при химических превращениях, фермент-субстратных взаимодействиях, работе ионных каналов и др.), развита динамическая теория электронно-конформационных взаимодействий как основы для функционирования молекулярных машин, развиты основы молекулярного моделирования и дизайна наноструктур. Широкое признание получили работы по физической теории самоорганизации белковых структур. Это делает весьма вероятным реализацию прорывных работ по созданию молекулярных машин и функциональных наноструктур и получению конкурентных преимуществ в этой области.

В связи с проблемой создания наноструктур, нанороботов и т. п. нельзя не остановиться и на вопросах молекулярного моделирования и молекулярного дизайна нано- и нанобиоструктур. Стремительное развитие компьютерной техники, широкая в ближайшей перспективе доступность суперкомпьютеров и накопление надежных данных о межатомных и межмолекулярных взаимодействиях делает вычислительные эксперименты с нано- и биоструктурами источником объективной информации об их физико-химических свойствах. Причем получаемый в численных экспериментах уровень детализации процессов с участием наноструктур является максимально подробным. Относительно низкая стоимость вычислительных экспериментов по сравнению с их реальными аналогами делает методы молекулярного моделирования основным инструментом проектирования нано- и нанобиоструктур.

На рис. 6 приведен пример самосборки наноприцы, состоящего из углеродной нанотрубки и полиаланина. Эта система была предложена для адресной доставки БАВ и рассчитана методами молекулярной динамики на кафедре биоинженерии биологического факультета МГУ. С фундаментальной точки зрения, данная система интересна как фактически первый пример самосборки функционального нанобиоустройства (наноробота). Молекула полипептида, адсорбированная на внешней поверхности нанотрубки (закрытой с одного конца), за счет тепловых флуктуаций самопроизвольно упаковывается внутрь нанотрубки в конформации, близкой к альфа-спирали. То есть происходит заряджение наноприцы. Если в нанотрубку предварительно была упакована молекула (молекулы), которые при внешнем воздействии распадаются или резко увеличивают занимаемый объем, то происходит своеобразный «выстрел» и система работает как нанопушка. На рис. 7 показан результат

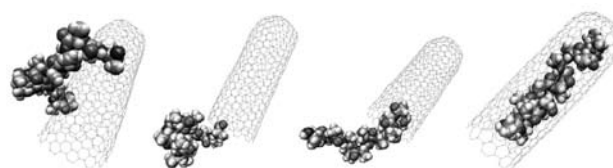


Рис. 6. Последовательные стадии самосборки наноприцы



Рис. 7. Последовательные стадии воздействия нанопушки на биомембрану. «Точки» сверху и внизу биомембраны — молекулы воды. Сферы — продукты распада молекулы (взрывчатого вещества)



численного эксперимента по воздействию нанопушки на биологическую мембрану: молекула полипептида проникает за короткое время в биомембрану. Обвешивая устье поры нанотрубки лигандами, специфически к определенным рецепторам на поверхности клетки, можно, в принципе, добиться селективности при доставке БАВ (в данном случае полипептида).

## **Потенциальные риски от использования наночастиц и наноматериалов**

Нас окружает огромное множество наночастиц, которые являются продуктом обычной человеческой деятельности, и большинство из них, по-видимому, относительно безвредны. Вместе с тем, в настоящее время надежно установлено, что в наноразмерном состоянии многие вполне безобидные вещества становятся в биологическом отношении весьма активными и во многих случаях сильно токсичными. Хорошо известны примеры асбеста, оксидов урана, фуллеренов и многих других наночастиц. Однако до сих пор нет систематических исследований о природе токсичности (и канцерогенности) наночастиц, нет сертифицированных технологий определения данного типа токсичности, нет (за редким исключением) соответствующих санитарных и гигиенических норм использования наноматериалов. На это недавно обратил внимание Роспотребнадзор (письмо от 02.06.2007 № 0100/4502-07-32).

Отметим основные факторы, обуславливающие потенциальные риски от использования наночастиц и наноматериалов:

- небольшой размер и способность проникать через барьеры (в т. ч. гематоэнцефалический);
- большая удельная поверхность;
- аномальная реакционная способность (генерация свободных радикалов);
- облегчение проникновения молекул других веществ;
- особенности метаболизма (макрофаги «не видят» размеры  $< 70$  нм);
- постоянство к накоплению ряда наночастиц.

Вопросы биологических (а также экологических) рисков при использовании наноматериалов являются важными при прогнозировании эффективности внедрения нанотехнологий. Необходимо также учитывать и возможное влияние наночастиц и наноматериалов на общее состояние дел с обеспечением биологической и химической безопасности как одного из важнейших направлений укрепления национальной безопасности Российской Федерации, изложенных в «Основах государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу» (утверждено Президентом Российской Федерации 4 декабря 2003 года № ПР — 2194). Особое значение имеет химическая и биологическая безопасность в современных условиях

ввиду усиления террористических проявлений, которые могут быть направлены на селективное воздействие на биологические системы и организмы.

Анализ современного состояния показывает, что, с одной стороны, на основе научных разработок в области нанотехнологий создаются новые «прорывные» эффективные технологии и материалы. С другой стороны, развитие нанотехнологий может привести к созданию нового класса химического и биологического оружия, использующего свойства наночастиц. В настоящее время не существует систематических методов детектирования наночастиц в окружающей среде и биологических объектах. Поэтому развитие технологий для определения рисков от использования наночастиц и наноматериалов, их сертификации по этому признаку имеет важнейшее значение не только для развития новых отраслей промышленности, но и с точки зрения обеспечения национальной безопасности. Следует иметь также в виду, что вопросам нанорисков в последние несколько лет во всем мире стало уделяться пристальное внимание, создаются национальные программы, неправительственные и международные организации по данной проблеме, издается специальный журнал Nanorisk.

Отметим, что вопросы возникающих рисков от использования конкретных наночастиц должны серьезно и методично исследоваться в специальных лабораториях, а непрофессиональные обобщения в этом вопросе не имеют под собой оснований.

В настоящее время на основе разработок ряда институтов РАН, РАМН, МГУ и др. имеются все предпосылки для быстрой и эффективной разработки технологий определения потенциальных рисков от использования наночастиц и наноматериалов.

## **Развитие образовательного компонента по нанобиотехнологии**

Развитие нанобиотехнологии, интегрирующей знания и навыки из многих дисциплин в новом сочетании требует проведения определенных мероприятий по подготовке специалистов. Прежде всего, это ориентация на мультидисциплинарное фундаментальное образование, сочетающее наряду с биологическими дисциплинами серьезную подготовку в области химии, физической химии, молекулярной физики, информатики и биоинформатики. Для этого необходимо создание оригинальных спецкурсов, спецпрактикумов, магистерских образовательных программ. Здесь может быть использован опыт МГУ им. М. В. Ломоносова, МФТИ и ряда научно-образовательных центров. Так, на биологическом факультете МГУ в рамках Национального проекта «Образование» разработана инновационная магистерская программа «биоинженер — менеджер».

Одной из задач проекта «биоинженер — менеджер» является разработка механизма подготовки кадров, находящихся на острие научно-технического прогресса и способных восполнить имеющийся кад-

ровый дефицит. Эта магистерская программа имеет своей целью подготовку кадров для организации исследований и инновационного процесса в наиболее быстро развивающихся областях биологии, биоинженерии, биотехнологии и нанобиотехнологии. При этом нужно иметь в виду, что магистратура — это лишь первая ступень в формировании высококвалифицированного специалиста. За два года обучения невозможно вложить в него все то, что нужно в современной биоинженерии и нанобиотехнологии. Поэтому важно научить будущего специалиста учиться как современным научным достижениям в выбранной области, так и дать ему организационные и экономические навыки. Для этой цели в рамках подпроекта был разработан достаточно обширный пул спецкурсов и спецпрактикумов, ориентированных на достижение поставленной цели. Нам представляется целесообразным введение достаточно гибкого учебного плана, в рамках которого была бы увеличена доля предметов по выбору заказчика специалиста. В целом, учитывая серьезные материальные издержки вуза при подготовке специалистов в области современной биоинженерии и нанобиотехнологии, представляется логичным готовить таких специалистов в основном целевым образом по заказам предприятий.

## Заключение

Невозможно в одной статье осветить даже в минимально необходимом объеме проблемы развития нанобиотехнологии. Мы коснулись лишь очень ограниченного круга вопросов, лежащих, что называется, на поверхности. Однако уже сейчас понятно, сколь велики и масштабны могут быть последствия прогресса в этой сфере. Сейчас вопросов больше, чем ответов. Но развитие науки в этой сфере происходит очень быстро. Велика будет роль фундаментальной науки в понимании общих закономерностей взаимодействия искусственных наноструктур с биологическими объектами. Огромное значение будет иметь инновационный бизнес, аккумулирующий научные достижения и переводящий их в нужные конечные продукты. Роль образования, подготовки кадров как для фундаментальных исследований, так и для инновационного бизнеса трудно переоценить, особенно в ближайшей перспективе. И уже сейчас понятно, что в этом направлении предстоит очень серьезная работа. Развитие нанотехнологий и, в частности, нанобиотехнологий, несомненно, будет являться мощным локомотивом всего прогресса в ближайшие десятилетия.

## Наблюдательный совет утвердил научно-технический совет (НТС) ГК «Роснано» в составе:

- **АВДЕЕВ ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ** — заведующий лабораторией химии углеродных материалов МГУ им. М. В. Ломоносова, директор НПО «Унихимтек»;
- **АЛФИМОВ МИХАИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ** — директор Центра фотохимии РАН;
- **АСЕЕВ АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ** — директор института физики полупроводников СО РАН;
- **БЕЛЯЕВ ИВАН ИВАНОВИЧ** — референт аппарата Совета Безопасности Российской Федерации;
- **БЕТЕЛИН ВЛАДИМИР БОРИСОВИЧ** — директор Научно-исследовательского института системных исследований РАН;
- **ГИНЦБУРГ АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ** — директор Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи РАМН, вице-президент РАМН;
- **КАБЛОВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ** — Генеральный директор Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (ФГУП ВИАМ);
- **КОПТЕВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ** — директор Департамента оборонно-промышленного комплекса Минпромэнерго России;
- **ЛИВАНОВ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ** — ректор Московского института стали и сплавов;
- **ЛОКШИН МОИСЕЙ АБРАМОВИЧ** — заместитель генерального конструктора КБ «Сухой» по науке;

- **НАРАЙКИН ОЛЕГ СТЕПАНОВИЧ** — заместитель директора РНЦ «Курчатовский институт»;
- **ПИВНЮК ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ** — вице-президент ОАО ГМК «Норильский никель»;
- **ПУТИЛОВ АЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ** — директор ГНЦ ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара»;
- **СЕВЕРИНОВ КОНСТАНТИН ВИКТОРОВИЧ** — заведующий лабораторией Института молекулярной генетики РАН;
- **СКРЯБИН КОНСТАНТИН ГЕОРГИЕВИЧ** — член Совета при Президенте Российской Федерации по науке, технологиям и образованию, председатель Научного совета по биотехнологии РАН;
- **СТРИХАНОВ МИХАИЛ НИКОЛАЕВИЧ** — ректор Московского инженерно-физического института;
- **ФОРТОВ ВЛАДИМИР ЕВГЕНЬЕВИЧ** — директор Института теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур (ОИВТ) РАН;
- **ШЕВЧЕНКО ВЛАДИМИР ЯРОСЛАВОВИЧ** — директор Института химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН;
- **ШИШКИН ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ** — помощник Президента РАМН;

Научно-технический совет, в соответствии с федеральным законом № 139-ФЗ от 19 июля 2007 г. осуществляет предварительное рассмотрение проектов в сфере нанотехнологий и подготавливает рекомендации правлению Корпорации о целесообразности или нецелесообразности их финансирования за счет средств Корпорации. Также

НТС проводит рассмотрение отчетов о ходе реализации проектов и подготавливает рекомендации о целесообразности прекращения их финансирования за счет средств Корпорации в случае, если в ходе реализации проекта получены результаты, свидетельствующие о невозможности достижения его целей.

# Инновационные аспекты разработки нановакцин и диагностических тест-систем



**А. Л. Гинцбург,**  
профессор, академик РАМН,  
вице-президент РАМН,  
директор института



**В. Г. Лунин,**  
к. б. н., заведующий  
лабораторией биологически  
активных наноструктур



**А. С. Карягина,**  
д. б. н., ведущий научный  
сотрудник лаборатории  
биологически активных  
наноструктур

**Государственное учреждение Научно-исследовательский институт  
эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи  
Российской академии медицинских наук**

Разработка новых технологий и подходов для создания безопасных, дешевых и высокоэффективных поливалентных вакцин является одной из важнейших задач современной медицинской науки. Мы предлагаем новый нанобиотехнологический подход производства вакцин, основанный на самосборке белковых компонентов на полисахаридной матрице. Использование аффинной самосборки лежит в основе высокоэффективной технологии одностадийной очистки и иммобилизации белка и конструирования нановакцины. Технология практически безынструментальна и характеризуется существенным удешевлением стоимости производства компонентов нановакцин и диагностикумов. Ожидается, что использование данной технологии приведет к повышению качества средств профилактики, лечения и диагностики инфекционных и онкологических заболеваний. На основе предлагаемой технологии в первую очередь будут разработаны вакцины для профилактики коклюша, дифтерии и столбняка, листериоза, лептоспироза, а также многосайтовые тест-системы для одновременного определения в крови специфических антител к инфекцион-

ным агентам вышеперечисленных особо опасных и социально значимых инфекций.

*Development of new technologies and approaches for construction of safe, low cost and high effective polyvalent vaccines is of current importance. We present a new nanobiotechnological approach based on self assembling of protein components on polysaccharide matrix for vaccine production. Usage of affinity selfassembling technology will result in development of high effective onestage process of protein immobilization and purification and nanovaccine construction, which does not require any special equipment, and in essential reduction of prices for production of nanovaccines and testsystems components. This will stimulate the improvement of existing means for prophylaxis, medical treatment and diagnostics. Based on the proposed technology the vaccines for prophylaxis of whooping cough, diphtheria and tetanus, listeriosis, leptospirosis, as well as multisite testsystems for detection in blood of specific antibodies to the infection agents of cited dangerous and socially important diseases will be created.*

Вакцины являются самым эффективным средством предупреждения инфекций. По данным Глобального альянса по вакцинам и иммунизации (GAVI), в год в мире регистрируется 14 млн смертей, связанных с инфекциями, из них около 3 млн обусловлены заболеваниями, которые могли быть предупреждены вакцинацией. В усло-

виях массовой иммунизации увеличивается объем и спектр используемых вакцинных препаратов, снижается заболеваемость соответствующими инфекциями (CDC, США) (табл. 1).

В то же время некоторые вакцинные препараты, дающие широкий спектр осложнений, дискредитируют саму идею вакцинации и затрудняют массовое

Таблица 1

*Сравнение частоты заболеваний, предупреждаемых с помощью вакцин, и побочных эффектов вакцинации в США (данные СДС, Chen R.T, 2002).*

Заболевание	Число случаев заболеваний в год в довакцинальную эру	% снижений заболеваний к 2001 г.	Число случаев ПВО* в 2001 г.
Дифтерия	175 885	99,99	2
Корь	503 282	99,98	108
Эпидемический паротит	152 209	99,80	226
Коклюш	147 271	96,30	5420
Паралитический полиомиелит	16 316	100	0
Краснуха	47 745	99,95	20
Синдром врожденной краснухи	823	99,8	2
Столбняк	1 314	97,9	27
Гемофильная инфекция тип В у детей до 5 лет	20 000	98,6	290
ВСЕГО случаев	1 064 854	99,43	6 095
ПВО (побочные эффекты вакцинации)	0		6095

\*ПВО — поствакцинальные осложнения

проведение прививок (табл. 2). Как видно из таблицы 2, иммунизация вакцинным препаратом, предупреждающая заболевания коклюшем, дифтерией и столбняком (АКДС), наиболее часто приводит к тяжелым поствакцинальным осложнениям.

Данная вакцина состоит из инаktivированного патогена — коклюшной палочки и двух очищенных инаktivированных токсинов белковой природы — столбнячного и дифтерийного. При этом наиболее реактогенным компонентом АКДС следует признать инаktivированную коклюшную палочку. Это связано с тем, что инаktivированный патоген — полноразмерная клетка бактерии, кроме вакцинноценных компонентов, на которые возникает иммунный ответ, несет на поверхности большое количество соединений, не нужных для формирования иммунитета и даже опасных для организма (рис. 1).

В соответствии с действующим в России календарем прививок (приказ Минздрава РФ № 229 от 27.06.2001 г.) АКДС является самой частой по применению вакциной. В возрасте до 18 месяцев вакцинацию проводят 4 раза. В 7 и 14 лет проводят вакцинацию против дифтерии и столбняка. Взрослым рекомендуется проводить такую вакцинацию каждые 10 лет.

Таким образом, проведение вакцинации АКДС в полном объеме и, возможно, распространение ее на более старшие возрастные группы является насущ-

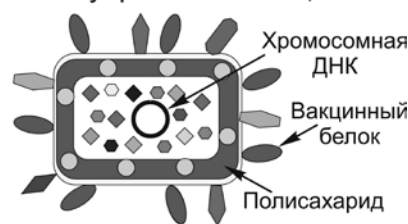
ной необходимостью. Однако улучшить ситуацию с реактогенностью вакцины АКДС традиционными методами нельзя. Возможный вариант решения проблемы связан с конструированием вакцины, содержащей вместо инаktivированной бактерии очищенные белковые компоненты коклюшной палочки, вызывающие защитный иммунитет.

Таблица 2

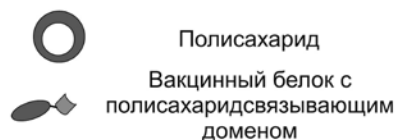
*Частота серьезных побочных эффектов вакцинации (данные ВОЗ, 2001)*

Вакцина	Клинические проявления	Частота
БЦЖ	Лимфаденит Остеит Диссеминированная БЦЖ инфекция	<b>1:1000 — 1:10 000</b> 1:3000 — 1:100 000 000 ≈ 1:1 000 000
Гепатит В	Анафилаксия	1: 6–900 000
Корь, краснуха, паротит	Фебрильные судороги Тромбоцитопения Тяжелые аллергические реакции Анафилаксия Энцефалопатия	<b>1: 3000</b> <b>1: 30 000</b> 1:100 000 ≈ 1: 1 000 000 < 1:1 000 000
Живая полиомиелитная вакцина	Вакциноассоциированный полиомиелит ■ для первой дозы и иммунодефицитных лиц ■ для последующих доз	1:2,4–3,3 000 000 1:750 000 1: 1 000 000
Столбняк	Неврит плечевого нерва Анафилаксия	0,5–1:1 000 000 1:1 000–1:2,5 000 000
АКДС	Пронзительный крик Судороги Гипотензивно-гипореспонсивный эпизод Анафилаксия Энцефалопатия	<b>1:15–1000</b> <b>1:1750–1:12 500</b> <b>1:1000–1:33 000</b> <b>1:50 000</b> 1–1:1 000 000

Традиционная инаktivированная или аттенуированная вакцина



Вакцинные компоненты



Субъединичная нановакцина



Рис. 1. Принципы конструирования субъединичных нановакцин

По данным международной организации «Всемирный союз по вакцинам и иммунизации», в настоящее время отсутствуют эффективные вакцины для предупреждения таких болезней, как СПИД, туберкулез и малярия, от которых только в 2005 г. умерло около 5 млн человек. Многие используемые вакцины, подобно АКДС, несомненно, нуждаются в модернизации с использованием современных биотехнологических подходов, что может существенно снизить возможность осложнений, связанных с их применением. Кроме того, в последнее десятилетие увеличилась заболеваемость, обусловленная теми инфекциями, с которыми человечество ранее успешно боролось. Этому способствовало появление лекарственно устойчивых форм микроорганизмов, увеличение числа пациентов с иммунной недостаточностью, увеличение миграции населения и др.

Объем продаж мирового рынка вакцин в 2004 г. составил 9,9 млрд долларов США. В последние годы во многих странах мира проводится интенсивная разработка принципиально новых вакцин. Считается, что в ближайшие годы вакцинный сектор фармацевтической промышленности будет интенсивно развиваться и через 10 лет составит 30 млрд долларов США.

Хотелось бы подчеркнуть еще один аспект использования традиционной технологии производства вакцин. Традиционная технология связана с выращиванием и культивированием патогенных микроорганизмов — источников вакцинных компонентов, что определяет необходимость обеспечения особых условий безопасности, для культивирования штаммов требуются дорогие питательные среды или специальные дорогостоящие куриные эмбрионы, выделение и очистка компонентов производится на основе сложных многостадийных процессов, требующих дорогого оборудования и сорбентов. При этом имеются многочисленные данные, свидетельствующие о том, что большинство поствакцинальных осложнений связано с недостаточной степенью очистки препаратов от яичных белков, компонентов клеток бактерий и вирусных частиц, а также антибиотиков, используемых в технологическом процессе наращивания патогенных штаммов.

Как в России, так и за рубежом имеется тенденция создания вакцин нового типа, так называемых субъединичных (нано) вакцин. Белковые компоненты таких вакцин получают на основе технологии рекомбинантных ДНК. При этом гены интересующих антигенов клонируют в непатогенные микроорганизмы (бактерии, дрожжи) и таким образом создают непатогенные продуценты рекомбинантных вакцинных белков. Примером такой вакцины является вакцина против гепатита Б, основной компонент которой — поверхностный антиген — производится в дрожжах. Очистка вакцинноценных компонентов от балластных дрожжевых белков, ДНК и РНК клетки-хозяина и токсичных липополисахаридов (в случае бактериального синтеза), а также формулирование этих компонентов в максимально иммуногенной и безопасной

форме представляет собой сложный многостадийный процесс. Нарботка компонентов диагностикумов — также достаточно сложный технологический процесс.

В процессе производства современных конъюгированных вакцинных препаратов и диагностикумов используются различные подходы для иммобилизации белков, как правило, основанные на химической пришивке. Эти подходы также многостадийны, трудоемки, дорогостоящи и небезопасны, с точки зрения обеспечения экологической безопасности производства.

В институте эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи Российской академии медицинских наук предложен принципиально новый подход получения компонентов нановакцин и диагностикумов. Инновационным аспектом данного подхода является разработанная учеными института технология очистки рекомбинантных (генно-инженерных) белков путем их спонтанного связывания и иммобилизации на полисахаридсодержащих носителях (сорбентах). Способность связываться с такими сорбентами придает рекомбинантным белкам встроенный в них специальный белковый модуль — полисахаридсвязывающий домен (ПСД). ПСД самопроизвольно и высокоэффективно взаимодействует с полисахаридсодержащими сорбентами по принципу «ключ к замку». При этом исходные антигенные свойства второго (основного) домена рекомбинантного белка при присоединении ПСД не нарушаются. Схема строения двухкомпонентного белка и его взаимодействия с полисахаридной матрицей (сорбентом) показана на рис. 2. Двухкомпонентные рекомбинантные белки

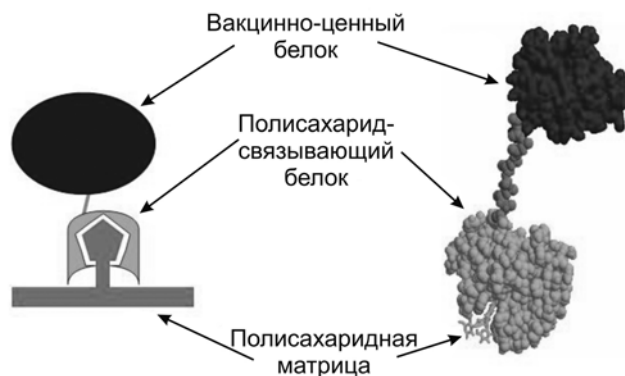


Рис. 2. Схема строения двухкомпонентного белка и его взаимодействия с полисахаридной матрицей (сорбентом). Справа показана пространственная структура (шариковая модель) рекомбинантной конструкции, состоящей из вакцинного белка-антигена, соединительного стейсера и полисахаридсвязывающего белка

нарабатываются с использованием непатогенных лабораторных штаммов бактерий. Использование технологии ПСД позволяет сделать процесс иммобилизации и очистки белковых антигенов — компонентов вакцин и диагностикумов — одностадийным и практически безынструментальным. Способ получения

свободных и иммобилизованных белков на основе технологии ПСД оригинален, высоко технологичен и получил высокую оценку при обсуждении с экспертами различных научно-исследовательских центров и компаний-производителей. Кроме того, технология ПСД обеспечивает экологическую безопасность производства, поскольку при этом снимается необходимость использования патогенных штаммов бактерий и вирусов и токсичных химических реагентов.

Предлагаемые для использования в качестве сорбентов полисахариды и продукты их модификации обладают низкой стоимостью и многообразием форм: сферическая, линейная, пленочная. Технологии получения различных форм сорбентов из целлюлозы, хитина, хитозана, различных видов гликанов достаточно просты и эффективны. Аффинное взаимодействие ПСД с соответствующим сахаросодержащим полимером характеризуется высокой прочностью, стабильным контактом в течение продолжительного срока в широком диапазоне растворов с различной концентрацией соли, кислотностью (рН 4-11) и температурой (0-70°С).

Следующие свойства наночастиц из полисахаридов позволяют считать их перспективными, с точки зрения использования в качестве адьюванта для вакцин, усиливающего их иммуногенные свойства:

- Препараты полимерных полисахаридов нетоксичны, биосовместимы и биodeградируемы в организме человека.
- Полимерные сахара (хитин, глюкан, пептидогликан) или их производные обладают иммуномодулирующей активностью, связанной (а) с наличием специализированных рецепторов на поверхности клеток человека, распознающих их структуру и запускающих неспецифический иммунный ответ воспалительного типа, и (б) со способностью доставлять вакцинный компонент к клеткам иммунной системы.
- Вакцинный белок-антиген, имеющий в своем составе ПСД, связывается с сорбентом очень прочно, но не ковалентно. Это способствует постоянному, но медленному выходу антигена из комплекса с сорбентом за счет естественной диссоциации, обеспечивая тем самым пролонгированное взаимодействие компонентов вакцины с иммунной системой организма (депонирование), достаточное для индукции напряженного и продолжительного иммунного ответа.
- Специфическое взаимодействие ПСД с сорбентом может обеспечить очень высокую плотность упаковки белка-антигена на микрочастицах, что, в свою очередь, позволит уменьшить объем препарата для вакцинации и снизить вероятность возникновения нежелательных побочных реакций.
- Использование для иммунизации наночастиц полимерных сахаров, сравнимых по размерам с микробными частицами, с прикрепленными к ним антигенами должно способствовать усиле-

нию иммунного ответа за счет эффекта «укрупнения — полимеризации» вакцинного компонента.

В природе размер микробных частиц варьирует от размеров вирусов (40 нм и больше) до размеров самых крупных бактерий и грибов (1000 нм и больше). Частицы именно такого размера организм человека воспринимает в качестве мишеней, на которые должно быть направлено действие иммунной системы.

Предлагаемый подход состоит в создании нанометровых вакцинных конструкций — нановакцин, которые содержат вакцинноценные белки, представленные во множестве копий на поверхности частиц размером 40–100 нм (рис. 1). Такие вакцинные наночастицы будут обладать безопасностью очищенных и синтетических вакцин и эффективностью, сравнимой с убитыми и даже живыми вакцинами.

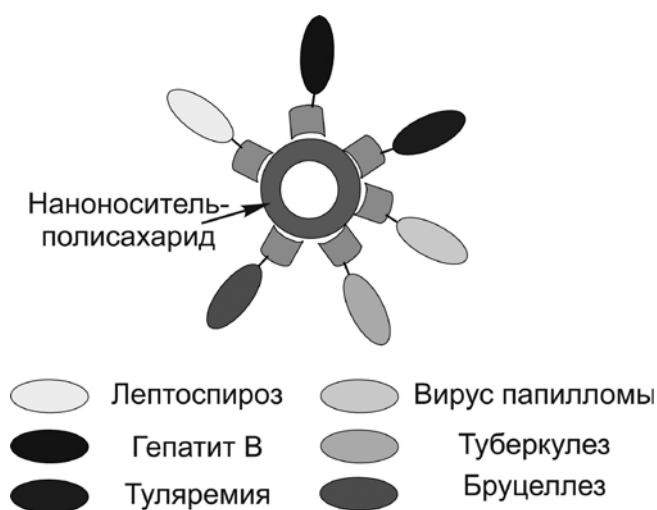


Рис. 3. Принцип конструирования поливалентных нановакцин

Хотелось бы подчеркнуть, что предлагаемая технология получения нановакцин позволяет создавать поливалентные препараты вакцин, защищающие одновременно от широкого спектра социально значимых или особо опасных заболеваний (рис. 3). Технология чрезвычайно лабильна и ввиду модульности компонентов позволяет легко модифицировать формулу вакцины в зависимости от конкретной эпидемиологической ситуации. Это придает такому способу получения вакцин особые преимущества при создании вакцин к патогенам с быстро меняющимися антигенными свойствами, например к вирусу гриппа.

Следует отметить, что иммунизация, основанная на применении сахаросодержащих сорбентов, впервые в мире была предложена А. Е. Гурвичем, работавшим в институте им. Н. Ф. Гамалеи с 1961 по 1986 год. Им впервые были химически пришиты к целлюлозе, крахмалу и сефарозе вакцинные белки бактерий и изучены свойства полученных конъюгатов для стимуляции синтеза антител. Таким образом, именно в институте им. Н. Ф. Гамалеи выполнены пионерские работы в данной области.

Данная технология может быть также использована для разработки нового поколения иммунологических диагностикомов — белковых биочипов, основанных на присоединении к подложке из целлюлозы рекомбинантного белка, состоящего из антигена (антитела) и целлюлозосвязывающего домена (ЦСД). Преимуществом таких белковых биочипов является то, что они не требуют никаких химических реагентов для иммобилизации антигена на подложке. Эта процедура обеспечивается за счет самопроизвольного взаимодействия ЦСД с целлюлозосодержащим носителем подложки. Следует подчеркнуть, что исследуемый антиген будет расположен относительно поверхности не вероятно, а ориентирован строго оппозитно, поскольку связывание с подложкой (и ориентирование антигена) будет происходить с помощью ЦСД. Микрочипы на основе антигенов, соединенных с ЦСД, могут быть использованы для обнаружения специфических антител в биологических жидкостях. Аналогичным образом микрочипы на основе прикрепленных к подложке одноцепочечных антител к микроорганизмам могут быть использованы для обнаружения патогенов в организме человека и в окружающей среде. Такие биочипы могут иметь различный формат — представлять собой планарные биочипы-стрипы, суспензионные биочипы, суспензионные чипы с магнитной сепарацией и др.

Результатом реализации предложенной идеи будет создание принципиально новой технологии производства компонентов кандидатных вакцин и диагностикомов, обеспечивающей низкую себестоимость, экологическую безопасность и единую технологическую схему производства, а также повышающей качество и улучшающей потребительские свойства вакцинных и диагностических препаратов.

Предложенным способом в ближайшее время планируется получить кандидатные генно-инженерные субъединичные нановакцины для профилактики коклюша, дифтерии и столбняка, туляремии, листериоза, лептоспироза, сибирской язвы, онкологических заболеваний — папилломы — и многосайтные диагностикомы типа биочипов, обеспечивающие одновременное тестирование в анализируемом материале специфических антител к возбудителям вышеперечисленных и других особо опасных и социально-значимых инфекций.

Социально-экономические эффекты от использования возможных объектов для коммерциализации, основанных на результатах реализации предложенной технологии, будут заключаться в следующем:

- появление на рынке дешевых и эффективных профилактических и диагностических средств нового поколения будет способствовать улучшению качества жизни и здоровья населения, в особенности малообеспеченных слоев, для которых в настоящее время использование современных

дорогостоящих препаратов и методов анализа является недоступным;

- внедрение в медицинскую практику новых дешевых высокоэффективных вакцин приведет к общему оздоровлению населения, в результате чего сократится заболеваемость и снизится частота хронизации заболеваний, в частности, у трудоспособной части населения. Это приведет к повышению качества и производительности труда, выполнению заданий к поставленному сроку, увеличению объемов производства. Экономические расчеты показывают, что один рубль, вложенный в вакцинацию, дает экономический эффект от 2 до 25 рублей за счет перечисленных выше эффектов;
- внедрение в практику безынструментальной и не использующей токсичных реагентов и патогенных штаммов бактерий и вирусов схемы производства будет способствовать совершенствованию технологических процессов, с точки зрения повышения производственной безопасности (включая экологическую) при производстве вакцин и диагностикомов;
- предлагаемая технология предполагает практически полное извлечение целевых белков из бактериальных экстрактов таким образом, что в результате повышается комплексность и глубина переработки сырья, благодаря чему будет достигнуто значительное сокращение отходов производства;
- предлагаемые подходы позволят добиться существенного снижения материало- и энергоемкости производства;
- предлагаемая технология предполагает повышение уровня автоматизации производства вакцин и диагностикомов;
- предлагаемая технология необычайно лабильна, позволяет по единой технологической схеме получать самые разнообразные продукты, что будет обеспечивать гибкость производства; простота технологии, при которой очистка и иммобилизация продукта производится в одну стадию, будет способствовать сокращению производственного цикла.

Таким образом, предлагаемые для разработки нановакцины характеризуются следующими свойствами:

- Нановакцины практически безопасны, поскольку содержат только вакцинноценные компоненты.
- Нановакцины нетоксичны, биосовместимы и биodeградируемы в организме.
- Самосборка компонентов вакцины решает проблему очистки, иммобилизации и концентрирования компонентов, обеспечивает стандартность получаемого продукта.
- Технология нановакцин позволяет получать многокомпонентные вакцины, защищающие одновременно от широкого спектра социально значимых или особо опасных заболеваний.



# Нанотехнологии — основа создания авиакосмических материалов XXI века

**Е. Н. Каблов,**  
*академик РАН,*  
*генеральный директор*  
*ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ*



**Ф**ГУП «ВИАМ» работает в области наноматериалов с конца девяностых годов прошлого века. Опираясь на результаты фундаментальных исследований, проводимых совместно с институтами РАН, вузами и отраслевыми НИИ, ФГУП «ВИАМ» разрабатывает наноматериалы различных классов для авиакосмической промышленности. Это наноструктурные композиты конструкционного, теплозащитного, радиотехнического назначения, термопласты, герметики, лакокрасочные покрытия, высокопрочные алюминиевые сплавы, слоистые металлополимерные композиты и специальные материалы с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Работы, проводимые ФГУП «ВИАМ» по созданию наноматериалов и нанотехнологий, можно разделить на четыре крупных направления:

1. Модифицирование и упрочнение материалов для авиакосмической техники малыми количествами наночастиц различной природы: углерода, оксидов, карбидов и др., в виде наноразмерных частиц, нанотрубок, нановолокон и квазикристаллов различных систем, приводящее к повышению механических, физико-химических свойств, приданию материалам специальных функциональных характеристик и повышению ресурса за счет совершенствования состава и структуры конструкционных радиопоглощающих, тепло- и огнезащитных композиционных материалов, термопластов, органических стекол и покрытий, эластомеров, клеев, герметиков, лакокрасочных покрытий композитов с керамическими и металлическими матрицами.

2. Разработка составов и технологий получения и термической обработки легких металлических сплавов путем образования нанодисперсных интерметаллидов, содержащих Zn, Sc, Ta, Nb, выделяющихся из твердого раствора, которые приводят к образованию наноструктурных областей в матрице и их гетерогенности, что позволяет существенно повысить жаропрочность, сопротивление статическим и динамическим нагрузкам материалов и полуфабрикатов и их ресурсные характеристики.

3. Создание наноструктурных стеклокристаллических и керамических покрытий и материалов,

образующихся с использованием «золь-гель» технологии и высокотемпературных структурно-фазовых превращений, для теплонагруженных конструкций, в т. ч. двигательных установок.

4. Разработка технологии, средств контроля и идентификации наночастиц, полуфабрикатов и композитов, содержащих наночастицы, квазикристаллы, нанотрубки, нановолокна и их производные, их распределение в объеме композита и взаимодействие наночастиц с матрицами различной природы (полимерными, металлическими, интерметаллидными и керамическими) и их влияние на формирование структуры материала. Исследование структуры полимерных, керамических, металлических и других материалов и сплавов.

В основу образования наноструктур в материалах положены процессы:

- Введения наночастиц и фиксации в объеме полимера в результате физического взаимодействия на поверхностях раздела полимер — наночастица.
- Включения наночастиц в состав молекул полимера с образованием химических связей.
- Изготовления керамических материалов с формированием наноразмерных образований из коллоидных растворов (суспензий).
- Термической и термомеханической обработки сплавов с выделением наноразмерных фаз из пересыщенных твердых растворов.

Наноструктуры обеспечивают в материалах:

- упорядоченную структуру;
- плотную упаковку молекул;
- высокую прочность связи по поверхности раздела;
- релаксацию остаточных напряжений;
- залечивание дефектов структуры;
- торможение движения микротрещин и дислокаций.

Определенные успехи достигнуты при введении в состав материалов углеродных наночастиц, таких как фуллерены, нанотрубки, астралены, в количестве от 0,5 до 3%. В случае углепластиков это приводит к комплексному повышению механических и эксплуатационных свойств: прочности при сжатии и сдвиге — на 20%, ударной стойкости — на 45%, остаточной прочности — в 1,5 раза, водо- и топливостойкости — в

1,5-2 раза, температуры эксплуатации — на 30% и увеличению ресурса — в 1,8 раза. Одновременно материал приобретает специальные свойства, такие как электро- и теплопроводность, рентгено- и звукопрозрачность, молниестойкость (рис. 1).

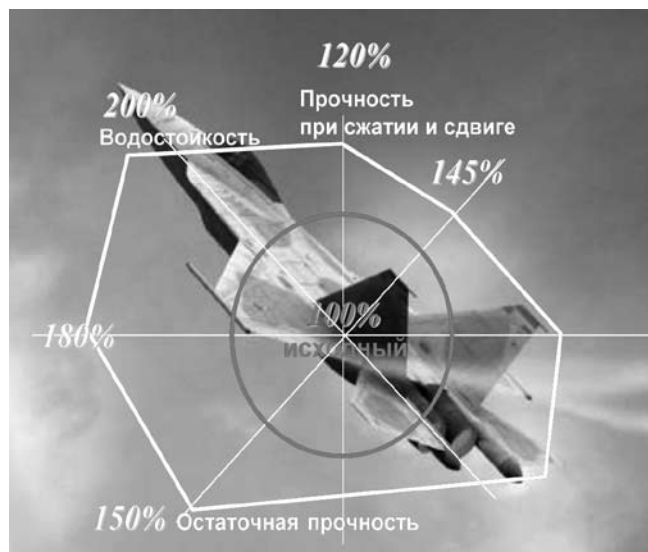


Рис. 1.

Введение до 2% наночастиц — фуллерена и астралена — приводит к комплексному повышению механических и эксплуатационных свойств конструктивных углепластиков, придает им специальные свойства: молниестойкость, рентгено- и звукопрозрачность, экранирование ЭМИ, электро- и теплопроводность.

Подобный углепластик КМУ-18 находится в стадии паспортизации и предназначен для использования в конструкции планеров самолетов: 2-ой этап ПАК ФА, SSJ-130, MC-21.

Для защиты от поражения молниевым разрядом конструкций из углепластика, выходящих на внешнюю поверхность планера и составляющих более 80%, в ФГУП «ВИАМ» разработано молниестойкое покрытие, представляющее собой углепластик, содержащий в своем составе 2-3% астраленов и фуллеренов. Благодаря повышению электро-, теплопроводности в 2-5 раз, повышению температуры термического раз-

рушения и высоким конструкционным свойствам это покрытие обеспечивает безопасную повреждаемость углепластиковых конструкций при воздействии токов молнии и снижению их веса по сравнению с традиционно используемыми МЭП на основе латунных сеток на 300-500 г/м<sup>2</sup> защищаемой поверхности (рис. 2).

ФГУП «ВИАМ» еще в 80-е годы прошлого столетия использовал технологии получения ряда материалов, которые в настоящее время относятся к категории нанотехнологий. Это технологии изготовления тонких эрозионностойких радиопоглощающих покрытий на основе углеродно-фенилоновых бумаг с наноразмерными органическими фибридами (пачками линейных полимерных молекул). Разработанные покрытия ВПТ были применены для защиты поверхности воздухозаборников стратегических бомбардировщиков Ту-160, обеспечив снижение эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) в 5-10 раз в зависимости от углов облучения. Однако в настоящее время производство исходных материалов для этого покрытия (фенилоновых волокон, фибрид и бумаги БУФ) прекращено и требует восстановления.

Подобное положение сложилось и с другой уникальной разработкой — бумагой БТТ, использованной для термических мостов и плазмоотсекающих уплотнений при температуре до 1650°C. Этот материал на основе нитевидных кристаллов и наноразмерных частиц SiC был использован в качестве термокомпенсаторов и плазмоотсекателей в МКС «Буря» (рис. 3). Без такого рода материалов невозможно создание эффективных конструкций гиперзвуковых летательных аппаратов. Восстановление производства такого материала — актуальная задача сегодняшнего дня.

Использование золь-гель технологий с образованием наноструктурных фаз в составе керамических материалов и антиокислительных защитных покры-

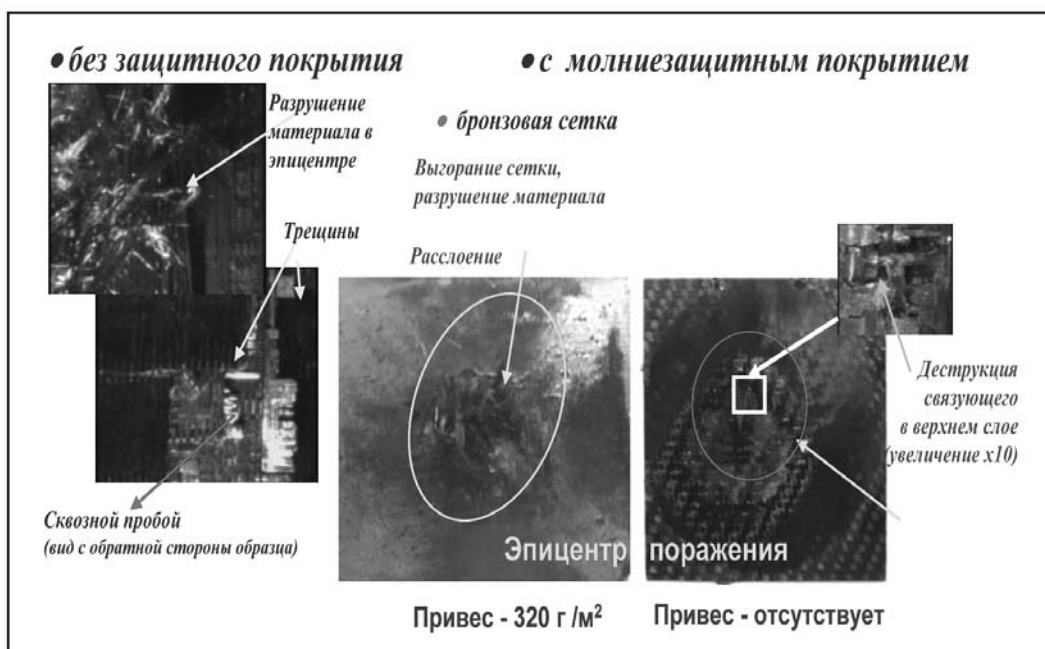


Рис. 2.

Типичные зоны поражения углепластика при воздействии тока молнии ( $I=200$  кА,  $Q=20$  Кл)



Рис. 3. Термические плазмоотсекающие уплотнения на основе нитевидных кристаллов и наночастиц SiC для МКС «Буран»

тий для углерод-углеродных и углерод-керамических композиционных материалов на рабочие температуры до 2000°C — еще одно эффективное направление нанотехнологий, развиваемых в ФГУП «ВИАМ» (рис. 4).

## Антиокислительные покрытия

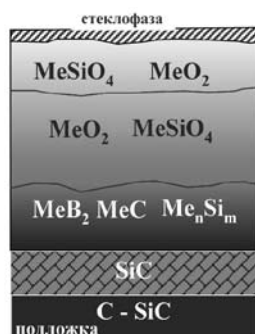


Рис. 4. Разработанные керамические карбидооксидные покрытия (для C-C композитов) с многоуровневой защитой от окисления

К настоящему времени разработаны технологии получения термостойких до 1650°C керамокомпозитов без использования токоволокнистых безкерна-вых волокон SiC, производства которых в РФ нет. Упрочнение керамической матрицы происходит за счет роста нитевидных кристаллов наноразмерного диаметра по механизму «пар — жидкость — твер-

Рис. 5. Технология введения наночастиц (астраленов, фуллеренов, нанотрубок) в композиты



дое тело» внутри матрицы с образованием каркасной структуры. Благодаря этому материал приобретает исключительную термостойкость (более 5000 циклов без разрушения) и в 1,5-2 раза большую прочность, чем обычные керамические материалы. Эти разработки предназначены для ГТД и ПВРД крылатых ракет и защиты конструкций ГЗЛА.

Большое значение в ФГУП «ВИАМ» придается исследованиям в области нанотехнологий. При этом первоочередное место занимают разработки по технологиям введения наночастиц в состав и структуру материалов и композитов (рис. 5):

- обработка волокон — нанесение на поверхность армирующих волокон композита из раствора фуллерена или суспензий наночастиц;
- введение в состав связующего в жидко-вязкой фазе наночастиц и диспергирования их в объеме;
- введение астраленов в состав связующего в твердой фазе путем смешения на специальном оборудовании.

Основными направлениями работ в этой области технологий является получение устойчивых растворов и суспензий наночастиц, прививки функциональных групп к наночастицам различного состава и природы, их дезинтеграция и распределение в объеме материалов.

Изготовление наноструктурированных материалов невозможно без тщательного контроля качества исходных наночастиц и без пооперационного контроля технологического процесса. Для корректного проведения такого контроля требуется высокоточное аналитическое оборудование, которое имеется в ФГУП «ВИАМ».

Наиболее информативными являются методы сверхчувствительного рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии. Их совместное применение позволяет получить изображение отдельных нанотрубок, подсчитать количество

слоев в многослойных нанотрубках, измерить любые геометрические параметры нанотрубок, а также других наночастиц. По виду рентгенограмм можно определить, является нанотрубка идеальной или ее поверхность загрязнена, квалифицировать вид загрязнения.

Применив метод рентгеноструктурного анализа для контроля исходного наноматериала, полученного от поставщика, можно определить процентное содержание в смеси различных видов частиц, а также проконтролировать процесс их разделения и качество очистки.

Пооперационный контроль процессов нанотехнологий позволяет определить полноту прохождения химических реакций и соответствие параметров полученного продукта технологическим условиям.

Таким образом, ФГУП «ВИАМ» обладает необходимым комплексом оборудования, методиками и базой экспериментальных данных для выбора кри-

териев качества, разработки и выпуска нормативной документации контроля качества наночастиц и технологических процессов изготовления наноструктурированных материалов.

Важнейшими задачами в области нанотехнологий и нанокompозитов, стоящими перед ФГУП «ВИАМ», являются:

- разработка новых составов и структур авиационно-космических нанокompозитов и наноматериалов различного назначения, технологий их получения, обеспечивающих достижение существенно более высокого уровня свойств и качества;
- разработка научно-технической документации на производство и поставку наночастиц, полуфабрикатов и материалов на их основе;
- разработка методов и средств эффективного и доступного контроля за качеством наночастиц и наноматериалов.

---

## Объемные наноструктурные материалы: уникальные свойства и инновационный потенциал



**Р. З. Валиев,**  
д. т. н., профессор, директор  
Института физики перспективных  
материалов УГАТУ



**О. Б. Наймарк,**  
д. ф.-м. н., профессор, зав. лабораторией  
Института механики сплошных сред УрО РАН

Недавние открытия в области уникальных свойств объемных наноматериалов, необычных механизмов деформации и фазовых превращений являются фундаментом разработок и применения объемных наноматериалов в качестве функциональных и конструкционных материалов нового поколения. В настоящее время исследования и разработки по объемным наноматериалам находятся на стадии перехода от лабораторных изысканий к практическому применению. Это подтверждается созданием новых схем и технологий получения объемных наноматериалов с использованием интенсивных пластических деформаций и широким вовлечением в исследования не только модельных материалов, но и промышленных сплавов и сталей. Исследования в области объемных наноматериалов, начатые в России в 1990-х годах, в настоящее время получили широкое международное признание и развитие. Широкая география проводимых работ, динамика роста исследований, наиболее высокие рейтинги научных публикаций ([www.scientific.ru](http://www.scientific.ru)) показывают, что данная тематика является одним из наиболее важных направлений современного наноматериаловедения и нанотехнологий.

Recent discovery of unique properties of bulk nanostructural materials, unusual mechanisms of deformation and phase transformations are the background for development and applications of these new multifunctional and engineering materials. At present time the fundamental and applied research in the subject of bulk nanostructural materials has the transition from academic research to engineering applications. New schemes and technologies are proposed for the processing of bulk nanostructural materials using severe plastic deformation both for pure and industrial steels and alloys. Started in Russia research in the field of bulk nanostructural materials has now great recognition and development. Broad geography of academic research and applications, dynamic of research extension, high impact factors of scientific publications ([www.scientific.ru](http://www.scientific.ru)) demonstrate the importance of this direction of modern material science classified as nanostructured materials and nanotechnology.

### Введение

**Ф**изические свойства твердотельных нано- и мезоструктурных сред открывают исключительные по своему значению перспекти-

вы в электронике, медицине, разнообразных технических приложениях, например в аэрокосмическом комплексе. Актуальность данных исследований, например для приложений в авиакосмическом комплексе, связана с переходом к новому поколению газотурбинных двигателей, для которых необходимы конструкционные материалы, имеющие на 20% более высокие прочность и твердость, на 50% более высокую вязкость разрушения и вдвое большую износостойкость. Натурные испытания показывают, что использование в газовых турбинах нанокристаллических жаропрочных сплавов обеспечивает, по меньшей мере, половину требуемого повышения свойств. Исключительный интерес представляет исследование закономерностей деформирования и разрушения наноструктурных твердотельных инертных и энергетических материалов при динамических и ударно-волновых нагружениях в связи с особенностями формирования и распространения ударно-волновых фронтов.

Известные практические приложения наноструктурных материалов основаны на специфике их свойств, существенно отличающихся от характеристик тех же материалов в моно- и поликристаллическом, а также в аморфном состояниях. Важнейшей чертой нынешнего этапа развития технологии и использования наноструктурных материалов является переход от стадии накопления данных и их эмпирической обработки к стадии управляемого получения и использования субмикрокристаллических структур разнообразных металлов и сплавов. Это стало возможным после анализа механизмов, лежащих в основе физики наноструктурного состояния. Необычные свойства этих материалов обусловлены как особенностями отдельных зерен, так и их коллективным поведением, зависящим от характера взаимодействия между зернограничными дефектами. Специфика этого взаимодействия заключается в особом состоянии границ зерен, обладающих выраженными признаками неравновесности, повышенной энергией, длинно-корреляционными взаимодействиями.

## **Объемные наноструктурные материалы: особенности микроструктуры и основные концепции**

Физические свойства объемных наноструктурных материалов обусловлены большой развитостью и протяженностью межзеренных границ раздела, которые при размере зерна от 10 до 100 нм содержат от 10 до 50% атомов нанокристаллического твердого тела. Таким образом, переход к объемному наноструктурному состоянию сопровождается выраженными размерными эффектами, под которыми понимается комплекс явлений, связанных с изменением свойств вещества вследствие изменения размеров частиц и одновременного возрастания роли зернограничных дефектов. Наноструктурные материалы, получаемые методами интенсивной пластической деформации, представляют

собой особый случай неравновесного твердотельного состояния, обусловленного коллективным поведением зернограничных дефектов в условиях длинно-корреляционного взаимодействия, что характерно для неравновесных критических систем.

Существуют две проблемы фундаментального характера применительно к объемным наноструктурным материалам:

- формирование объемного субмикро- и наноструктурного состояния, в том числе при интенсивных пластических деформациях;
- описание свойств объемных нанокристаллических материалов.

Решение этих проблем предполагает объединение подходов механики и физики деформируемого твердого тела, современных методов структурного анализа при исследовании коллективного поведения ансамблей дислокационных субструктур на широком спектре пространственных масштабов при зеренной фрагментации и исследование свойств ансамбля зернограничных дефектов применительно к особенностям релаксации, закономерностям разрушения, термодинамике материалов в объемном наноструктурном состоянии. При этом ключевым является вопрос о том, существует ли резкая граница между объемным состоянием обычного поликристаллического вещества и объемным наноструктурным состоянием. Ответ на этот вопрос может быть получен на основе описания коллективного поведения ансамбля зернограничных дефектов, разработке термодинамики существенно неравновесного состояния данной мезоскопической системы.

Спектр уникальных свойств объемных наноструктурных материалов может быть исследован и использован в приложениях при решении фундаментальных проблем получения этих материалов, описания комплекса свойств при переходе от обычного поликристаллического к объемному нанокристаллическому состоянию, построения адекватных моделей механического поведения, отражающих закономерности перехода от квазихрупкого к вязкому и субмикрокристаллическому состояниям, использовании экспериментальных методов и методов структурного анализа, позволяющих изучить роль многомасштабности (временной и пространственной) коллективных явлений в ансамблях мезодефектов при создании субмикрозернистой структуры и формировании свойств материалов в объемном наноструктурном состоянии.

## **Современное состояние исследований объемных наноструктурных материалов**

После пионерских работ начала 1980-х годов Г. Гляйтера [1] с сотрудниками и И. Д. Морохова с соавторами [2], продемонстрировавшими возможность синтеза объемных наноматериалов, в последующих исследованиях выработаны два основных подхода к их получению.

*Первый подход*, называемый «снизу-вверх» («bottom-up approach»), включает компактирование порошков, получаемых различными способами (ультрадисперсные порошки, полученные газовой конденсацией в атмосфере инертного газа или плазмохимическим методом, аэрозольным и химическим синтезом, а также измельчением порошков в шаровой мельнице и др.). Некоторые из этих методов были успешно использованы для создания объемных наноструктурных материалов и явились основой многочисленных исследований структуры и свойств нанокристаллических и нанофазных материалов. Вместе с тем, существующие проблемы в развитии данных методов, связанные с сохранением некоторой остаточной пористости при компактировании, загрязнением образцов при подготовке порошков или их консолидации, являются основными усложняющими причинами при практическом использовании данных методов.

*Второй подход*, предложенный российскими исследователями и получивший название «сверху-вниз» («top-down approach»), включает методы обработки, использующие формирование наноструктур в массивных металлических образцах и заготовках путем измельчения их микроструктуры до наноразмеров, с применением интенсивной пластической деформации (ИПД) или взрывной обработкой. Методы ИПД могут обеспечить формирование наноструктур в различных металлических материалах, однако характер формирующейся структуры (получаемый размер и форма зерен, преобладающий тип границ раздела, фазовый состав и т. д.) зависит от применяемого метода ИПД, режимов обработки, фазового состава и исходной микроструктуры исследуемого материала. Создание таких наноструктур может быть осуществлено методами ИПД, позволяющими достичь очень больших пластических деформаций при относительно низких температурах в условиях высоких приложенных давлений (специальные схемы пластического деформирования, такие как интенсивное кручение под высоким давлением, равноканальное угловое (РКУ) прессование). Способ РКУ-прессования, реализующий деформацию массивных образцов простым сдвигом, был разработан В. М. Сегалом [3] и развит в 1990-х годах Р. З. Валиевым [4] для получения структур с субмикроструктурным и нанометрическим размером зерен. Суть метода РКУ-прессования заключается во множественном продавливании заготовки через два канала одинакового сечения, пересекающихся под углом 90 градусов. В случае труднодеформируемых материалов деформация осуществлялась при повышенных температурах.

Метод ИПД приводит к формированию ультрамелкозернистых неравновесных структур, для которых характерно присутствие высоких плотностей решеточных и зернограницных дефектов, формирующих дальнотействующие поля упругих напряжений. Это обстоятельство позволяет рассматривать наноструктурное состояние как метастабильное. В связи

с этим значительное внимание уделяется исследованию устойчивости нанокристаллического состояния к внешним воздействиям — температуре и напряженно-деформированному состоянию. Установлено, что эволюция структуры при нагреве различных наноструктурных материалов имеет ряд общих закономерностей, основными из которых являются уменьшение дальнотействующих полей напряжений и упругих искажений кристаллической решетки в результате структурного возврата неравновесных границ зерен. При этом формируется поликристаллическая структура с очень малым размером зерен и стадия зародышеобразования практически отсутствует (гомогенная нуклеация). Пластическая деформация наноструктурных материалов часто приводит также к изменению исходного наноструктурного состояния, причем характер этих изменений определяется схемой и условиями деформации.

Установлено, что большие объемные наноструктурные образцы и заготовки могут быть получены методами ИПД из самых различных металлов и сплавов, включая многие промышленные сплавы и интерметаллиды. В чистых металлах и ряде сплавов интенсивные пластические деформации обеспечивают формирование ультрамелкозернистых структур с размером зерен 100-200 нм и менее.

Перспективным является также метод формирования объемных наноструктур в интенсивных волновых полях пластической деформации при реализации специальных режимов ударно-волнового нагружения, обеспечивающих многомасштабную зеренную фрагментацию при возбуждении автомоделных режимов распространения волновых пластических фронтов (структурированные волновые фронты [5]). Предлагаемый метод ударно-волновой обработки материалов с целью формирования наноструктурного состояния обладает рядом преимуществ по сравнению с вышеприведенными методами. Эти преимущества обусловлены спецификой формирования пластических волновых фронтов и ролью эволюции дислокационной субструктуры на пространственном масштабе волнового фронта. Учитывая автомоделную природу пластического фронта ударной волны, на котором развивается структурно-скейлинговый переход в дислокационных субструктурах, следует ожидать возможность структурной фрагментации труднодеформируемых жаропрочных сплавов. Это представляется возможным по двум причинам: резонансным возбуждением локализованной пластической деформации и высокими значениями давления на фронте ударной волны. Высокие давления в сочетании с интенсивной пластической деформацией позволяют решить также важнейшую проблему уменьшения объемной концентрации пористости, что актуально для материалов, полученных методами порошковой и гранульной технологии.

Достижение больших пластических деформаций ассоциируется с проявлением новых, не типичных для обычных деформаций, стадий деформационного

упрочнения, измельчением микроструктуры, формированием ячеистой структуры, изменением структуры и свойств внутренних поверхностей раздела (зернограницных дефектов). Многостадийность деформационного упрочнения обусловлена глубокими изменениями в микроструктуре, происходящими при ИПД: изменение размера зерен-ячеек, угла разориентировки между ними, толщины поверхности раздела, плотности дислокаций.

Выполненные исследования показывают, что ИПД сопровождаются выраженными коллективными процессами в дефектной (дислокационной) подсистеме, формированием многомасштабных пространственно-временных (фрагментированных) структур. Возникновение фрагментированной структуры является следствием структурной неустойчивости ансамбля дислокаций, повышением роли «конфигурационных» эффектов.

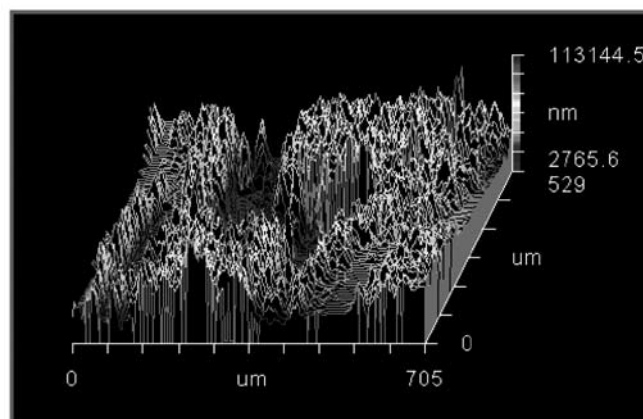
Одним из главных при изучении физики нанокристаллического состояния является вопрос о том, существует ли резкая граница между объемным состоянием обычного поликристаллического вещества и наноструктурным состоянием, т. е. существует ли некоторый критический размер зерна, ниже которого проявляются свойства, характерные для нанокристаллического агрегата. Возможна также «термодинамическая» постановка проблемы — имеет ли переход от обычного поликристаллического вещества к нанокристаллическому признаки фазового перехода первого рода. Этот вопрос, по-видимому, является одним из центральных. Спектр уникальных свойств наноструктурных материалов может быть исследован и использован в приложениях при решении указанных фундаментальных проблем.

Таким образом, наряду с несомненным прогрессом в разработке методов получения объемных наноструктурных материалов в интенсивных полях пластической деформации, исследовании роли дислокационных субструктур до настоящего времени открытыми являются вопросы о закономерностях перехода от обычного поликристаллического к объемному нанокристаллическому состоянию, природе нарушения закона Холла-Петча, качественного изменения релаксационных свойств, закономерностей разрушения, аномалий диффузии.

## **Фундаментальные и прикладные исследования, необходимые для обеспечения инновационного потенциала**

Фундаментальные исследования в области физики мезоскопических систем с дефектами позволили установить новый класс критических явлений, обусловленных коллективными свойствами ансамблей дефектов — структурно-скейлинговыми переходами, и предложить объяснение особенностей поли- и объемного нанокристаллического состояния. Особенностью установленных критических явлений для неравновесных систем с дефектами является существ-

ование дополнительного параметра порядка — параметра структурного скейлинга, зависящего от масштабных характеристик среды, взаимодействия между дефектами, обнаруживающих длинно-корреляционный характер в ходе структурно-скейлинговых переходов в дислокационных субструктурах различного пространственного масштаба. Предложенная на основе статистического описания термодинамика и феноменология данных систем явилась обобщением подхода Гинзбурга-Ландау и позволила установить качественно различную динамику структурно-скейлинговых переходов, связанную с типами коллективных мод ансамблей дефектов, характерных для квазихрупкого, вязкого (пластического) и объемного нанокристаллического состояний.

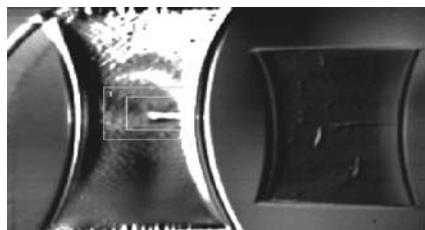


*Рис. 1. 3D New View профилометрия поверхности образцов при формировании полос локализованного сдвига*

Теоретические исследования сопровождались экспериментами на специально создаваемом оборудовании, позволяющем изучение нелинейного поведения материалов, обусловленного мезодефектами, в широком диапазоне интенсивностей воздействия (квазистатическом, усталостном, динамическом и ударно-волновом режимах нагружения). Современные системы высокого пространственного и временного разрешения (доплеровский интерферометр VISAR, инфракрасная камера CEDIP, установка акустической эмиссии) использовались для регистрации переменных, позволяющих идентифицировать термодинамические и кинетические параметры развиваемых моделей. Данные эксперименты дополнялись структурными исследованиями (New View профилометрия высокого разрешения (рис. 1), сканирующая микроскопия, инфракрасное сканирование — рис. 2), позволившими связать автомодельные закономерности в поведении динамических переменных в процессе деформирования и особенности структурного скейлинга — коррелированного поведения деформационных текстур, формируемых мезодефектами в процессе нагружения.

В соответствии с результатами об автомодельной природе пластических фронтов проведено теоретическое и экспериментальное исследование возмож-





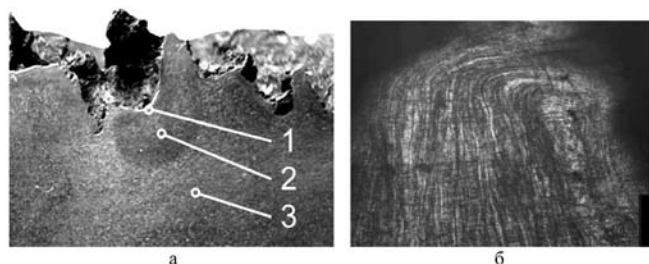
*Рис. 2.  
Инфракрасное  
сканирование  
поверхности  
образцов при  
циклическом  
нагружении*

ности резонансного возбуждения автомоделных волновых пластических фронтов при соответствующих параметрах нагружающего импульса с целью структурной фрагментации материала. Показано, что интенсивные воздействия, локализованные на определенных масштабах, приводят к эффектам резонансного возбуждения волн локализованной пластичности, обладающих слабым затуханием, на фронте которых реализуются эффекты структурной фрагментации, сопровождающиеся формированием субмикроструктурной фазы. Данные особенности распространения волн локализованной пластичности и их воздействия на структуру были использованы для разработки схем ударно-волнового нагружения, обеспечивших интенсивную пластическую деформацию и структурную зеренную фрагментацию значительных объемов материала.

Последняя реализуется как следствие формирования сильно разориентированной и фрагментированной структуры. Идея метода формирования субмикроструктурной структуры в локализованных волновых полях пластической деформации явилась результатом исследований закономерностей формирования автомоделных пластических фронтов при ударно-волновом нагружении. Ударно-волновое нагружение массивных цилиндрических образцов армко-железа пространственно-локализованными импульсами давления, инициированными ускоряемой профилированной тонкой медной пластиной, подтвердило выраженный эффект зеренной фрагментации.

Структурный анализ образцов-мишеней в сечении в направлении распространения волны, проведенный с использованием New View-5000, обнаружил множественные зоны деформации, разделенные волновыми фронтами, что подтвердило резонансный характер инициирования пластических волн и их связь со структурно-скейлинговыми переходами в дислокационных субструктурах разного масштабного уровня (рис. 3а).

Установленная фрагментация структуры связывается с интенсивной сдвиговой деформацией в



*Рис. 3*

волновых фронтах, представляющих собой область ориентационно-скейлингового перехода в ансамбле дислокационных субструктур, формирующего макроскопическую сдвиговую кинематическую моду (рис. 3б). С автомоделной природой волнового пластического фронта связывается слабое затухание волны пластичности, обеспечивающее эффект фрагментации значительных объемов материала.

Установленная связь коллективных мод ансамблей мезодефектов с механизмами релаксации и разрушения явилась стимулирующим фактором для проведения экспериментальных исследований поведения материалов при циклических (многоцикловая усталость) и динамических нагружениях (в условиях теста Гопкинсона-Кольского и модифицированного теста Тейлора), сопряженных с инфракрасным сканированием и последовательным изучением морфологии структуры на основе данных 3D-New View профилометрии. Исследование фазовых портретов полей диссипации на поверхности циклически нагружаемых образцов, рельефа, обусловленного локализованными сдвигами, и последующий анализ с использованием характеристик динамического и пространственного скейлинга (корреляционные индексы, показатели Херста) позволили получить количественные данные о гистерезисных явлениях, локализации разрушения, предвестниках зарождения макроскопических трещин, особенностях их распространения. Представляет интерес применение развитых методов для анализа поведения объемных нанокристаллических материалов в условиях усталости и динамического нагружения.

## **Инновационные тенденции в расширении области приложений объемных наноструктурных материалов**

Поиски путей улучшения комплекса свойств объемных наноструктурных металлов и сплавов весьма важны для их перспективных применений, так как рынки для их использования существуют фактически в каждой отрасли промышленности, где высокие механические свойства (в особенности прочность, удельная прочность и усталостная долговечность) являются решающими. Анализ, проведенный компанией «Металликум», специализирующейся на внедрении наноматериалов, показал существование свыше 100 специфичных рынков их применения, предназначенных для авиационно-космической отрасли, транспорта, медицинских приборов, спортивных товаров, пищевых продуктов, химического производства, электроники и оборонной отрасли [6].

Одним из перспективных направлений, развиваемых сегодня, является разработка особо прочных наноструктурных легких сплавов (алюминия, титана и магния), предназначенных для энергетики, автомобильной и авиационно-космической промышленности.

В недавних исследованиях было показано, что достижение нового уровня свойств в промышленных

алюминиевых сплавах возможно при применении ИПД в сочетании с традиционными видами термической и/или термомеханической обработки, реализуя за счет этого дополнительные механизмы их упрочнения, такие как твердорастворное и дислокационное упрочнение, а также упрочнение, вызванное дисперсными выделениями вторых фаз — дисперсионное твердение. Так, в работе [7] было показано, что, используя обработку ИПД, осуществленную РКУП, в сочетании с изотермической прокаткой, можно получать заготовки в виде листов из термически неупрочняемого сплава 1560 системы Al-Mg-Mn с уровнем предела текучести и прочности 540 и 635 МПа, соответственно, аналогичным наблюдаемому в высокопрочных, термически упрочняемых алюминиевых сплавах системы Al-Mg-Zn-Cu в состоянии максимального упрочнения. Также была исследована возможность дополнительной обработки заготовок термически упрочняемого сплава АА6061, подвергнутых РКУП, старению и холодной прокатке [8]. Было установлено, что в результате осуществления такой комбинированной обработки предел текучести и предел прочности заготовок сплава достигает, соответственно, 475 и 500 МПа, а относительное удлинение до разрушения составляет 8%. В обоих исследованных УМЗ сплавах прочностные свойства превышали на 30-50% аналогичные свойства сплавов после традиционно используемых методов обработки, а пластичность оставалась на достаточно высоком уровне. Аналогичный прирост прочности при сохранении пластичности демонстрирует и УМЗ жаропрочный алюминиевый сплав АК4-1 после обработки РКУП и последующего старения как при комнатной, так и при повышенной температуре ~ 150°C — температуре эксплуатации. В работе [9] на примере алюминиевого сплава 5083 было показано, что оптимизированные режимы термической обработки, проводимой после РКУП, позволяют сформировать УМЗ состояние, обеспечивающее формирование в материале уникального комплекса свойств. При сохранении высокой прочности характеристики пластичности и трещиностойкости обработанного ИПД материала повышаются почти в 2 раза и достигают уровня, характерного для исходного крупнозернистого состояния.

В настоящее время одновременно с исследованиями ведется интенсивная работа, направленная на получение изделий из УМЗ алюминиевых сплавов, таких как авиационный крепеж, а также пилотных изделий для авиационной промышленности. Также ведется разработка металлов и сплавов с УМЗ строением, работающих при криогенных температурах [10]. Активно проводятся исследования, направленные на получение и использование наноструктурных материалов для авиационных двигателей нового поколения [11], а также при изготовлении деталей сложной конфигурации в условиях сверхпластичности [12].

Из широкого спектра возможных применений наноструктурных металлов особое внимание уделяется медико-биологическим имплантатам и приборам.

Высокие прочностные и усталостные свойства являются основными техническими требованиями металлических медико-биологических материалов, в особенности титана и его сплавов [13], которые имеют отличную биологическую совместимость и высокие биомеханические свойства. Например, для вправления костей целесообразно использование пластин и дисков, полученных из наноструктурного титана, а также хирургических инструментов. Эти изделия наряду с высокой прочностью должны иметь высокую способность сопротивляться изгибу и достаточную пластичность. Были проанализированы различные конструкции имплантантов для соединения костей. Это привело к конструированию и разработке серии наноструктурных титановых имплантантов (рис. 4).

К настоящему времени выявлены важные преимущества наноструктурного титана [14] — высокая статическая прочность ( $\sigma_B \geq 1000$  МПа) и сопротивление усталости — более чем 500 МПа при  $2 \times 10^7$  циклах и отличная биологическая совместимость.

Большие перспективы применения ИПД для повышения механических и функциональных свойств выявлены для группы металлических сплавов с термоупругими мартенситными превращениями и эффектами памяти формы (ЭПФ), среди которых особенно выделяются сплавы никелида титана — TiNi (нитинол).

Эти сплавы имеют большой потенциал для применения в технике и медицине, в качестве имплантируемых в организм и длительно функционирующих материалов [15].

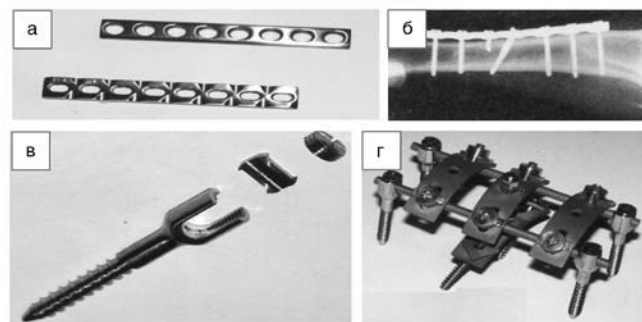


Рис. 4. Медицинские имплантаты, изготовленные из наноструктурного титана:

- (а, б) имплантаты для остеосинтеза,
- (в) конусообразный винт для выправления позвоночника,
- (г) устройство для коррекции и восстановления позвоночника

Титан и титановые сплавы интенсивно используются в настоящее время в качестве материалов для имплантантов в травматологии и ортопедии. Это является следствием ряда свойств, в первую очередь, биологической совместимости, высокой коррозионной стойкости и высокой прочности в сравнении с другими материалами.

Второй пример высокого инновационного потенциала — возможность сверхпластической обработки

легких сплавов, полученных методом ИПД, при изготовлении изделий сложной формы и обладающих высокой прочностью. Это является перспективным для широких приложений в аэрокосмическом комплексе, автомобилестроении.

Третье инновационное направление лежит в области использования УМЗ материалов и изделий из них при экстремально низких температурах (в арктических условиях, приложения для нефте- и газодобывающей промышленности). Эти приложения УМЗ материалов могут быть достаточно эффективны, и результаты могут быть достигнуты в ближайшее время.

## Литература

1. Gleiter H. Nanocrystalline materials. Prog. Mater. Sci., 1989, 33, P. 223-330.
2. Морохов И. Д., Трусов Л. Д., Лаповок В. И. Физические явления в ультрадисперсных средах. М.: Наука, 1984. 472 с.
3. Сегал В. М., Резников В. И., Дробышевский Ф. Е., Копылов В. И. Пластическая обработка металлов простым сдвигом // Изв. АН СССР. Металлы. 1981. №1. С. 115-123.
4. Валиев Р. З., Корзников А. В., Мулюков Р. Р. Структура и свойства металлических материалов с субмикроструктурной структурой. // ФММ. 1992. Т. 2. №6. С. 70-86.
5. Наймарк О. Б. Коллективные свойства ансамблей дефектов и некоторые нелинейные проблемы пластичности и разрушения. // Физическая мезомеханика, 2003. Т. 4, №4. С. 45-72.
6. Lowe T. C. and Zhu Y. T. Commercialization of nanostructured metals produced by severe plastic deformation processing. // Adv. Eng. Mater. 2003. 5. P. 373-378.
7. Маркушев М. В., Мурашкин М. Ю. Структура и свойства алюминиевого сплава 1560 после интенсивной пластической деформации угловым прессованием и прокаткой. // Материаловедение. 2004. №8. С. 38-42.
8. Murashkin M. Yu., Markushev M. V., Ivanisenko Yu. V., Valiev R. Z. Strength of Commercial Aluminum Alloys After Equal Channel Angular Pressing (ECAP) and Post-ECAP Processing. // Solid State Phenomena, Vol. 114 (2006), pp. 91-96.
9. Markushev M. V., Murashkin M. Yu., Bampton C. C., Hardwick D. A. Structure and properties of ultra-fine grained aluminium alloys produced by severe plastic deformation. // Mat. Sci. Eng. 1997. A 234-236. P. 927-931.
10. Бензус В. З., Смирнов С. Н., Табачникова Е. Д., Романченко В. В., Хоменко С. Н., Гундеров Д. В., Столяров В. В., Валиев Р. З. Пластичность наноструктурного и поликристаллического титана при температурах 300, 77 и 4,2°K. // Металлофизика: новейшие технологии. 2004. Т. 26. № 11. С. 1483-1492.
11. Semenova I. P., Raab G. I., Saitova L. R., Valiev R. Z. The effect of equal channel angular pressing on the structure and mechanical behavior of Ti-6Al-4V alloy. // Mater. Sci. Eng. 2004. A387-389. P. 805-808.
12. Xu C., Furukawa M., Horita, Z. and Langdon T. G. Using ECAP to achieve grain refinement, precipitate fragmentation and high strain rate superplasticity in a spray-cast aluminium alloy. // Acta Mater. 2003. 51. P. 6139-6149.
13. Titanium in medicine: material science, surface science, engineering, biological responses and medical applications / Eds.: D. M. Brunette, P. Tengvall, M. Textor, P. Thomsen. Berlin: Springer, 2001.
14. Zhu Y. T., Lowe T. C., Valiev R. Z., Stolyarov V. V., Latysh V. V., Raab G. I. Ultrafine-grained titanium for medical implants. // US Patent 6,399, 215 of 2002.
15. Pushin V. G., Stolyarov V. V., Valiev R. Z., Kourov N. I., Kuranova N. N., Prokofiev E. A., Yurchenko L. I. // Annales de Chimie-Science des Materiaux. 2002. V. 27. № 3. P. 77.

## Будущее — за полимерной электроникой



**А. Н. Алешин,**  
**к. ф.-м. н.,**  
**ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН,**  
**Санкт-Петербург**

Известно, что обычные полимерные материалы являются диэлектриками и не проводят электричества. Из них делают покрытие проводов и кабелей, монтажные панели для электронных схем и другие изоляторы. Однако модифицированные полимерные материалы оказались способными проводить электричество, что заставило изменить общепринятую точку зрения. Физики Алан Хигер, директор Института полимеров и твердых органических соединений Калифорнийского университета (г. Санта-Барбара), Алан Мак-Диамид, профессор Пенсильванского университета

(США) и химик Хидеки Шикава, профессор Института материаловедения (г. Цукуба, Япония) были удостоены Нобелевской премии по химии в 2000 году за открытие и совершенствование проводящих полимеров.

Материалы, о которых идет речь, относятся к новому поколению полимеров. Их молекулы представляют одномерные цепочки. В молекуле полимера, способного проводить электрический ток, имеются атомы углерода, соединенные попеременно двойными и одинарными связями. В каждой из этих связей имеется либо лишний электрон, либо вакансия — отсутствующий электрон. Когда к молекуле подсоединяются дополнительные атомы легирующей примеси, вакансии и электроны получают возможность двигаться в противоположных направлениях вдоль молекулы полимера — возникает электрический ток.

Исследования, начатые в конце семидесятых годов Хигером, Мак-Диамидом и Шикавой, довольно быстро привели к созданию целого класса проводящих полимеров. Как это часто бывает в истории науки, открытию помогла случайность. Студент

Шикавы как-то по ошибке добавил слишком много катализатора, в результате чего бесцветный пластик вдруг стал отражать свет подобно серебру, и это навело на мысль о том, что он перестал быть изолятором. В то же самое время на американском континенте химик Мак-Диамид и физик Хигер безуспешно пытались сделать полимер проводящим. На семинаре в Токио Шикаве и Мак-Диамиду во время перерыва удалось рассказать друг другу о своих достижениях, после чего японец немедленно был приглашен в Пенсильванский университет. Уже там поиск привел к открытию полимера с проводимостью, в десятки миллионов раз превосходящей обычный пластик. В пресс-релизе Нобелевского комитета отмечалось, что особенно интересным и перспективным применением проводящих полимеров будет полимерная и молекулярная электроника.

Полимеры нового поколения уже нашли широкое применение в технике, физике и химии. Из них делают фото- и киноплёнки, покрытия экранов телевизоров и компьютерных мониторов (они не электризуются и перестают собирать пыль), оконные стекла, задерживающие слишком яркий солнечный свет. Более того, полимеры, имеющие свойства полупроводников, уже применяются в светодиодах, солнечных батареях, дисплеях мобильных телефонов, портативных компьютеров и телевизоров.

Это важнейшее применение нового поколения проводящих полимеров основано на изобретении органических источников света, известных как полимерные светодиоды (ПСД). Изобретенные в 1990 г. Джереми Берроузом, Ричардом Френдом и их коллегами из Кембриджского университета, они изготавливаются при помощи напыления вращением. Тонкий слой полимера наносится на подложку и под действием центробежной силы растекается по ней, когда ее раскручивают до скорости от 1200 до 1500 об./мин. Затем подложку нагревают, чтобы испарить растворитель и завершить полимеризацию. Полимерные светодиоды имеют преимущество перед неорганическими по энергопотреблению, поскольку более высокая электрическая проводимость полимерных слоев позволяет снизить управляющее напряжение.

Ранние модели ПСД состояли из единственного активного слоя полифенилвинилена (PPV), расположенного между металлическими контактами из ИТО и кальция, для обеспечения инжекции и дырок, и электронов, как в ОСД. ИТО играет роль поставщика дырок, а кальций отдает электроны. Современные ПСД содержат еще один слой полимера для инжекции и переноса дырок. PPV излучает желтый свет и характеризуется отличным КПД и большой наработкой на отказ: обеспечивая приемлемую яркость компьютерного дисплея, он может работать более 10 тыс. часов, что соответствует 10 годам регулярного использования. (Были продемонстрированы и полноцветные прототипы.) На основе органических молекул полифлуорена были разработаны и другие виды полимеров и их смесей. Подбирая вещества, состоящие из

молекул различной длины, можно получить любой цвет — от красного до зеленого.

Достижения в области химии проводящих полимеров вызовут бурное развитие молекулярной электроники. В перспективе транзисторы и другие элементы электронных схем будут уменьшены до размеров отдельных молекул. Это позволит сильно увеличить их быстродействие и собрать мощный компьютер в объеме наручных часов.

Кстати, недавно появилось сообщение о том, что ученые из Кембриджского университета уже разработали технологию производства микросхем из полимерных материалов. Компания Plastic Logic обещает скоро представить прототип сверхдешевой пластиковой микросхемы.

Исследования электрофизических и оптических свойств первого поколения полимерных материалов активно проводились (в том числе и ФТИ им. А. Ф. Иоффе) еще в 1960-х годах. Однако появление после 1977 года последнего поколения проводящих полимеров сделало весьма актуальным их тщательное исследование. Актуальность вопроса была обусловлена в первую очередь поиском сверхпроводимости, которая в таких материалах была предсказана теоретически. Во-вторых, происходили оптимизация синтеза и анализ свойств таких полимеров с точки зрения их применения в органической электронике (светодиоды, транзисторы и т. д.).

Автор этой статьи начал свою работу в ФТИ им. А. Ф. Иоффе с исследований электрофизических свойств неупорядоченных полупроводниковых пленок. Эти исследования вскоре были сфокусированы на проводящих полимерных пленках в связи с появлением в то время работ по транспорту в новых полимерных материалах. В то время нас интересовали свойства сопряженных полимеров, которые они приобретают после их облучения ускоренными до энергий порядка 100 кэВ ионами инертных газов — аргона, азота и др. Дело в том, что проводимость таких облученных пленок возрастала на 10-15 порядков, достигая значений 100-1000 S/см и сохраняя такую высокую проводимость в течение нескольких лет. Наши работы получили развитие в разработке криогенных датчиков температуры на основе таких, облученных ионами полимеров. Другим направлением работ в то время были исследования электронных свойств легированных пленок полиацетилена — проводящего полимера, впервые исследованного будущими нобелевскими лауреатами в 1977 году. Эти работы проводились в сотрудничестве с химиками из Института химической физики (г. Москва). По результатам этих исследований в ФТИ мною была защищена кандидатская диссертация в 1989 году. Следует отметить, что существенное влияние на эффективность проводимых нами исследований оказали события 1980-1990-х годов, которые привели к существенному снижению финансирования науки. В частности, в нашем случае проводить модификацию свойств полимеров

путем облучения высокоэнергетичными ионами оказалось слишком дорого. Необходимо было искать какие-то другие возможности для проведения научных исследований в области проводящих полимеров на высоком конкурентоспособном уровне.

В 1994 году мне предоставилась уникальная возможность наладить контакты с мировыми лидерами в области исследований проводящих полимеров — Институтом полимеров и твердых органических соединений в г. Санта-Барбара (Калифорния, США). Алан Хигер, возглавлявший институт, заинтересовался моими исследованиями. Параллельно мне удалось организовать совместную работу и с биологическим факультетом Университета Лос-Анжелеса (Калифорния). Результатом этих усилий явилась моя работа в Институте полимеров и твердых органических соединений в г. Санта-Барбаре в 1996–1997 гг. Следует отметить, что все работы в институте Алана Хигера в то время были направлены на синтез и исследование свойств полимеров, пригодных для создания органических светодиодов. В мою задачу входило исследование свойств проводящих полимерных слоев для инъекции носителей в активный слой светодиодов. Были впервые исследованы стабильные проводящие полимеры, которые сейчас широко используются в составе органических светодиодов. После возвращения из США я получил приглашение в Або университет г. Турку (Финляндия) для проведения комплекса исследований органических транзисторов, необходимых для управления светодиодами в дисплейной матрице. В дальнейшем по рекомендации Алана Хигера я работал приглашенным профессором в Политехническом университете г. Лозанна (Швейцария) (где мы исследовали свойства транзисторов на органических кристаллах в связи с публикациями Шона из Бэлл Лаб.), а также в Сеульском национальном университете (г. Сеул, Корея), где проводились работы по исследованию свойств квазиодномерных полимерных нанопроводов, что является весьма актуальной тематикой для органической наноэлектроники в связи с необходимостью увеличения плотности транзисторов в интегральных схемах будущего. Моя работа в Корее включала как чтение лекций по органическим полупроводникам для аспирантов, так и научные исследования по этой теме. Результаты проведенных исследований были отражены в первом обзоре на эту тему, опубликованном в 2006 году в журнале *Advanced Materials* (импакт фактор = 9.105), который в то время вошел в десятку наиболее читаемых статей этого журнала. Надо отметить, что одним из результатов работы лаборатории явилось присуждение ей статуса Национальной лаборатории в рамках Кореи, в чем был и мой посильный вклад. Параллельно с исследованием полимерных нанопроводов нами велись исследования, связанные с совершенствованием компонентов органических светодиодов. Их результатом явилось обнаружение эффекта переключения цвета излучения фотолюминесценции под воздействием приложенного электрического поля в композитных

пленках полимер-неорганические наночастицы. Новизной разрабатываемых нами структур является их способность перестраивать длину волны излучения в широком спектральном диапазоне, а также переключаться в устойчивые состояния с фиксированной интенсивностью излучения, что предоставляет возможность получения новых, более простых схемных решений для архитектуры светодиодных матриц. Реализация данных свойств обеспечивается применением новых органических, а также композитных материалов на основе электрически и оптически активных полимеров и неорганических наночастиц. Предложенный нами подход к решению научной задачи совмещает высокую технологичность органических и полимерных материалов с превосходными оптическими и электрическими свойствами неорганических нанокристаллов. При соответствующем выборе компонентов для композитных слоев легко получить дешевые источники белого света, что открывает безграничные возможности для их практического применения. Важно еще раз подчеркнуть, что наши результаты коррелируют с тематикой исследований, проводимых в ведущих центрах и компаниях по органической электронике и являются чрезвычайно актуальными для практического применения органических светодиодов.

Основным результатом наших совместных исследований с зарубежными коллегами в области проводящих полимеров явился огромный опыт и понимание наиболее перспективных направлений в этой области на сегодняшний день. Полученный опыт позволяет проводить экспертную оценку перспективности текущих работ в этой области, их актуальности и соответствия потребностям времени. Этот опыт активно используется автором при работе в качестве официального рецензента в таких журналах, как *Physical Review B*, *Physical Review Letters*, *Nanotechnology* и др. В то же время необходимо отметить, что сегодня в России уделяется недостаточно внимания проблемам в области полимерной и молекулярной электроники, органических нанотехнологий, что явно не соответствует важности этого направления. Критический анализ опыта работы автора в ведущих мировых центрах по исследованию органических материалов показывает, что это и смежные с ним направления являются одними из приоритетных национальных проектов во всех экономически развитых странах (особенно в таких, как США, Япония, Корея, Тайвань). Финансирование таких проектов осуществляется, как правило, из национальных источников, при этом особое внимание уделяется тому, чтобы вновь создаваемая интеллектуальная собственность оставалась в стране финансирования. Международное сотрудничество, если и допускается, то только путем приглашения ведущих зарубежных специалистов и экспертов в национальные центры для более быстрого и эффективного проведения работ по обсуждаемой теме. В этой связи нет никаких оснований полагать, что ведущие в области органических нанотехноло-

гий страны будут оказывать поддержку своим менее развитым и удачливым конкурентам. Отметим, что большинство стран — лидеров в области органической электроники — страны с крайне ограниченными природными ресурсами. Производство и продажа продуктов в области органической электроники, которые являются по своей сути продуктами глубокой переработки углеводородного сырья, может быть эффективным путем развития этих стран. Россия весьма богата такими сырьевыми ресурсами, которые необходимы для производства проводящих полимеров. Поэтому объективная необходимость интенсивного развития полимерной электроники в России может рассматриваться как один из путей перехода от сырьевой к инновационной экономике.

Работы, проводимые в настоящее время в группе органической электроники (руководитель А. Н. Алешин, <http://www.ioffe.ru/LNEPS/research/organic.html>) лаборатории А. Г. Забродского ФТИ им. А. Ф. Иоффе, лежат в русле современных тенденций в этой области и охватывают такие темы, как «Исследование механизма переключения цвета эмиссии электрическим полем в композитных пленках

полимер-неорганические наночастицы и разработка активных слоев на их основе для органических светодиодов» (поддержан РФФИ в 2007 г.), «Разработка ячеек памяти на основе сопряженных полимеров» (в рамках программы фундаментальных исследований президиума РАН «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов» — подпрограмма «Полифункциональные материалы для молекулярной электроники». Координатор подпрограммы — академик С. М. Алдошин) и ряд других проектов. Сейчас у нас имеется четкое понимание научных приоритетов в этой области — то, что называется «видение проблемы». Однако прогресс в области органической электроники делает устаревшими результаты уже 3-4-летней давности, если не прикладывать новые сверхусилия в области эксперимента, что требует адекватного вложения финансовых средств. Поэтому автор полностью согласен с тезисом, озвученным лауреатом Нобелевской премии по химии Аланом Мак-Диамидом на Нобелевском симпозиуме в С.-Петербурге в 2003 году: «Научное видение без его финансовой поддержки — это всего лишь галлюцинация...»

---

## Нанотехнологии — от теории к практическому применению



**Н. Н. Ермилов,**  
генеральный  
директор ЗАО ИЛИП



**Н. А. Чарыков,**  
д. х. н., профессор,  
главный научный  
сотрудник ЗАО ИЛИП



**В. В. Павловец,**  
к. э. н., доцент,  
руководитель проекта  
«Нанополимер»



**Е. А. Кузнецова,**  
старший менеджер  
международных  
инновационных  
проектов ЗАО ИЛИП

### У всех на устах

Сегодня в средствах массовой информации слово «нанотехнологии» является одним из наиболее часто употребляемых. Что же представляют из себя так широко обсуждающиеся нанотехнологии?

Нанотехнологии как таковые — это технологии, оперирующие величинами, сопоставимыми с размерами атомов, — от 1 до 100 нм. Использование веществ, состоящих из частиц нанометрового размера,

способно кардинально изменить наши представления о возможностях медицины, электроники, техники. Именно поэтому сегодня нанотехнологии являются одной из наиболее перспективных и интенсивно развивающихся областей науки.

Нанотехнологии входят в список приоритетов национальных и региональных программ развития (крупнейшими являются седьмая Рамочная программа Европейского Союза (FP7), Национальная нанотехнологическая инициатива США). Правительством Российской Федерации утверждена «Программа ко-

ординации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации» и «План действий по стимулированию развития nanoиндустрии», федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы» и ряд других документов, устанавливающих приоритетность и междисциплинарную значимость исследований в данной сфере. Исследования финансируются через различные федеральные целевые программы, ФЦНТП, РФФИ, целевые программы РАН, Минпромэнерго, Росатом и др. Ведется речь о создании российской национальной нанотехнологической инициативы и «Государственной нанотехнологической корпорации». Частные компании также стремительно расширяют объемы инвестирования в nanoотрасль.

## Волшебный шарик — фуллерен

Одним из наиболее перспективных направлений в последние годы справедливо считают углеродные нанотехнологии. Под углеродными нанотехнологиями подразумеваются технологии с использованием фуллеренов, нанотрубок и других похожих структур, которые можно назвать общим термином «углеродные каркасные структуры».

В 1997 году Р. Е. Смолли, Р. Ф. Керл, Г. Крото получили Нобелевскую премию в области химии за изучение молекул легких фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ .

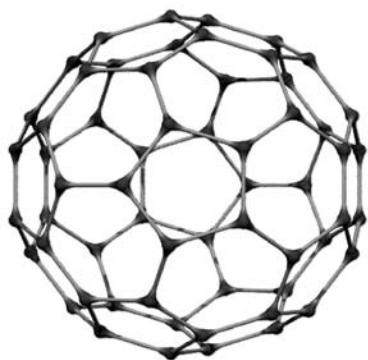


Рис. 1. Схема молекулы фуллерена  $C_{60}$

Дальнейшее изучение показало, что углерод способен формировать самые разнообразные замкнутые поверхностные структуры, состоящие из пяти, шести, семи и восьмиугольников (самый легкий фуллерен  $C_{20}$  — правильный додекаэдр, состоящий из 12 пятиугольников) вплоть до тысяч углеродных единиц. Также большой интерес представляют разнообразные материалы с фуллереновыми фрагментами (нанотрубки, баррели, онионы, бусины, конусы и т. д.) и их производные, так называемые фуллероидные наноматериалы.

Наряду с переворотом, который открытие фуллеренов произвело в фундаментальной науке, весьма многообещающе их промышленное применение, в первую очередь в качестве новых высокотехнологичных материалов.

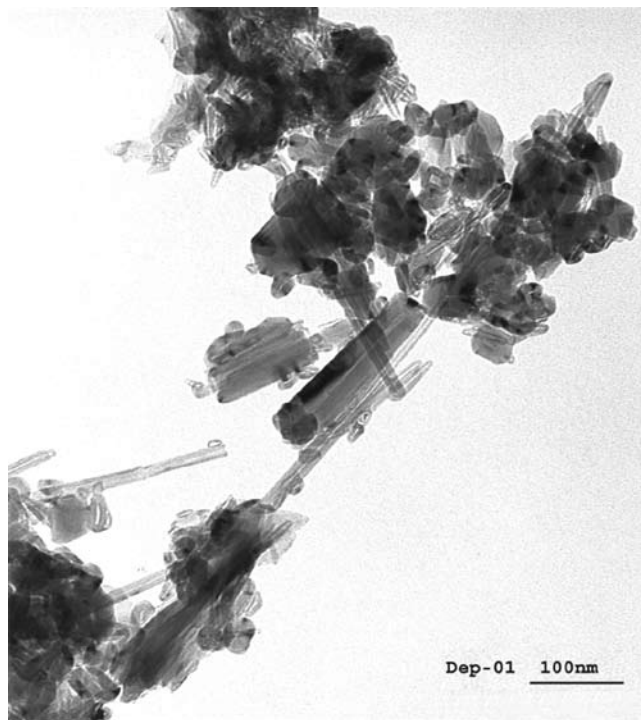


Рис. 2. Фуллероидный материал (однослойные и многослойные нанотрубки, нанобаррели, нанолуковицы)

Эта трехмерная сферическая молекула обладает уникальными физическими, химическими и физико-химическими свойствами, в числе которых:

- электрические (полупроводник, проводник и в определенных условиях сверхпроводник);
- оптические (фотохромный эффект — изменение пропускания света в зависимости от интенсивности);
- химические (способность образовывать соединения с очень многими и очень разнообразными



Схема 1. Некоторые возможные применения фуллеренов и фуллероидных материалов



ми веществами, способность удерживать другие вещества внутри молекулы, способность к поглощению свободных радикалов);

- биологические (относительная безопасность и инертность самого фуллерена при возможности создания активных производных).

Этот комплекс особых свойств варьируется в зависимости от типа фуллерена или материала с фуллероидными фрагментами и обеспечивает очень широкие сферы применения этих материалов. В соединении с другими веществами фуллерены и другие углеродные каркасные структуры позволяют получить материалы с принципиально новыми свойствами, востребованными практически во всех сферах — от медицины и косметологии до авиа- и ракетостроения.

## Сдерживающие факторы развития

Производительность современных технологий синтеза фуллеренов в настоящее время довольно низкая. Обычные установки синтеза фуллеренов имеют производительность около 10 г сажи в час, при этом содержание фуллеренов в саже не превышает 8-9%. Последующие затраты на очистку фуллеренов оказываются очень высокими, а технологии — трудозатратными. Все это в совокупности обуславливает очень высокие цены на фуллерены, сдерживающие их массовое применение (от 25 долларов за грамм  $C_{60}$  до нескольких десятков тысяч долларов за грамм индивидуальных высших фуллеренов  $C_{76}$ - $C_{90}$  и выше).

Очевидно, что для широкомасштабного прорыва в данной сфере прежде всего необходимо было новое решение в области производства углеродных нанокластеров.

## Достижения

ЗАО «Инновации Ленинградских институтов и предприятий» — инновационно-технологический центр в Санкт-Петербурге, обладающий 17-летним опытом по управлению и финансированию инновационных проектов, в настоящее время специализируется на системном развитии направления «углеродные нанотехнологии». Работа началась в 2002 году, когда по заказу итальянской компании Job Joint s.r.l. под научным руководством проф. Г. А. Дюжева было спроектировано, изготовлено и поставлено в Италию оборудование для получения фуллерена  $C_{60}$  с пакетом интеллектуальной собственности (патенты и know-how). В дальнейшем ЗАО ИЛИП продолжило развитие направления.

Целью проектов, выполнявшихся в течение 2004-2006 гг. ЗАО ИЛИП и дочерними фирмами, являлось создание новых технологий, промышленных аппаратов и производств фуллеренов и фуллероидных структур, характеризующихся низкой себестоимостью продукции, высокой производительностью, низкими энерго- и трудозатратами производства. Решение этих задач, над которым в ЗАО ИЛИП работают ведущие химики, физики, профессора и доктора наук, известные в России и за рубежом, позволило затем создать технологии применения указанных структур и одновременно рынок продажи указанной наноуглеродной продукции.

Технологическая цепочка ЗАО ИЛИП способна обеспечить полный ассортимент фуллереновой продукции высокого качества с низкой себестоимостью. Полный замкнутый технологический цикл позволяет получать фуллереносодержащую сажу, фуллереновую смесь, чистые фуллерены  $C_{60}$ ,  $C_{70}$ , смесь высших фуллеренов и индивидуальные высшие фуллерены  $C_{76}$ ,  $C_{78}$ ,  $C_{84}$  и  $C_{90}$  высокой степени чистоты.

По полученным результатам имеется 4 патента, 2 заявки на получение патентов, 8 технологий сохраняются в режиме ноу-хау.

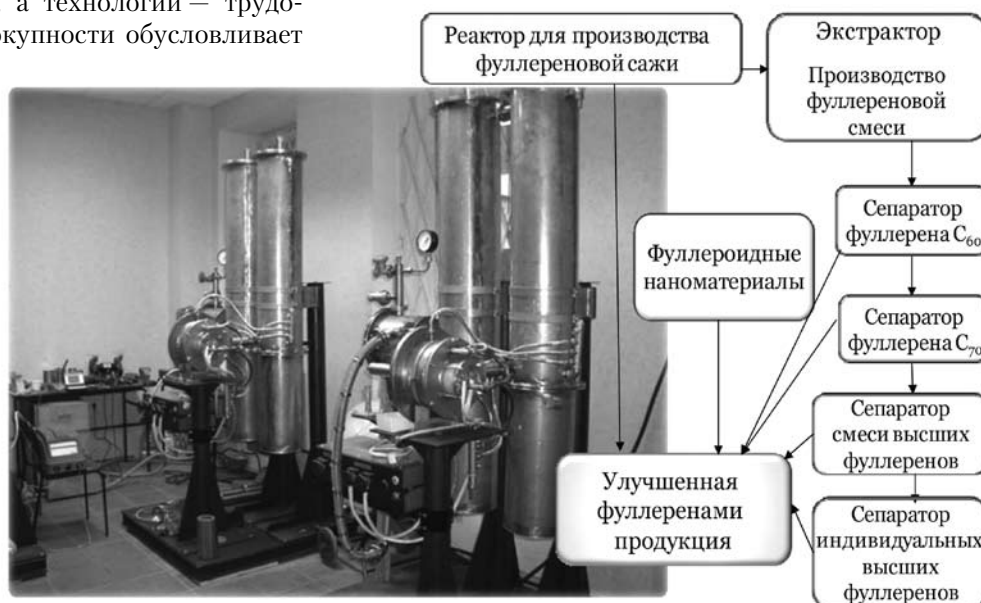


Рис. 3. Установка для производства углеродных наноматериалов, ИТЦ ИЛИП

## От теории к практике. Нанополимеры

Исследования, проведенные в лабораториях ЗАО ИЛИП, показали, что полимеры являются очень «благодарным» материалом для наноструктурирования.

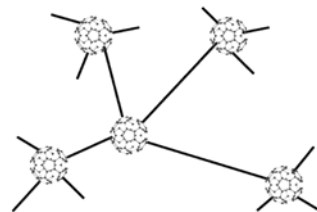


Рис. 4. Соплимер, сформированный молекулами фуллерена  $C_{60}$  и полимерными цепями на основе мономерных молекул аминокислот, уретанов, стирола

Введение нанодобавок позволяет получить полимеры с уникальными свойствами и значительно расширить сферы и рынки применения полимеров.

Новые нанополимерные материалы существенно изменяют свои основные эксплуатационные характеристики:

- механические — увеличивается твердость, прочность (на растяжение, разрыв, изгиб), модули упругости, ударная вязкость,
- трибологические — уменьшаются коэффициенты трения (по стали, по самому нанополимеру), коэффициенты задира, увеличивается износостойкость (при сухом и мокром трении) и трещиностойкость,
- физико-химические — увеличиваются температуры плавления, размягчения, деструкции (при эксплуатации на воздухе и в агрессивных водных средах), увеличивается морозостойкость, уменьшается влагопоглощение, увеличивается химическая стойкость (по отношению к электрохимической и газовой коррозии, действию окислителей, кислот и щелочей), уменьшается содержание непрореагировавшего мономера, увеличивается светостойкость (по отношению к видимому и ультрафиолетовому свету), практически не изменяется плотность,
- электрофизические — уменьшается объемное и поверхностное удельное электрическое сопротивление, увеличивается диэлектрическая проницаемость, электропрочность,
- акустические свойства — увеличиваются коэффициенты ослабления мощности звуковой волны, уменьшается скорость распространения звука (в звуковом диапазоне длин волн).

В Технологическом университете города Тампере (Финляндия) в рамках реализации мероприятий проекта COIN (Connecting SME Innovations), финансируемого Европейской Комиссией по Программе соседства юго-восточной Финляндии и России, завершены лабораторные испытания свойств произведенных в ЗАО ИЛИП образцов модифицированных различными типами фуллероидных материалов полиамида-6 и эпоксидной смолы. Совокупность свойств протестированных образцов, по мнению профессоров Технологического университета Тампере, представляет большой интерес для практического внедрения этих материалов. В настоящий момент отчеты об испытаниях переданы для изучения в ряд крупных финских производственных компаний.

Фотографии на рис. 5 и 6 иллюстрируют произошедшие изменения в структуре полимера (капролона). Уменьшен размер кристаллитных зерен, сужены межкристаллитные пространства.

Модификация капролона фуллереновыми материалами приводит к увеличению прочности и эластичности, температур плавления и деструкции, уменьшению теплопроводности и влагопоглощения, улучшению антистатических свойств — сопротивление уменьшается на 5-8 порядков, что способствует

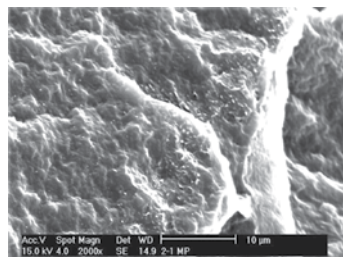


Рис. 5.  
Фотография скола немодифицированного капролона (полиамида-6)

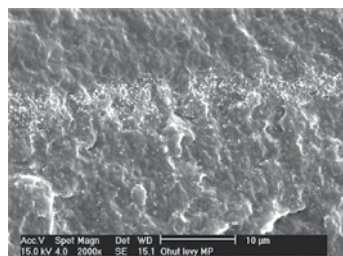


Рис. 6. Фотография скола капролона с наноуглеродными добавками

**СПРАВКА:** капролон (полиамид-6) — полимерный материал конструкционного и антифрикционного назначения. Уникальными свойствами капролона, определяющими его широкое применение в судостроении, сельхозтехнике, энергетике, химической, нефтяной, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, являются: высокая прочность, малый вес (в 6-7 раз легче бронзы и стали); низкий коэффициент трения, в силу чего капролон может работать без смазки в узлах трения; устойчивость к воздействию углеводородов, масел, спиртов, щелочей и слабых кислот, а также нетоксичность. В частности, в судостроении капролон используется для изготовления подшипников скольжения, направляющих, вкладышей узлов трения, шкивов, блоков и опорных роликов грузоподъемных механизмов, корпусов, кронштейнов, ступиц колес и других деталей конструкционного назначения, к которым предъявляются повышенные требования по ударной и термической стойкости.

более быстрому стеканию статического электричества. Одновременно существенно нарастает диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ) — до 20 отн. ед. и вместе с ней — пробойное напряжение.

Сочетание этих свойств обеспечивает качественно более высокий уровень безопасности работы с изделиями в условиях сильной загазованности легко воспламеняющимися и взрывоопасными газами (например, при выбросах метана в угольных пластах). Стандартная технология изготовления компактного капролона при этом остается практически неизменной. Стоимость фуллереновых добавок к капролонам незначительна.

## От лабораторных тестов к крупномасштабному производству. Завод «НаноПолимер»

В настоящий момент ЗАО ИЛИП совместно с ООО «Судопластсервис» реализует проект по созданию крупномасштабного промышленного производ-

ства полимеров и пластиков, модифицированных нанодобавками на основе фуллеренов, и изделий из них.

Создается производство трех новых модификаций полиамида-6:

- **Антистатический** — на 6-7 порядков уменьшено удельное сопротивление материала (переход диэлектрика в полупроводник), в 3-10 раз увеличена диэлектрическая проницаемость, в 2-3 раза увеличена электропрочность при сохранении прочих характеристик. Используется в условиях взрывоопасных производств (горнодобывающие, горнообогатительные, текстильные, мукомольные и химические производства), дешевле имеющихся на рынке аналогов в 2-3 раза, может производиться большими партиями (технологичен). Данная модификация может вытеснить металлические ролики для конвейеров на взрывоопасных производствах.
  - **Антифрикционный** — снижено трение в 2,5 раза (по сравнению с капролоном, что в 6 раз ниже показателей стали), повышена износостойкость в 2 раза, повышена температура деструкции на 30°C, на 30-50 отн. % уменьшены коэффициенты задира при сохранении прочих характеристик. Используются как замена трущимся деталям из металла. Данная модификация может завоевать 50-60% рынка капролонов.
  - **Черный и серый** — имеет в отличие от представленных на рынке аналогов равномерное распределение цвета, не пачкается.
- Для всех трех модификаций увеличена прочность и эластичность материала на 30-100 отн. %.

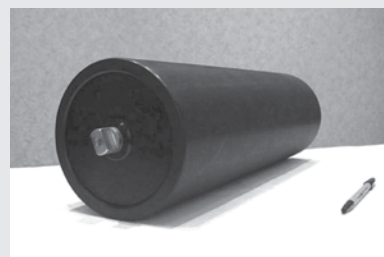
**На первоначальном этапе завод будет производить следующую номенклатуру продукции:**

- **Ролики для ленточных транспортеров.**  
**Применение:** горно-шахтное оборудование, целлюлозно-бумажное производство, наземные авиаслужбы, производство металлопроката и пр. Благодаря уникальным свойствам материала это изделие дает экономию на эксплуатационных расходах, в том числе за счет снижения истираемости транспортной ленты.
- **Подшипники скольжения и качения.**  
**Применение:** судостроение (подшипники гребных и дейдвудных валов, подшипники баллеров рулей и насадок), нефтеперерабатывающая промышленность (подшипники радиальных опор турбобуров, опорно-направляющие кольца для протаскивания труб внутри защитных оболочек), металлургия, гидроэнергетика, машиностроение, авиастроение, электротехническая, пищевая промышленность, железнодорожный транспорт, строительная техни-

## ОБРАЗЕЦ ПРОДУКЦИИ:

ролик для транспортеров горно-шахтного оборудования.

Изготовлен из антистатической конструкционной пластмассы: капролон, модифицированный фуллеренами (полиамид-6).



Благодаря уникальным свойствам материала это изделие может применяться при взрывоопасных условиях вместо металлов, что дает экономию на эксплуатационных расходах, в том числе за счет снижения истираемости транспортной ленты.

ка и др.

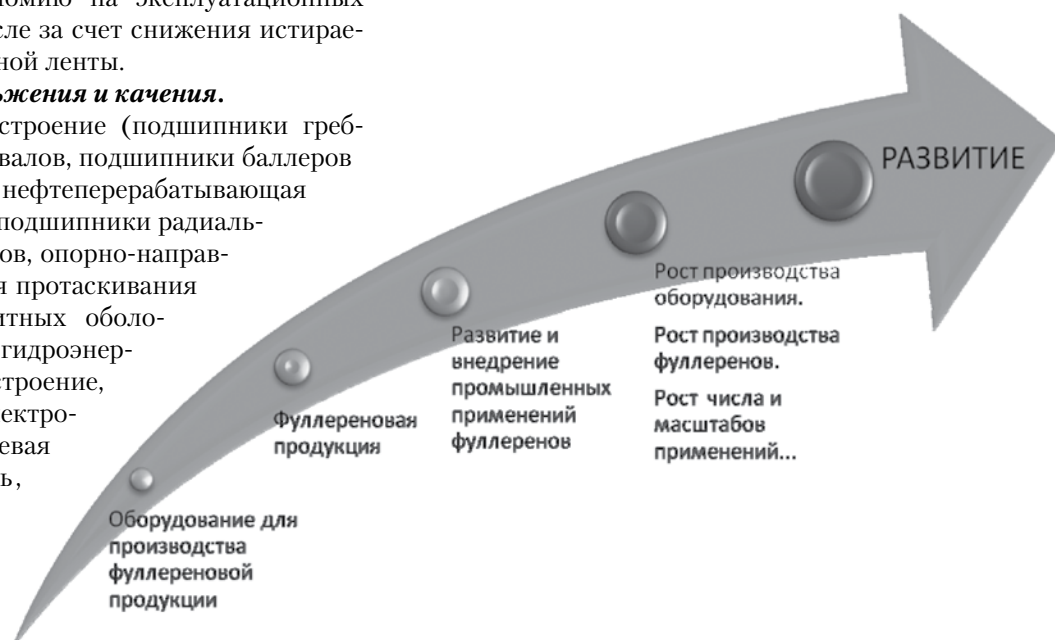
- **Сопутствующая продукция:** фуллерены и фуллероидные материалы, модификации полиамидов с заданными свойствами.

## Предпосылки роста

Развитие практических применений углеродных наноматериалов неизбежно приводит к нарастанию потребности в сырье (фуллереновой продукции), что в свою очередь ведет к возрастанию потребности в высокопроизводительном оборудовании.

С учетом потенциальных потребностей в фуллеренах ЗАО ИЛИП разрабатывает проект создания промышленного производства фуллеренов (крупнейшего в Европе).

Таким образом, развитие стратегически важной тематики углеродных нанотехнологий происходит по восходящей спирали. Главное — своевременные и комплексные действия на каждом из этапов.



# Инженерные технологии микромодификации полимерных и неорганических композиционных материалов фуллероидами

**А. Н. Пономарев,**  
к. т. н., действительный член МАНЭБ,  
генеральный директор  
ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий»,  
г. Санкт-Петербург



*Технологические процессы получения любых ультрадисперсных материалов связаны со значительными материальными затратами. В полной мере это проявляется и при производстве наноматериалов фуллероидного типа (фуллерены, нанотрубки, астралены). Поэтому представляют исключительный интерес именно те направления применения фуллероидов, в которых для достижения промышленно значимых макроэффектов достаточно использования этих наноматериалов в «гомеопатических» дозах.*

*Электронное строение углеродных кластеров фуллероидного типа позволяет рассматривать их как эффективные диссипаторы энергии возбуждения, а следовательно, как фото-, радио- и термостабилизирующие добавки. Высокая термомеханическая устойчивость вкупе с уникальными электрофизическими свойствами обеспечивают высокую эффективность таких наносистем в качестве модификаторов межфазных границ, в том числе как центров управления*

*надмолекулярной структурой в полимерах, и центров кристаллизации в неорганических композиционных материалах.*

*The technology of all high disperse materials is rather expensive. This is the fact also for the technologies of fulleroid nanoparticles, such as fullerenes itselfs, astralenes and carbon nanotubes different type. Because that the most interesting applications for its are such technologies, that are able to provide the biggest technical effects by the smallest amount of fulleroids.*

*The electron structure of the fulleroids permit to use its as high effective photo-, thermo- and radio stabilizers. The high thermomechanical stability and unique electrophysical properties of fulleroids provide the possibilities to use its for the modification of the interphase boards in polymers and for the operating of the processes of growing the crystal structures in same inorganic composites.*

## Электронное строение и оптико-физические свойства фуллероидных наноматериалов

Наиболее показательным примером микромодификации материалов с использованием фуллероидных наносистем может служить технология создания сред с нелинейно-оптическими свойствами. На этом же примере легко проинтерпретировать особенности электронного строения фуллероидов и характер их взаимодействия со средой. Электронные оболочки фуллероидов характеризуются наличием большого количества делокализованных  $\pi$ -сопряженных электронов, что определяет их нелинейно-оптические свойства. Результаты экспериментального изучения нелинейно-оптических характеристик прозрачных сред, содержащих однородно распределенные в них фуллероидные наночастицы, позволили обнаружить сильный фототропный эффект (ограничение мощности проходящего светового потока), отличаю-

щийся высоким быстродействием (пикосекунды). В основе механизма оптического ограничения лежит в первую очередь явление насыщенного поглощения при переходах электронов с метастабильных уровней (RSA поглощение) [1].

Учитывая наличие большого количества разрешенных высших триплетных и синглетно-возбужденных состояний фуллероидов, суммарная вероятность этих переходов достаточно велика. В случае значительных удельных мощностей к процессу RSA добавляются процессы нелинейного изменения показателя преломления (самодефокусировка) и процессы фотоиндуцированного рассеяния. При этом предполагается, что сама среда непосредственно не взаимодействует с возбужденными фуллероидами, а также отсутствует взаимное влияние возбужденных фуллероидных наночастиц.

Для выполнения этих условий концентрация фуллероидных добавок не должна превышать  $10^{-6}$ – $10^{-8}$ . Гомогенизация таких систем достигается последо-



вательным разбавлением растворов либо суспензий фуллероидов в сочетании с последующей ультразвуковой обработкой создаваемых таким образом нелинейно-оптических фуллеренсодержащих сред. Созданные по этой технологии практические устройства, обеспечивающие защиту от мощных лазерных пучков, обладают следующими параметрами (табл. 1).

Таблица 1

Параметры оптических ограничителей на дисперсиях астраленов

Параметры	Значение
Спектральный диапазон, мкм	0,3–1,5
Быстродействие, с	$10^{-9} - 10^{-8}$
Контраст, крат	$10^3$
Рабочий диапазон плотности энергии, Дж/см <sup>2</sup>	$10 - 10^{-4}$
Пропускание слабого сигнала, не менее, %	80
Цветовой комфорт	+

Однако отсутствие взаимодействия со средой у фуллероидов является, скорее всего, исключением. Не рассматривая эффекты и последствия образования химических связей с молекулами среды, оценим лишь возможности рассеяния и переноса энергии возбуждения. На рис. 1 (а) представлена схема разрешенных уровней фуллерена C-60, кислорода и йода в молекулярной и атомарной форме. Любое энергетическое воздействие на фуллероиды (световые потоки, ионизирующее излучение, СВЧ-поля, интенсивное тепловое воздействие) приводит к их переходу в различные возбужденные состояния. На рис. 1 (б) предложена схема последовательной передачи энергии возбуждения от фуллерена C-60 на кислород и йод с

преобразованием энергии фотона накачки в энергию фотона генерации. Такая модель, хорошо подтвержденная экспериментом, открывает возможности создания мощного фуллерен-кислород-йодного лазера (FOIL), в том числе с солнечной накачкой [2].

Инженерная реализация такого проекта, видимо, наиболее перспективна для оснащения летательных аппаратов, у которых задача снижения весовой нагрузки от собственных энергоисточников первостепенна.

## Физическое обоснование эффективности модификации композиционных материалов фуллероидами

Предложенный механизм характерен не только для передачи энергии возбуждения на кислород. Электронное строение фуллероидов, особенно относительно больших размеров (высшие фуллерены, тубулены, многослойные нанотрубки, астралены), представляет собой уже зонную структуру и дает возможность эффективного обмена энергией возбуждения между возбужденными молекулами среды и фуллероидами.

Наличие плотного облака определенным образом сформированных и обобществленных  $\pi$ -электронов допускает проявление металлических либо полупроводниковых свойств каждого отдельного фуллероидного кластера [3]. Поскольку диссоциации молекул среды всегда предшествует ее возбуждение, наиболее эффективным способом снизить показатели выхода диссоциации (деструкции) служит диссипация (рассеяние) энергии возбуждения на свободных или слабосвязанных электронах специально вводимых добавок фото- либо радиостабилизаторов. Концентрация фотостабилизаторов, например в полиэтиленах, не превышает  $5 \times 10^{-4}$  для серии IRGANOX

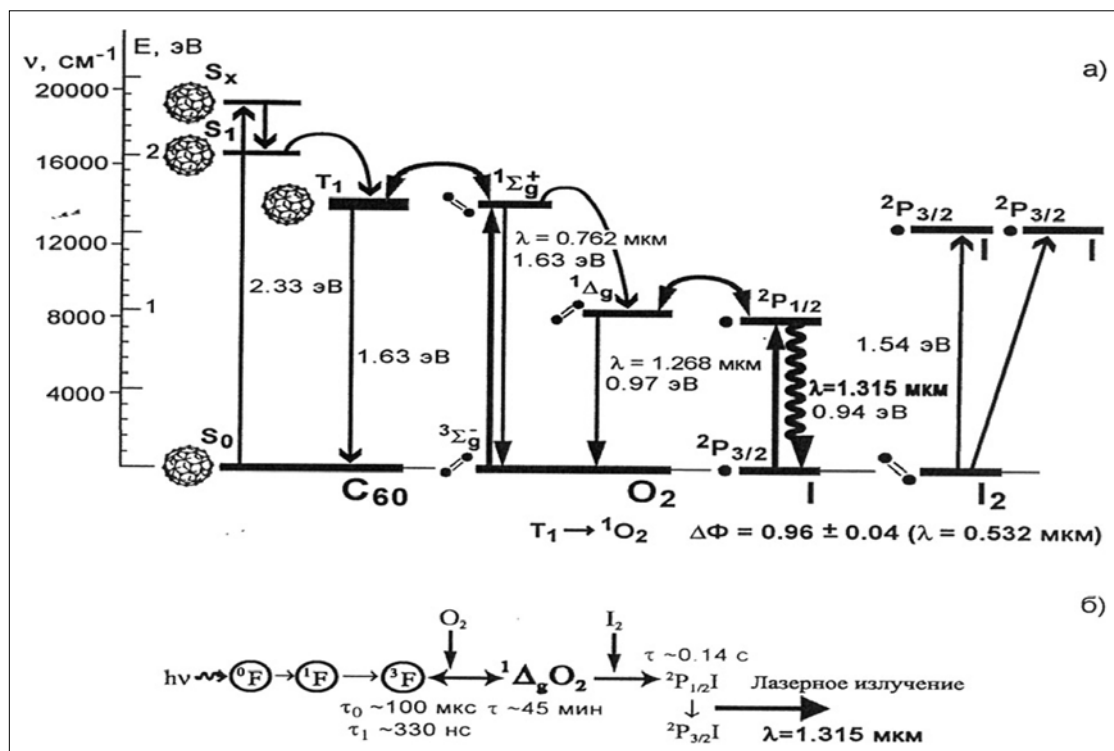


Рис. 1.  
Кинетическая схема FOIL  
а) схема наиболее важных энергетических уровней фуллерена, кислорода и йода  
б) схема преобразования энергии фотона накачки в энергию фотона генерации

(CIBA Corporation). Эффективность действия таких добавок зависит от удельной концентрации делокализованных электронов, пререизбыток которых как раз и наблюдается у фуллероидов. Таким образом, обоснованно предположить исключительную эффективность фуллероидных добавок как ингибиторов деструкции различной природы в полимерах и полимерных композиционных материалах.

Анизотропия и высокая устойчивость формы большинства фуллероидов определяет одноосную либо двусосную анизотропию свойств, в том числе их способность во внешних полях превращаться в аномально большие диполи, способные реализовать мощное дисперсионное взаимодействие (см. табл. 2).

Таблица 2

*Сравнительные значения дипольных моментов различных полярных молекул и некоторых фуллероидов*

№ п/п	Тип молекулы (кластера)	Дипольный момент (в Дебаях)
1	HF	1,91
2	CH <sub>3</sub> CL	1,78
3	H <sub>3</sub> CCHO	2,49
4	H <sub>2</sub> O	1,82
5	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NH <sub>2</sub> NO <sub>2</sub>	4,26
6	Астрален L=50 nm	> 1000 *
7	Многослойная нанотрубка L=500 nm	> 5000 *

\* — наведенный дипольный момент во внешнем поле напряженностью  $10^4$ – $10^6$  В/см

Следуя хорошо известной формуле Слейтона-Кирквуда, выражающей основной коэффициент разложения  $C_6$  в оценке энергии дисперсионного взаимодействия ( $C_6/R^6$ ) через величины статической поляризуемости  $\alpha^A$  и  $\alpha^B$  взаимодействующих молекул, получим:

$$C_6(\text{сл-к}) = 3/2 \times \alpha^A \alpha^B / 2(\alpha^A/N_A + \alpha^B/N_B),$$

где:

$N_A$  и  $N_B$  — число валентных электронов во взаимодействующих молекулах.

Для фуллерена C-60 это число, по крайней мере, 60, для гораздо более крупных фуллероидов (например, астраленов) это число может измеряться сотнями тысяч. Очевидно, что в этом случае энергетические показатели дисперсионного взаимодействия будут аномально высокими.

Экспериментально это подтверждается сильнейшей когезией фуллероидов в суспензиях, когда для разделения агломератов (рис. 2), объединяющих группы фуллероидных кластеров, требуется длительное и интенсивное внешнее воздействие (ультразвуковая обработка).

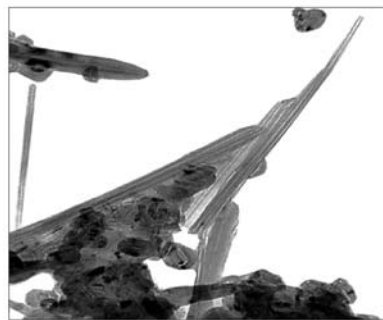


Рис. 2.  
Микрофотография явления агломерации астраленов на многослойных нанотрубках

Фуллероидные кластеры, демонстрируя высокую анизотропию поляризуемости, способны придать направленность действию дисперсионных сил [4]. Их  $\pi$ -электронная система сходна с ориентированным осциллятором, и взаимодействие фуллероидов с молекулами среды носит ориентирующий характер. Это явление, несомненно, должно наиболее сильно проявляться на границах фаз, оказывая ориентирующее воздействие на процессы полимеризации связующих в полимерных композитах и на процессы кристаллообразования в неорганических системах.

## Технологические основы микромодификации материалов и примеры ее практической реализации

Обеспечить равномерное распределение нанодисперсного модификатора по объему модифицируемого материала — задача крайне сложная и в общем случае практически невыполнимая, даже если наночастицы инертны и не склонны к агломерации. Фуллероиды же с их аномально высоким дисперсионным взаимодействием вообще крайне неудобны для введения в такие высоковязкие системы, как, например, смолы или полимерные связующие. Силы, связывающие агломераты фуллероидов, независимо от их природы можно характеризовать двумя показателями: абсолютной величиной и радиусом действия. В этом случае для разделения такого агломерата необходимо, чтобы:

- силы вязкого трения на поверхности агломерата были достаточно велики и могли бы преодолеть дисперсионные силы взаимодействия;
- разделенные частицы были бы удалены друг от друга на расстояние, превышающее радиус действия этих сил [5].

Учитывая значительные величины сил дисперсионного взаимодействия гигантских диполей фуллероидов, задача представляется почти неразрешимой. Следовательно, остаются как выход специальные или искусственные технологические приемы для достижения максимально однородного результата в распределении вводимых добавок. Технологическими приемами, наиболее отработанными нашим авторским коллективом, являются:

- использование слабых растворов или суспензий фуллероидов, получаемых методами последовательного разбавления для введения в связующее композита. Такой метод применим, если суще-

ствуют растворители, сочетаемые со связующим без потери последним своих характеристик;

- использование слабых растворов или суспензий фуллероидов для обработки поверхности объектов перед нанесением защитных пленочных покрытий. Этот метод эффективен в случае тонких слоев пленкообразователя;
- приготовление промежуточного концентрата, содержащего повышенное количество фуллероидов, смешивание которого с основным материалом связующего возможно с использованием стандартного оборудования;
- обработка фуллероидами поверхности высокодисперсного наполнителя перед его введением в композиционный материал.

Все четыре основных технологических подхода основаны на использовании растворов или суспензий фуллероидов. Относительно растворов фуллеренов существуют хорошо известные ограничения, связанные с использованием ароматических растворителей. Получение суспензий фуллероидов возможно с применением широкого круга жидкостей как ароматических углеводородов, так и полярных растворителей, в том числе на основе воды. Для каждой жидкой основы фуллероидных суспензий необходима отработка индивидуальных режимов концентрационной зависимости и режимов ультразвуковой обработки.

В этих условиях главными показателями эффективности технологии модификации композиционных материалов служит энергоемкость производства и показатели выхода годной продукции, определяемые стабильностью существования промежуточных полупродуктов, содержащих фуллероиды. На основании имеющегося лабораторного и опытно-промышленного задела можно утверждать, что дополнительные энергетические затраты составят в большинстве практических случаев не более 2% стоимости готовой продукции, а достигнутая стабильность растворов фуллероидов и фуллероидных суспензий превышает требования нормативов стабильности суточного запаса сырья и практически не влияет на суточные показатели производства.

По состоянию разработок уже к концу 2003 года был реализован ряд практических промышленных производств, иллюстрирующих предложенную концепцию. В первую очередь такой иллюстрацией служит технология защиты мрамороподобных известняков, внедренная на памятниках архитектуры Санкт-Петербурга при подготовке к юбилею города. Хорошо известно, что мраморные поверхности, эксплуатируемые в условиях внешних климатических воздействий, требуют обязательного нанесения гидрофобизирующих покрытий. Спектр применяемых гидрофобизаторов весьма обширен, однако даже самые лучшие кремнеорганические либо кремний-фторорганические пленки под действием солнечной радиации в городской среде разрушаются в течение 2-3,5 лет. Нами разработан способ гидрофобизации, при котором перед нанесением основного защитно-

го слоя на очищенную от загрязнений поверхность предварительно наносят специальный адгезив, представляющий собой раствор-суспензию фуллероидов в органическом растворителе либо в воде [6]. В этом случае значительно усиливается гидрофобизирующий эффект, как это показано на рис. 3.

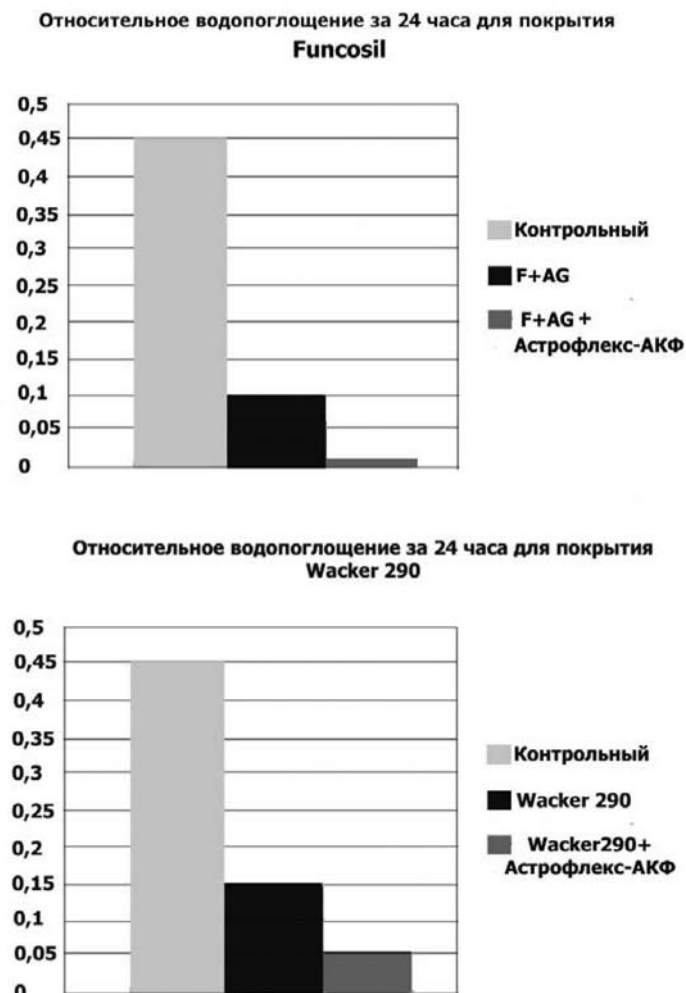


Рис. 3. Снижение относительного водопоглощения поверхности мраморных образцов после их обработки фуллероидным адгезивом «Астрофлекс –АКФ»

Поскольку толщина пленок элементоорганических гидрофобизаторов не превышает 50-100 мкм, можно утверждать, что представленная технология полностью соответствует вышеизложенному второму технологическому принципу. Концентрация фуллероидов собственно в адгезиве не превышает  $10^{-4}$ – $10^{-5}$ . В расчете на единицу площади гидрофобизирующей пленки эта величина значительно меньше. Тем не менее, достигается значительный эффект ингибирования фото- и термоокислительной деструкции гидрофобизирующих пленок, как это показано на рис. 4.

Определение коэффициента гидрофобизации связано с реализацией нестандартной методики, разработанной специалистами ГП «СПЕЦПРОЕКТ-РЕСТАВРАЦИЯ», поэтому следует учитывать, что



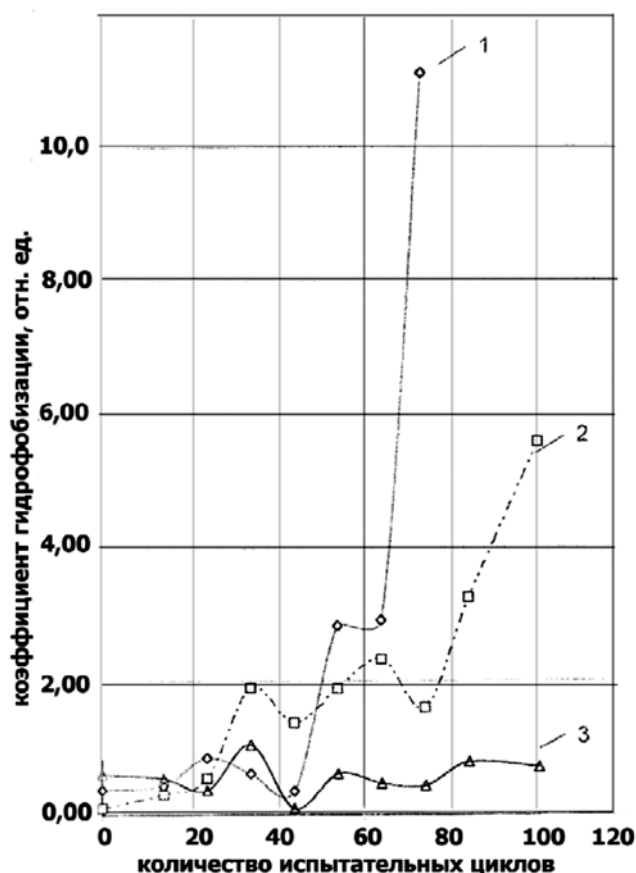


Рис. 4. Зависимость изменений коэффициента гидрофобизации от количества циклов при ускоренных испытаниях (1 цикл – 15 суток)

- 1 – образец защищен без адгезива;  
 2 – контрольный образец;  
 3 – образец обработан адгезивом перед нанесением защитного слоя

средние значения показателя 4–6 иллюстрируют полное отсутствие защитных функций, высокие – 10–12 показывают практически полное разрушение защитного слоя гидрофобизатора. Исходя из результатов ускоренных ресурсных испытаний можно утверждать, что применение фуллероидного адгезива увеличивает сроки действия гидрофобизирующей защиты памятников архитектуры до 7–10 лет.

Применение первого технологического приема и направления модификации фазовых переходов в композитах наиболее рельефно можно проиллюстрировать на примере микромодификации композиций на основе минеральных связующих (композиционных бетонов) [7]. В этом случае затворение смеси, содержащей портландцемент, наполнитель, высокомолекулярную фибру, суперпластификатор, минеральные и полимерные добавки, выполняется низкоконцентрированной водной суспензией фуллероидов. На границах наполнитель – формирующийся цементный камень фуллероиды играют роль центров направленной кристаллизации, что приводит, с одной стороны, к появлению фибриллярной структуры цементного

камня, а с другой стороны, к появлению упрочняющей надмолекулярной структуры полимерных добавок. На рис. 5 представлена микрофотография структуры цементного камня в модифицированной бетонной композиции.

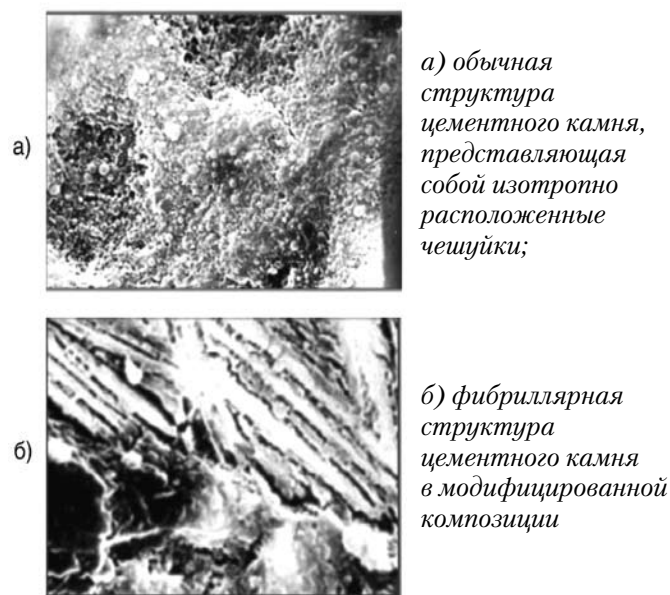


Рис. 5. Микрофотография структуры цементного камня

Появление нитевидной фибриллярной микроструктуры приводит к усилению физико-механических характеристик композиционных бетонов. Изучение концентрационной зависимости прочности на сжатие для бетонной композиции с плотностью  $1,25 \text{ т/м}^3$  от концентрации высокомолекулярной полимерной фибры и концентрации фуллероидных микродобавок показало возможность снижения количества дорогостоящих СВМ волокон без потери прочности. При этом общее количество фуллероидов (нанотрубки и астралены в данном случае) на 1 т композиции не превышало  $6,5 \times 10^{-6}$ . В оптимальном случае композиционный бетон с плотностью  $1,2\text{--}1,4 \text{ т/м}^3$  обладал прочностью на сжатие до 50 МПа и прочностью на растяжение при изгибе 4,4 МПа. В результате этой работы был разработан, апробирован и использован при строительстве моста через Волгу легкий нанобетон, обладающий водонепроницаемостью на уровне W20, морозостойкостью на уровне F300 при удобоукладываемости не хуже П4.

Реализация третьего и четвертого технологических подходов к микромодификации наиболее актуальна для задач создания перспективных углеродных и стеклопластиков, а также наполненных смол и герметиков. Опыт по поверхностной обработке СВМ-нитей показал, что со статистической достоверностью  $p=0,95$  происходит 20% увеличение их прочности на разрыв, а общее увеличение стойкости к расслаиванию многослойных композитов достигает 3 крат. При этом концентрация фуллероидных добавок не превышает  $10^{-4}$ . Необходимо также отметить, что вве-

дение фуллероидов в углепластики резко повышает их триботехнические характеристики, что позволило создать серию фуллеренмодифицированных антифрикционных материалов [8]. Однако в этом случае следует говорить о приповерхностной модификации этих композитов с некоторой, уже заметной концентрацией фуллероидных добавок.

## Выводы

Рассмотренные представления, модели и примеры полученных экспериментальных результатов позволяют говорить о перспективном новом направлении в технологии композиционных материалов — микромодификации материалов фуллероидными наномодификаторами — как о состоявшемся блоке технологических приемов, позволяющих эффективно использовать уникальные свойства фуллероидных наносистем в целях получения конструкционных материалов с новыми служебными и эксплуатационными свойствами. Спектр практических применений может быть значительно расширен, что позволит перейти к практической нанотехнологии в материаловедении со значительным технико-экономическим эффектом.

## Литература

1. Белоусов В. П., Белоусова И. М., Гавронская Е. А., Данилов О. Б., Згонник В. Н., Калинин А. Г., Миронова Н. Г., Пономарев А. Н., Соснов Е. Н. Широкополосные, быстродействующие нелинейно-оптические ограничители видимого диапазона на основе фуллереносодержащих сред. Оптический журнал. 1999. Т. 66, №8. С. 50-56.
2. Данилов О. Б., Белоусова И. М., Мак А. А., Белоусов В. П., Гренишин А. С., Киселев В. М., Крисько А. В., Муравьева Т. Д., Пономарев А. Н., Соснов Е. Н. Фуллерен-кислород-йодный лазер (FOIL). Физические принципы. Оптический журнал. 2003. Т. 72, №12. С. 32.
3. Stefano Sanvito, Young-Kyun Kwon, David Tomanek, Colin J. Lambert. Fractional Quantum Conductance in Carbon Nanotube. Phys. Rev. Letters. 2000. V. 84. P. 1974.
4. Дерягин Б. В. Электромагнитная природа молекулярных сил. Природа. 1962. №4. С. 16.
5. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). Наука. М. 1977. С. 127.
6. Пономарев А. Н., Никитин В. А., Шадрин С. А., Фомин В. М., Бондаренко С. Ф. Способ поверхностной гидрофобизации метаморфических осадочных пород. Патент РФ №2211206, приоритет от 26.06.2001 г.
7. Пономарев А. Н., Никитин В. А., Ваучский М. Н. Композиция для получения строительных материалов. Патент РФ №2233254, приоритет от 26.10.2000 г.
8. Абозин И. Ю., Бахарева В. Ф., Казаков М. Е., Мараховская М. Л., Никитин В. А., Пономарев А. Н. Модифицированные антифрикционные углепластики. Вопросы материаловедения. 2001. №2 (26). С. 78.

# Разработка и внедрение наноструктурных покрытий при изготовлении деталей газотурбинных двигателей



**В. А. Полетаев,**  
Д. Т. Н.,  
ректор  
Рыбинской  
государственной  
авиационной  
технологической  
академии (РГАТА)  
им. П. А. Соловьева



**Т. Д. Кожина,**  
Д. Т. Н.,  
профессор,  
проректор  
по НИР РГАТА  
им. П. А. Соловьева

*В статье рассматривается достаточно актуальная проблема технологии машиностроения — проблема износа и стойкости режущего инструмента. Использование наноструктурных покрытий позволит создать более прочные и легкие материалы с точно регулируемыми физико-механическими свойствами; термоизоляционные коррозионностойкие и износостойкие покрытия на основе наноструктурных материалов; высококачественные и стойкие к внешним воздействиям компоненты микроэлектроники.*

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П. А. Соловьева — вуз, созданный для обеспечения кадрами предприятий авиапрома. Для этого РГАТА совместно с этими предприятиями постоянно решает прикладные задачи по внедрению современных технологий, оборудования, методов проектирования и расчетов,

то есть на протяжении многих лет РГАТА постоянно занимается решением прикладных задач. За эти годы сформировались признанные научные технологические школы, в том числе и школа резания материалов.

Совершенствование процесса резания является постоянно существующей и постоянно решаемой задачей в процессе механической обработки. От успешности ее решения зависит себестоимость выпускаемой продукции.

До сих пор эта задача решалась за счет создания новых инструментальных сплавов, твердость которых превышала твердость обрабатываемых материалов. Однако этот путь уже исчерпал себя, то есть инструментальные сплавы на основе сталей достигли предела твердости, а материалы, получаемые спеканием (твердые сплавы), достигли предела своих механических свойств.

Вместе с тем, авиационные материалы постоянно повышают свои эксплуатационные свойства, снижая при этом обрабатываемость, в частности, почти все они имеют:

- низкую обрабатываемость вследствие их повышенной способности к упрочнению при пластической деформации;
- интенсивное схватывание контактных поверхностей и разрушение режущей части инструмента по причине малой теплопроводности жаропрочных и коррозионностойких сталей и сплавов и т. д.

Следовательно, проблема износа и стойкости режущего инструмента является главной при решении задачи повышения производительности механической обработки.

Это тем более актуально в данный момент, так как инструмент, получаемый методами порошковой металлургии, достиг своего максимально возможного развития. Так, минимальный размер зерен, из которых происходит спекание, составляет около 1 мкм. Это значит, что вероятность его выкрашивания достаточно высока и использовать его в существующем виде в ближайшем будущем будет вряд ли возможно.

Осознавая эту проблему, технологи поставили себе задачу создать инструмент с покрытием, которое обеспечивало бы высокую твердость, износостойкость и низкую теплопроводность, при этом его сердцевина должна иметь высокую прочность и ударную вязкость.

Такая задача на протяжении многих лет решалась и будет далее решаться в РГАТА.

**Цель работы** — разработка и внедрение инструмента с композиционным покрытием на основе осуществления технологии нанесения нанопокровтий, обеспечивающих его сплошность.

Технология исследований осуществлялась на основе логической матрицы, устанавливающей взаимосвязь между управляющими факторами, свойствами композиции покрытие — инструментальный материал в структурно-функциональной схеме резания (рис. 1).

Созданные в РГАТА методы расчета и структурирования покрытий основаны на моделях их работы,

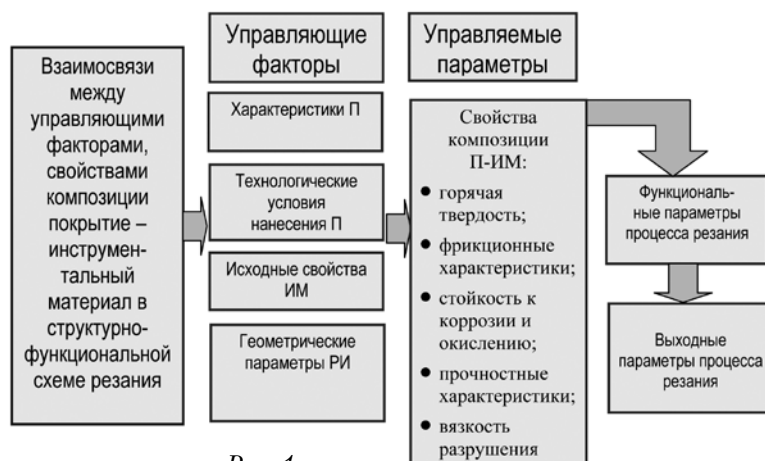


Рис. 1.

из которых следует, что покрытие в процессе резания остается без повреждений, если энергия износа, выделяющаяся при трении стружки о поверхность инструмента, меньше энергии адгезионного и диффузионного схватывания атомов покрытия и основы, образующих кластер.

То есть энергия адгезионного и диффузного схватывания между стружкой и покрытием должна быть меньше энергии диффузного и адгезионного схватывания между основой и атомами покрытия.

Из этого следует, что энергия каждого из атомов покрытия и основы уменьшается в результате образования кластерного соединения. Таким образом, высвободившаяся энергия (энергия адгезии) является разностью между энергией атомов до образования кластера и энергией кластерного соединения.

Аналогичным образом рассчитывается и энергия диффузионного перехода.

На основе этих моделей в РГАТА разработаны программы расчета энергий диффузного и адгезионного схватывания атомов покрытия с основой инструмента. В частности, из этого следует, что наибольшую энергию схватывания с карбидом вольфрама образуют покрытия из нитрида ниобия.

Соответственно, такие же программы разработаны для расчета энергий срыва покрытий стружкой в результате адгезионного и диффузного схватывания.

То есть на данный момент на основе сравнения этих энергий мы можем давать рекомендации по использованию тех или иных покрытий.

Для проверки предложенной РГАТА методики расчета покрытий были проведены экспериментальные работы по их нанесению. Работы проводились в РНЦ «Курчатовский институт». Метод нанесения покрытий — вакуумно-ионно-плазменный.

В процессе испытаний нанесение покрытий осуществлялось только на концевой инструмент. Это обусловлено тем, что инструмент из СМП предприятия приобретают и все фирмы поставляют его только с покрытиями. А инструмент концевой изготавливается самими предприятиями, поэтому после его изготовления или каждой переточки необходимо осуществлять или восстанавливать на нем то или иное

композиционное покрытие. На рис. 2 и 3 приведены несколько видов режущего инструмента с многослойными композиционными покрытиями.



Рис. 2, 3

Наиболее актуальны для ОАО НПО «Сатурн» испытания концевых фрез для фрезерования моноколес и лопаток компрессора (рис. 4, 5, 6, 7).



Рис. 4, 5, 6, 7

Особенностью данного инструмента является то, что он изготавливается из монолитного твердого сплава, получаемого в виде столбиков, из которых потом методом скоростного глубинного шлифования вышлифовывается режущая часть. Обработка осуществляется за один установ, что обеспечивает точное взаимное положение всех поверхностей. Инструмент в процессе своей жизнедеятельности выдерживает до 5-6 переточек, в ходе которых полностью восстанавливается режущая часть. Соответственно, после каждой переточки он требует нанесения покрытия.

Из результатов, приведенных в многочисленных протоколах испытания инструмента фрезерования моноколеса из сплава ВТЗ-1, следует, что наличие покрытия повышает производительность обработки вдвое.

Аналогичный результат достигнут при сверлении дисков турбины ГТД.

В данных деталях сверлятся каналы с отверстием диаметром 4 мм для охлаждения замков лопаток турбины. Количество отверстий — от 80 до 160 штук. Учитывая, что материал содержит почти 70% никеля, его обработка представляет сложнейшую технологическую задачу. А именно: сверла постоянно ломаются; одним сверлом сверлится не более двух отверстий

длиной 50 мм. Время обработки одного диска — от 8 до 16 часов. Внедрение сверл из твердого сплава с покрытием позволяет сократить время обработки до 2-х часов за счет 4-кратного увеличения скорости обработки и сократить расход инструмента в 5 раз.

Кроме того, на НПО «Сатурн» был испытан целый комплекс инструментов из быстрорежущих сталей с покрытиями. Причем этот инструмент использовался не в условиях автоматизированного производства, а в условиях технологических процессов, реализуемых на специализированном оборудовании. В частности, наносились покрытия на протяжной инструмент. На режущую поверхность инструмента наносились покрытия из TiC различной толщины. В результате установлено, что наличие покрытия увеличивает режущую способность инструмента, причем тем более, чем оно тоньше.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Существенным способом повышения производительности обработки является применение композиционных покрытий, сформированных на нанометрическом уровне.

2. Разработана методика расчета композиционных покрытий, основанная на создании теории покрытий, имеющих энергию связи с основой инструментального материала, превышающую энергию их срыва с режущей поверхности при резании.

3. Разработана модель сплошности покрытий.

4. Разработаны технологии нанесения покрытий, обеспечивающих требуемую энергию адгезионных и диффузионных связей с основой инструмента.

Данная работа была представлена на различных выставках и салонах, где были получены положительные отзывы (рис. 8, 9).

Данные исследования и методы расчета покрытий являются научно-техническим заделом РГАТА. То есть этот подход мы и распространили на работы, связанные с созданием покрытий для деталей ГТД, которые выполняются совместно с НПО «Сатурн», РНЦ «Курчатовский институт», ОАО «УМПО».

Разработаны наноструктурные композиционные многослойные термобарьерные покрытия для лопаток турбин и коррозионностойкие покрытия.

Термозащитные покрытия лопаток турбины позволяют снизить рабочие температуры на 1-й ступени турбины до 80°C, что обеспечивает повышение циклической прочности в два раза. Коррозионная стойкость лопаток компрессора повышается в 1,5-2 раза.

Проводимые исследования необходимо распространить на другие детали ГТД, для чего требуется создать специальные установки по конструкторской документации РНЦ «Курчатовский институт». Данную работу выполняет ОАО НПО «Сатурн».

Реализация данных задач позволит повысить эффективность и экономичность газотурбинных комплексов на базе нанотехнологий.



Рис. 8, 9

# Повышение ресурса машин и механизмов

## за счет нанесения наноструктурных покрытий на сопряженные поверхности деталей



**А. В. Белов,**  
д. т. н., профессор



**О. Г. Агошков,**  
к. т. н., профессор



**В. Ф. Захаренков,**  
к. т. н., профессор

**К. А. Путиев,**  
вед. н. с.

**В. И. Ольховка,**  
вед. н. с.

**Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»,  
Санкт-Петербург**

*Проведен анализ факторов, обеспечивающих повышенные эксплуатационные свойства наиболее нагруженных сопряженных пар механизмов. Предложено покрытие, обеспечивающее антифрикционные, антиадгезионные и антикоррозионные свойства деталей.*

Технический ресурс машин и механизмов и их надежность в значительной степени определяются технологическим циклом изготовления и условиями их дальнейшей эксплуатации. В последние годы много исследований уделялось вопросу повышения ресурса механических деталей за счет снижения трения в зоне их контакта и повышения их износостойкости при обеспечении заданной геометрии изделия. В настоящее время важнейшим требованием к изделиям является обеспечение высокой надежности при эксплуатации. Современные технологии производства высоконагруженных конструкций во многом базируются на опыте их аналогов и возможностях применяемого оборудования. Существующие технологии изготовления деталей, например резанием, в основном, направлены на обеспечение требуемой геометрии деталей (волнистость, шероховатость и контролируемые размеры) и в меньшей мере — на вопросы достижения заданных эксплуатационных характеристик. А именно: при изготовлении формируются те дефекты и дислокации, которые могут развиваться в процессе их дальней-

шей эксплуатации, например, концентраторы, остаточные напряжения и деформации.

Известно значительное влияние состояния поверхностного слоя деталей машин на их основные эксплуатационные свойства, а также вида и режимов механической обработки на отдельные характеристики состояния поверхностного слоя (высоту шероховатости, форму и направление неровностей, микротвердость поверхностного слоя, глубину распространения наклепа, величину, знак и глубину распространения остаточных напряжений).

Одной из задач повышения износостойкости и надежности деталей различных механизмов является нейтрализация этих дефектов и создание условий, исключающих окисление поверхностей деталей. Поставленная задача достигается тем, что при использовании фтортензидных наноструктурных покрытий подобные окислы не являются помехой до тех пор, пока они прочно связаны с поверхностью. Композиция связывается с поверхностью за счет сил хемосорбции. Спиралевидные молекулы вещества при покрытии металлических поверхностей в состоянии захватывать электроны в тех местах металлической поверхности, где имеется особо высокая электронная плотность, и тем самым закрепляться на поверхности. Места с повышенной электронной плотностью на металлической поверхности образуются там, где имеется нарушение кристаллической решетки. Так, места, имеющие поверхностные трещины, обладают особо высокой электронной

плотностью. Молекулы описываемой композиции вступают во взаимодействие с этими электронами, образуя совместную электронную структуру, что обуславливает особенно высокое сцепление фтортензидных составов с поверхностью обрабатываемого субстрата. Эффективное антифрикционное покрытие осаждается на твердых поверхностях (в частности, на металле) с толщиной слоя 40–80 Å, что не изменяет геометрию обработанной детали, а лишь изменяет его поверхностные свойства.

С помощью данной композиции осуществляется обработка поверхности контактирующих пар трения, включающая обезжиривание, сушку и обработку поверхности фтортензидным составом в течение 20 мин. с последующей термофиксацией нанесенного покрытия при температуре от (40...120)°С в течение часа. Достигаемый результат — повышение износостойкости тяжело нагруженных пар трения в 1,5–2,5 раза с одновременным обеспечением коррозионной стойкости.

Эффективность применения технологии фтортензидного покрытия, обеспечивающего антифрикционные, антиадгезионные и антикоррозионные свойства деталей, наглядно иллюстрируется рис. 1, 2 и 3.

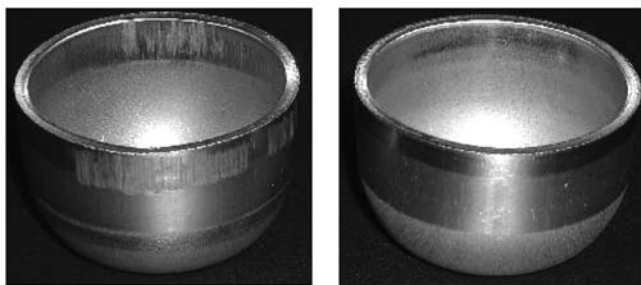


Рис. 1. Глубокая вытяжка стакана без обработки пуансона и матрицы (а) и с обработкой (б)

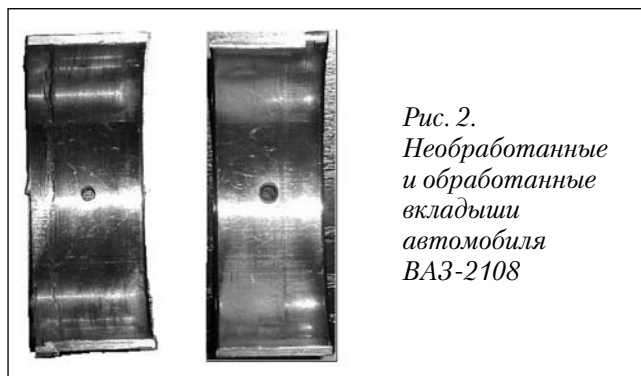


Рис. 2. Необработанные и обработанные вкладыши автомобиля ВАЗ-2108



Рис. 3. Сравнение обработанного и необработанного шнека после работы в агрессивных средах

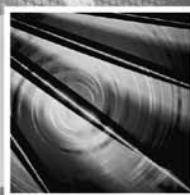
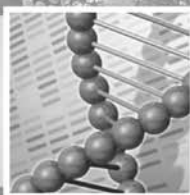
## Литература

1. Г. И. Андреев, А. В. Белов, О. Г. Агошков, К. А. Путиев, В. И. Ольховка, Д. О. Ахмеров. Нанотехнологии для авиационной техники. Аэрокосмический курьер. № 2 (50) март–апрель 2007 г.
2. Алексеев П. Г., Щеглова А. В. Влияние поверхностно-активной среды на процессы деформационного упрочнения и износостойкость поверхностей. Трение и износ. Том IV. № 2, 1983 г.



**VIII МОСКОВСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
САЛОН ИННОВАЦИЙ  
И ИНВЕСТИЦИЙ**

3-6 МАРТА 2008  
Москва,  
Всероссийский  
Выставочный  
Центр, пав. №69





# Производство изделий из современных композиционных материалов, модифицированных наноразмерными компонентами



**Ю. В. Загашвили,**  
директор Института  
систем управления  
БГТУ «Военмех»,  
д. т. н., профессор

*Рассмотрены перспективы применения нанотехнологий в производстве современных композитов с целью получения материалов с принципиально новыми, значительно более высокими эксплуатационными свойствами. Изложены основные направления и положения инновационного проекта по разработке технологических процессов и организации производства изделий из композиционных материалов на основе углеродной и керамической матрицы, в том числе модифицированных наноразмерными наполнителями.*

Развитие большинства ведущих отраслей современной промышленности (авиационной, ракетно-космической, двигателестроения, транспорта, химической, энергетики, радиоэлектроники и др.) в определяющей степени зависит от их обеспеченности технологическими, функциональными и конструкционными материалами нового поколения. Особенно перспективными являются композиционные материалы (КМ) с углеродной (углерод-углеродные КМ — УУКМ) и керамической (керамические КМ—ККМ) матрицей, характеризующиеся уникальными комплексами физико-механических, электромагнитных, теплофизических и фрикционных свойств и способные функционировать в условиях воздействия высоких температур, агрессивных и радиационных сред. Для производства изделий из УУКМ и ККМ в основном применяются жидко- и газофазные технологические процессы, а также их комбинации. Подобные технологии и получаемые с их помощью материалы относятся к высокотехнологичным, наукоемким продуктам самого последнего поколения, потенциальные возможности которых еще предстоит реализовать в практических разработках.

С другой стороны, революционный прорыв в различных областях человеческой деятельности в настоящее время связывается с интенсивным разви-



**В. И. Кулик,**  
генеральный директор  
ООО «НПФ «Кераком»,  
к. т. н., профессор  
БГТУ «Военмех»



**А. С. Орыщенко,**  
зам. генерального  
директора  
ЦНИИ КМ «Прометей»,  
к. ф.-м. н.

тием нанотехнологий. В полной мере это относится и к проблемам материаловедения. Очевидно, что применение нанотехнологий в производстве композиционных материалов последнего поколения (нанокомпозитов) может привести к получению материалов с принципиально новыми, значительно более высокими эксплуатационными свойствами. Следует отметить, что исследования по разработке и производству УУКМ и ККМ, прежде всего, модифицированных наноразмерными наполнителями, во всем мире отнесены к приоритетным научно-техническим направлениям и имеют критическую значимость для обеспечения конкурентоспособности экономик высокоразвитых стран. Особенно это актуально для России, где наметилось определенное отставание по этой проблеме от ведущих стран мира.

В 2006 году на базе инициативной исследовательской группы, состоящей из специалистов Балтийского государственного технического университета «Военмех» и ряда других технических университетов и коммерческих фирм Санкт-Петербурга, было создано ООО «Научно-производственная фирма «Кераком». Основным направлением научной и практической деятельности фирмы является реализация инновационного проекта по разработке комбинированных технологических процессов и организации производства изделий из композиционных материалов на основе углеродной и керамической (прежде всего SiC) матрицы, в том числе модифицированных углеродными и другими наноразмерными наполнителями.

Результаты выполнения данного проекта могут быть использованы во многих областях промышленности с целью повышения тактико-техничес-



экономических показателей изделий за счет использования в них современных КМ. Наибольшую эффективность применения УУКМ и ККМ следует ожидать в изделиях, предназначенных для эксплуатации в экстремальных силовых, температурных, эрозионных, радиационных и химических условиях. Выделим области возможного эффективного применения этих материалов:

- в авиационной, автомобильной промышленности, железнодорожном транспорте (тормозные диски, диски сцепления, колодки, подшипники);
- в химическом производстве и нефтедобывающей промышленности (детали оборудования, работающие в условиях агрессивных и абразивосодержащих сред при высоких температурах, в частности пары трения погружных центробежных насосов для добычи нефти);
- в ракетно-космической технике (элементы сопловых блоков РДТТ и ЖРД, обтекатели головных частей ракет и крыльев и т. п.);
- в области обеспечения безопасности: элементы систем броневой защиты (индивидуальные бронезилеты и бронезащита транспортных средств: автомобилей, судов, яхт, вертолетов, самолетов и т. д.);
- в металлургическом производстве (тигли, литейная оснастка, электроды для электродуговых печей, огнезащитные кожухи, вальцы, подшипники, нагреватели, пресс-формы, футеровка и т. д.);
- в энергетической промышленности (детали насосов, подшипники, сальники, теплоизоляция и др.), в том числе в ядерной энергетике (ТВЭЛы, поглощающие элементы, отражатели, конструктивные элементы «первой стенки» (дивертор), подшипники ядерных силовых установок);
- на предприятиях машиностроения в составе выпускаемых изделий, где требуется износостойкость в условиях высоких механических и тепловых нагрузок и агрессивных сред;
- в прецизионной и оптической технике, где требуется высокая размерная термостабильность конструктивных элементов, например рефлекторов для различных оптических, в том числе лазерных, систем.

Этот обширный список объектов различного назначения показывает, насколько велика область потенциального применения названных материалов.

При решении проблем разработки керамических композитов с SiC-матрицей и углеродными волокнами мы ориентируемся на использование технологических процессов, в основе которых лежит механизм реакционного спекания материала заготовки — процесс жидкофазного силицирования (процесс LSI — Liquid Silicon Infiltration). В качестве заготовок обычно используют пористые полуфабрикаты, в состав которых обязательно входят углеграфитовые компоненты. В случае получения волокнисто-армированных ККМ такие полуфабрикаты дополнительно содержат армирующие углеродные или керамические волокна.

В процессе жидкофазного силицирования расплав кремния под действием капиллярных сил и внешнего давления фильтруется через пористую заготовку. В результате химического взаимодействия между расплавом и углеграфитовым материалом заготовки образуется конечный продукт — карбид кремния матрицы. Данные технологические процессы обладают рядом достоинств по сравнению с другими методами: ККМ имеют достаточно высокую прочность и теплопроводность; матрица имеет плотную, практически беспористую структуру; для реализации процесса требуется относительно простое технологическое оборудование; процесс относительно недорог и производителен вследствие его небольшой продолжительности.

В частности, мы развиваем модификацию процесса, в котором в качестве заготовки используется карбонизированный углепластик (рис. 1). Эта модификация технологии LSI считается наиболее перспективной для получения триботехнических, баллистических и радиационноустойчивых ККМ с SiC матрицей. Данная технологическая схема обладает рядом достоинств. Прежде всего, это технологичность и экономичность процесса, а также гибкость и универсальность по отношению к материалам, получаемым на ее основе. В зависимости от стадии процесса могут быть получены полуфабрикаты, заготовки или изделия из углепластика, из УУКМ и, наконец, из ККМ с карбидокремниевой матрицей.

Основное направление развития и совершенствования современных КМ — это всемерное использова-



Рис. 1. Схема процесса получения ККМ с SiC матрицей методом силицирования карбонизированного углепластика

ние нанотехнологий, прежде всего предполагающее модифицирование композитов наночастицами. Очевидно, что наибольшие перспективы связаны с использованием углеродных наноматериалов — фуллеренов, углеродных нанотрубок (УНТ) и нановолокон (УНВ), т. к. углеродные наноструктурные материалы, в состав которых входят частицы вещества размером менее 100 нм, обладают необычным набором механических, теплофизических, оптических, электронных и магнитных свойств. Многообразие углеродных наноматериалов, широкий диапазон их свойств и почти неограниченные возможности модифицирования позволяют считать их основой для создания новейших технологий XXI века и принципиально нового поколения суперматериалов — нанокомпозитов. Следует отметить, что исследования по нанокомпозитам на основе различных матриц ведутся во многих лабораториях мира, однако фактически в открытой литературе мало данных о достигнутых результатах и прежде всего это касается сведений о составе композитов и технологических методах их получения.

В рамках данного проекта предполагается провести комплекс исследований, направленных на практическое решение проблемы создания новых эффективных композиционных материалов на основе полимеров, углеродной и керамической матрицы и углеродных нанокомпонентов. Причем предполагается, что исследования будут касаться проблем создания нанокомпозитов на всех их базовых структурных уровнях. В качестве таких структурных уровней в проекте принимаются:

1. **Углеродные наноразмерные компоненты** (наноразмерные армирующие наполнители). Проблемы — товарное производство фуллеренов и УНТ.

2. **Матричные материалы, модифицированные углеродными наноразмерными компонентами.** Проблемы — диспергирование наноразмерных наполнителей и получение на их основе гомогенных сухих смесей, суспензий и полимерных масс (механическое, вибрационное, ультразвуковое и импульсное перемешивание).

3. **Микро- и макроразмерные армирующие элементы на основе углеродных наноразмерных компонентов** или традиционные стекло-, органо- и углеволоконистые наполнители (волокна, нити, жгуты, ленты, ткани), модифицированные углеродными наноразмерными компонентами. Проблемы — получение макроволокон на основе УНТ, получение полимерных нанокомпозитных волокон, нанесение УНТ на поверхность армирующих макроволокон, введение УНТ в межволоконное пространство комплексных армирующих наполнителей.

4. **Полуфабрикаты на основе армирующих элементов и матричного материала** (в том числе и типа препрегов). Проблемы — совмещение волокнистого наполнителя и полимерного связующего, модифицированных УНТ.

5. **Готовые нанокомпозиты и изделия на их основе.** Проблемы — обеспечение заданного уровня

связи наполнителя и матрицы, реализация свойств нанокомпонентов в готовом материале, разработка технологических процессов формования волокнисто-армированных КМ.

Из основных научно-практических проблем, которые предполагается решить в рамках проекта, выделим наиболее важные, с точки зрения реализации процессов получения нанокомпозитов:

- обеспечение требуемого уровня связи на границе между нанокомпонентами и матрицей;
- диспергирование нанокомпонентов и получение их однородного распределения в различных средах и в объеме композита;
- введение нанокомпонентов в волокнистую структуру КМ;
- сохранность углеродных нанокомпонентов в процессе жидкофазного силицирования;
- оценка влияния типа углеродных нанокомпонентов, параметров технологического процесса, состава, структуры, содержания волокнистого, микро- и наноразмерного наполнителя на эксплуатационные характеристики КМ.

В качестве приоритетных объектов для организации производства в рамках проекта выбраны следующие группы изделий:

- 1) фрикционные материалы и изделия в узлах высоконагруженных тормозных и передаточных устройств (тормозные диски, накладки и колодки, муфты сцепления) самолетов, тяжелых грузовиков, спортивных и легковых автомобилей, мотоциклов, тракторов, высокоскоростного железнодорожного транспорта, подъемно-транспортных устройств, танков и прочей тяжелой боевой техники;
- 2) антифрикционные конструктивные элементы узлов трения для химического и насосного оборудования, используемого для перекачки высокотемпературных, агрессивных и абразивосодержащих жидкостей, в том числе для насосов в атомной энергетике и в погружаемых центробежных насосах для добычи нефти;
- 3) элементы броневого защиты в бронежилетах (жилетная вставка) и броневеты для автомобилей, самолетов и кораблей.

Одним из самых перспективных, на наш взгляд, направлений применения наномодифицированных УУКМ и ККМ является разработка и производство **узлов тормозных устройств и узлов сцепления** различных транспортных средств. Можно выделить следующие преимущества систем торможения на основе этих материалов по сравнению с системами на основе традиционных (металлических и металлокерамических) материалов: высокий и устойчивый коэффициент трения и низкий износ во время обычного и высокотемпературного (370–815°C) скольжения; малая плотность, позволяющая уменьшить вес систем торможения (примерно на 40-70%); отсутствие коррозии и высокая стойкость к изнашиванию в различных атмосферных условиях; высокая надежность систем торможения, особенно при экстренном тор-

можении; повышение долговечности узлов системы торможения; возможность эксплуатации после аварийного торможения, когда температуры могут достигать 1650°C (в авиации и в высокоскоростном железнодорожном транспорте); способность поглощать при торможении большое количество кинетической энергии путем преобразования ее без повреждения в тепловую; высокая стойкость к термическому удару и термоциклированию.

Наиболее перспективным и интересным представляется направление, связанное с использованием ККМ в системах торможения серийных грузовых и легковых автомобилей, а также мотоциклов. Технико-экономический эффект от использования фрикционных ККМ в тормозных системах серийных автомобилей дополнительно к перечисленным выше может включать следующие аспекты: снижение неупругих масс и уменьшение гироскопического эффекта; улучшение управляемости автомобилей и мотоциклов; высокий экономический эффект по сравнению с традиционными системами торможения, получаемый за счет уменьшения эксплуатационных расходов (уменьшение расходов на приобретение новых деталей и расходов, связанных с оплатой ремонта тормозной системы). Обладая высокими и стабильными триботехническими характеристиками, высокой тепло- и износостойкостью, они весят примерно на 50-75% меньше стальных, а срок эксплуатации оценивается не менее 300000 км пробега автомобиля, кроме того, экономия топлива для автомобилей при их установке оценивается до 20%. Тормозные диски и диски сцепления из ККМ уже сейчас устанавливаются на автомобилях марок AMG Mercedes, Porsche 911 Turbo, Hyundai EQUUS, Ferrari F48, Jaguar C-Type и мотоциклах Yamaha YZF-R1 и Suzuki и т. д. Отлично зарекомендовали себя тормозные диски на основе карбидокремниевого композита в спортивных болидах «Формула 1», где они оказались значительно более эффективными не только по сравнению с металлическими, но и с углерод-углеродными тормозными дисками.

**В целом можно утверждать, что применение в серийных автомобилях и мотоциклах в качестве фрикционных материалов ККМ может привести к созданию более надежных систем торможения, способных сократить путь и время торможения (особенно экстренного торможения) и, как следствие, может существенно повысить безопасность дорожного движения.** Это обстоятельство может оказаться определяющим при решении вопроса о применении ККМ в узлах систем торможения серийных автомобилей.

Другое перспективное направление применения фрикционных УУКМ и ККМ — изготовление тормозных устройств в авиационной и авиакосмической технике. Хотя тормозные диски из ККМ здесь пока не нашли широкого применения, но тем не менее, крупнейшими мировыми фирмами ведутся активные работы по созданию коммерческого продукта в виде как самого фрикционного материала, так и конструкций авиационных тормозов на их основе.

Еще одно направление, где эффективно могут быть использованы тормозные системы на основе ККМ, — это высокоскоростной железнодорожный транспорт. Фрикционные элементы из этих материалов уже применяются в высокоскоростных поездах TVG (Франция), Talent (Германия), Pendolino (Италия), APT (Англия), AVE (Испания), HSR-350x (Корея), Shinkansen (Япония) и в ряде других.

В настоящее время в рамках отработки отдельных стадий процесса нами изготавливаются и исследуются опытные образцы композитов с карбидокремниевой матрицей, армированной углеродными волокнами [1-4]. На рис. 2 приведены готовые образцы из ККМ в виде дисков и кольца, подготовленные к трибологическим испытаниям.



Рис. 2. Дисковые образцы из ККМ с SiC-матрицей (диаметр 142 мм)

Исследование триботехнических характеристик наших фрикционных ККМ проводятся на инерционных стендах ГНУ «Институт порошковой металлургии» (Минск, Беларусь), позволяющих испытывать фрикционные материалы в условиях, максимально приближенных к реальным режимам функционирования узлов трения. Зависимость коэффициента трения от скорости, характерная для опытных образцов фрикционных материалов, приведена на рис. 3.

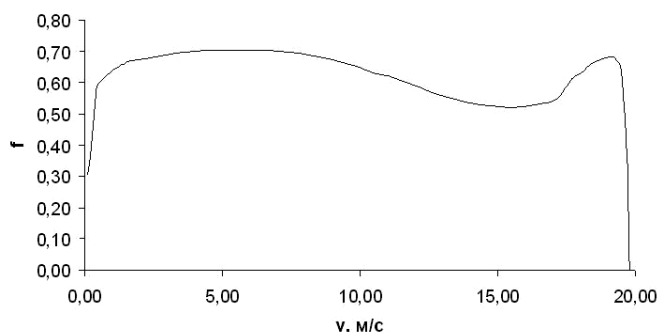


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения опытных образцов ККМ от скорости

На рис. 4 приведен общий вид опытного образца системы торможения с диском из композита с карбидокремниевой матрицей (диаметр диска 260 мм).



Рис. 4. Опытный образец тормозного диска для легкового автомобиля

Важной частью проекта является разработка **программного обеспечения, позволяющего моделировать и численно исследовать** сложные газофазные и жидкофазные технологические процессы получения углеродных нанотрубок и композитов с углеродной и керамической матрицей, тонких пленок и покрытий [5-9]. **Это направление обеспечивает теоретическую поддержку нашему проекту.** Создаваемое программное обеспечение, адаптированное для моделирования процессов получения УУКМ и ККМ, является тем инструментом, с помощью которого мы рассчитываем минимизировать затраты на проведение дорогостоящих и длительных экспериментов с целью обеспечения планируемых технико-экономических параметров выпускаемых изделий.

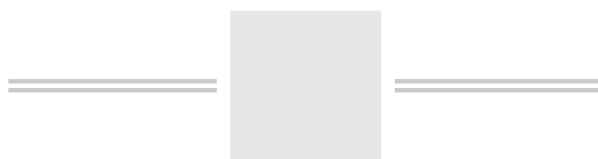
С другой стороны, разрабатываемое программное обеспечение и возможности, которое оно предоставляет, — самостоятельный коммерческий продукт, в качестве которого могут выступать как пакеты прикладных программ (коммерческие расчетные коды), так и консалтинговые и научно-исследовательские услуги, оказываемые заказчикам с использованием нашего программного обеспечения.

Нами разработана комплексная программа развития проекта, включающая этапы НИОКР и организации промышленного производства, которые предполагается реализовать совместно с ЦНИИ конс-

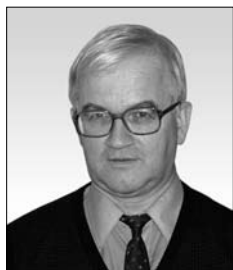
трукционных материалов «Прометей» (Санкт-Петербург), располагающим производственными площадями, и Балтийским государственным техническим университетом «Военмех», располагающим преподавательскими кадрами, способными обеспечить целевую подготовку необходимых специалистов. **Таким образом, реализация данного проекта предполагает создание полного производственного цикла — от разработки технологий и материалов до подготовки кадров и выпуска продукции.** Бизнес-план проекта в настоящее время находится на рассмотрении в Российской государственной корпорации «Российские нанотехнологии».

## Литература

1. В. И. Кулик, А. П. Гаршин, А. С. Нилов, В. А. Курнукин, А. В. Кулик. Исследование влияния процесса жидкофазного силицирования на свойства углеволокнистых наполнителей и полуфабрикатов. Тезисы докладов международной конференции «Современное материаловедение: достижения и проблемы» MMS-2005, Т. 1, 26-30 сентября, 2005, Киев, Украина, с. 237-238.
2. А. П. Гаршин, В. А. Курнукин, В. И. Кулик, А. С. Нилов. Структурные особенности углеродистого, инфильтрованного расплавом кремния. Новые огнеупоры. №12, 2005, с. 45-48.
3. В. И. Кулик, В. А. Борковских, Н. Н. Борковских, В. В. Савин. Структурные и физико-механические характеристики пирроуплотненных углерод-углеродных композиционных материалов на основе тканевых наполнителей. Вопросы материаловедения, 2006, № 3(47), с. 70-77.
4. V. Kulik, A. Nilov, V. Rumyantsev, A. Osmakov, R. Sapronov. Microstructure and Properties of 2D-Cf/C-SiC (Si) Composites Prepared by the Silicon Melt Infiltration Process. Abstracts book International Conferences on modern materials and technologies (CIMTEC 2006), June 4-9, 2006, Acireale, Sicily, Italy, p. 193.
5. V. I. Kulik, A. V. Kulik, M. S. Ramm, Yu. N. Makarov. Modeling of SiC-Matrix Composite Formation by Isothermal Chemical Vapour Infiltration // J. Crystal Growth. 2004, v. 266, p. 333 — 339.
6. V. I. Kulik, A. V. Kulik, M. S. Ramm, Yu. N. Makarov. Modelling of SiC-matrix composite formation by thermal gradient chemical vapour infiltration. Mater. Sci. Forum 457-460 (2004), p. 253 — 256.
7. В. И. Кулик, А. В. Кулик, М. С. Рамм. Исследование термодиффузионных процессов газифазного насыщения SiC-матрицей сложнопористых волокнистых каркасов с 3D-структурой. Труды первого российского научно-технического симпозиума «Интеллектуальные композиционные материалы и конструкции» (23-24 июня 2004 г., Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана), М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, с. 36-41.
8. V. I. Kulik, A. V. Kulik, M. S. Ramm, A. S. Nilov, M. V. Bogdanov. Two-dimensional Model of the Conjugate Heat and Mass Transport in the Isothermal Chemical Vapor Infiltration of 3D-preform by SiC Matrix. Mater. Sci. Forum Vols. 483-485 (2005) pp. 245-250.
9. А. В. Кулик, М. С. Рамм, Д. Х. Оффенгейм, М. В. Богданов, В. И. Кулик. Моделирование теплообмена в процессе газифазного получения композиционных материалов с углеродной и керамической матрицей. Техника машиностроения. № 4 (2006), с. 5-12.



# Приборы инфракрасной и терагерцевой наноэлектроники в биологии и медицине



**Н. Т. Баграев,**  
д. ф.-м. н.



**Л. Е. Клячкин,**  
к. ф.-м. н.



**А. М. Маляренко,**  
к. х. н.



**Б. А. Новиков**

ООО «Дипольные структуры»

*Инфракрасное и терагерцевое излучение все интенсивнее используется при создании новых типов диагностической медицинской аппаратуры, охранных и контролирующих систем, применяемых, в частности, в рамках антитеррористических программ. Однако в последнее время становится ясно, что инфракрасное излучение, модулированное в терагерцевом диапазоне, представляет интерес при создании приборов для терапевтического лечения и профилактики различных заболеваний, большинство важнейших биохимических реакций в человеческом организме может быть оптически стимулировано именно в этом частотном интервале электромагнитно-*

*го излучения. Разработанный для практической реализации этих задач аппарат «ИК-Диполь» генерирует излучение дальнего ИК диапазона с длинами волн 1-56 мкм с терагерцевой модуляцией 40 ГГц – 3,5 ТГц во всем спектре излучения. Основой для создания данного прибора стала разработка блока гибких технологических процессов в рамках кремниевой планарной нанотехнологии. Дальнейшее развитие данного направления кремниевой опто- и наноэлектроники позволило разработать и изготовить панельный эмиттер «Инфратератрон», с помощью которого оказалось возможным лечить ожоги большой площади в сочетании с антишоковым воздействием.*

## Введение

**Т**ерагерцевое излучение (ТГц), или «терагерцы», охватывает широкий диапазон спектра электромагнитного излучения между 100 ГГц и 30 ТГц (длина волны излучения приблизительно от 3 мм до 1 мкм). Этот диапазон граничит с микроволновым диапазоном и простирается на дальний и средний инфракрасный (ИК) диапазоны.

Еще совсем недавно для того чтобы генерировать терагерцевое излучение, необходимо было использовать громоздкую и дорогостоящую аппаратуру, подобную лазерам на свободных электронах, лампам бегущей волны (ЛБВ) или термическим источникам слабого некогерентного излучения. Детектирование терагерцевого излучения было очень непростой задачей и требовало охлаждаемых жидким гелием болометров с низким уровнем шума. Поэтому отсутствие надежно работающих источников и детекторов приве-

ло к тому, что эта область спектра в литературе получила обозначение как «терагерцевая щель (запрещенная зона)». Интересно, что «терагерцевая щель» проявляется в спектре пропускания земной атмосферы — так называемых атмосферных окнах, т.е. терагерцевая составляющая спектра космического излучения полностью поглощается в земной атмосфере. Однако в последнее время прогресс в области нанотехнологии полупроводников и сверхпроводников сделал возможным получение твердотельных приборов, которые способны излучать и детектировать в терагерцевом диапазоне длин волн [1, 2]. Таким образом, прежде недоступная область спектра стала реально достижимой и таит в себе огромный потенциал для применения в современной науке, особенно в медицине.

Терагерцевые кванты имеют намного меньшую энергию, чем рентгеновские, и не представляют ионизационной опасности для биологических тканей. При взаимодействии с разнообразными биологическими

тканями сравнительно длинноволновое терагерцевое излучение может проникать намного глубже, чем видимый или ближний ИК-свет, поскольку более длинноволновое излучение менее подвержено эффектам рассеяния. Кроме того, терагерцевое излучение возбуждает вращательные и колебательные моды некоторых биологических молекул, связи внутри которых «трясутся» в терагерцевом частотном диапазоне [3].

Очевидно, что, несмотря на некоторые трудности, терагерцевые излучатели являются весьма перспективной заменой рентгеновским аппаратам не только в медицине, но и в системах охраны и обеспечения безопасности, например в аэропортах, вокзалах и т. п. Кроме того, безусловный интерес представляет использование неагрессивного терагерцевого излучения для непосредственного терапевтического воздействия на биологические ткани.

Причем наибольший интерес представляет использование сочетания терагерцевого и ИК-излучения, поскольку ИК-излучение может стимулировать важнейшие биохимические реакции в человеческом организме, тогда как терагерцевая составляющая излучения обеспечивает резонансный эффект данного воздействия вследствие отмеченной выше «тряски» связей в биомолекулах. Понятно, что в случае оптического диапазона длин волн более коротковолновое ИК-излучение должно быть модулировано более длинноволновым терагерцевым излучением. Преимущества такого симбиоза очевидны, но до последнего времени техническая реализация источников с подобными характеристиками была практически невозможной. Однако разработанная авторами данной статьи группа гибких кремниевых нанотехнологий позволила создать эффективные ИК-излучатели в широком диапазоне длин волн с терагерцевой модуляцией во всем спектре излучения. Перспективам применения этих приборов в практической медицине посвящена данная статья.

## Техническая реализация источников ИК-излучения с терагерцевой модуляцией

Задача получения излучения дальнего ИК-диапазона, модулированного в терагерцевом диапазоне, была успешно решена с помощью твердотельных излучателей, изготовленных с использованием кремниевой нанотехнологии на основе монокристаллического кремния. Излучатели представляют собой управляемые генераторы ИК-излучения дальнего диапазона длин волн от 1 до 56 мкм с терагерцевой модуляцией во всем спектре излучения. Решение этой задачи стало возможным благодаря реализации квантоворазмерных р-п переходов на поверхности монокристаллического кремния с глубиной от 20 нм до 30 нм, которые содержат каскады сверхузких кремниевых квантовых ям (СККЯ) шириной 2 нм, ограниченных дельта-барьерами шириной 3 нм (рис. 1). В процессе протекания тока через каскад СККЯ возникает интенсивное ИК-излучение, спектр-

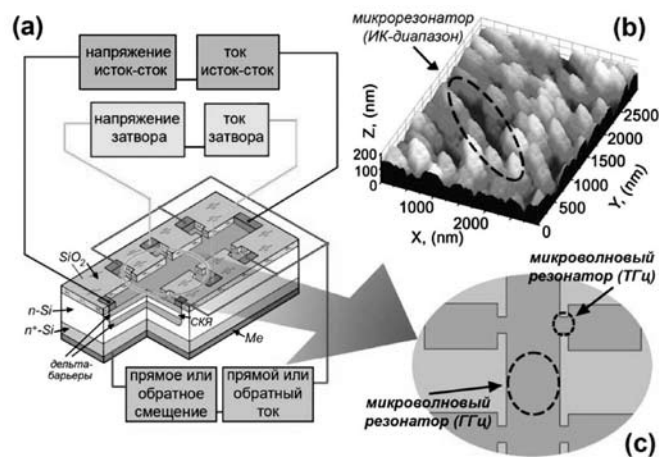


Рис. 1. ИК-излучатель, выполненный в геометрии холловского мостика на основе сверхузкой кремниевой квантовой ямы р-типа проводимости, ограниченной дельта-барьерами на поверхности монокристаллического кремния n-типа

(а) со встроенными микрорезонаторами, настроенными на длины волн из спектрального ИК-диапазона биохимических реакций; фрагмент СТМ изображения

(б) показывает микрорезонатор для стимулирования ИК-излучением реакций в гемоглобине; при варьировании расположением и размерами контактов предусматриваются возможности для реализации микроволновых резонаторов

(с) для модуляции ИК-излучения в тера- и гигагерцевом частотных диапазонах.

ральная характеристика которого отражает резонансный характер оптических переходов между уровнями размерного квантования (рис. 2, 3).

Одновременно нанотехнология таких квантово-размерных р-п переходов позволяет путем использования процессов самоорганизации встроенных в их плоскость наноструктур формировать систему фрактальных микрорезонаторов (рис. 1), настроенных на характерные длины волн ИК-излучения, что делает возможным многократное усиление его интенсивно-

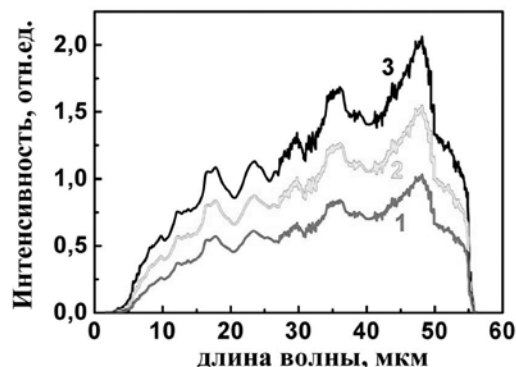


Рис. 2. Спектральные характеристики ИК-излучателя с терагерцевой модуляцией

Аппарат генерирует ИК-излучение непрерывного спектра в диапазоне от 1 до 56 мкм, модулированное в частотном диапазоне 40 ГГц ÷ 1200 ГГц, который соответствует частотам колебаний связей в белковых молекулах. Кривая 1 — ток 20 мА, мощность 29,24 мВт; кривая 2 — ток 30 мА, мощность 43,84 мВт; кривая 3 — ток 40 мА, мощность 58,29 мВт.

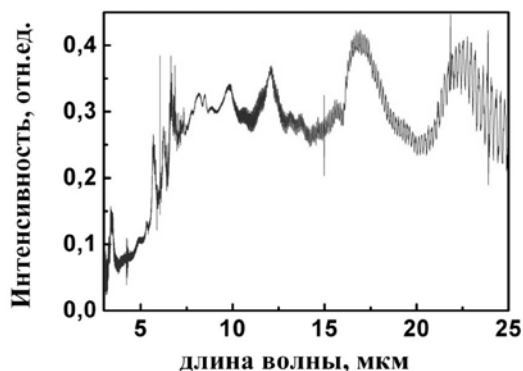


Рис. 3. Часть спектра ИК-излучения аппарата «ИК-Диполь» с глубокой терагерцевой модуляцией, полученная методом ИК-Фурье спектроскопии

Модуляция ИК-излучения осуществляется на частотах 40 ГГц, 80 ГГц и 1200 ГГц. В аппарате «ИК-Диполь» реализован принцип частотной модуляции, а именно: ИК-излучение, являющееся несущим, модулировано терагерцевым излучением

сти. Кроме того, разработанная нанотехнология получения дельта-барьеров, ограничивающих сверхузкие СККЯ, позволяет их использовать в качестве генераторов тера- и гигагерцевого излучения, которое, в свою очередь, играет роль модулирующего для ИК-излучения (рис. 3). Глубина терагерцевой модуляции может быть резко усилена, если создать систему микроволновых резонаторов, варьируя геометрическими размерами приборной структуры и распределением в ней электрического поля в условиях напряжения, приложенного к контактам (рис. 1).

Разработанная нанотехнология получения кремниевых ИК-излучателей представляет собой новую версию кремниевой ангстремной планарной технологии. В настоящее время подобных исследований не проводится ни в одной лаборатории мира. Эта нанотехнология на современном этапе развития кремниевой наноэлектроники должна заменить известную субмикронную технологию и может оказаться актуальной для целого ряда кремниевых приборов (процессоров, микрохолодильников, излучателей, фотодиодов и светодиодов), а также послужить в дальнейшем базисом НИОКР по разработке микро-резонаторов на различные длины волн в видимом и инфракрасном диапазоне оптического спектра.

Во второй половине 1990-х годов авторами идеи была разработана малогабаритная аппаратура инфракрасной терапии «ИК-Диполь» (рис. 4), которая успешно используется в травматологии и спортивной медицине, а также для лечения целого ряда заболеваний, таких как ангиопатия при сахарном диабете; трофические язвы и пролежни; неосложненные и хронические



Рис. 4. Аппаратура инфракрасной терапии «ИК-Диполь»

язвы желудка и двенадцатиперстной кишки; артрозы; пародонтозы; термические и радиационные поражения кожного покрова; рубцовые деформации после хирургических операций. Следует отметить, что все оптические системы, используемые в настоящее время в практической медицине и физиотерапии, излучают в ближнем ИК-диапазоне длин волн (не более 3 мкм), тогда как излучение аппарата «ИК-Диполь» дальнего ИК-диапазона (1 мкм ÷ 56 мкм), как указано выше, соответствует энергетическому диапазону биохимических реакций в человеческом организме.

Данная аппаратура не имеет мировых аналогов. Технология и метод были запатентованы в 1994 году. Настоящая разработка защищена патентами Российской Федерации и международным патентом.

Методики лечебной терапии с помощью аппарата «ИК-Диполь» были разработаны и апробированы в различных медицинских учреждениях С.-Петербурга и Москвы, среди которых в первую очередь следует выделить Военно-медицинскую академию им. С. М. Кирова, 1-й Медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, 1-ю Градскую больницу Москвы. Кроме того, данная аппаратура использовалась в целях восстановления иммуногенных связей и физиологических характеристик организма после длительного умственного напряжения и больших физических нагрузок. Стимулирующее воздействие данных методик на основе дальнего ИК-облучения было также продемонстрировано путем активизации процессов кровообращения в конечностях и усиления функциональной активности организма для различных групп спортсменов высшей квалификации.

Ниже представлены характерные результаты для снижения уровня сахара и увеличения гемоглобина в крови пациентов при использовании аппарата «ИК-Диполь», спектр излучения которого охватывает спектральный диапазон оптически стимулируемых реакций получения ГТФ и оксигенации. Облучение проводилось в область предплечья правой руки. В процессе облучения сделаны контрольные заборы крови для измерения содержания сахара и уровня

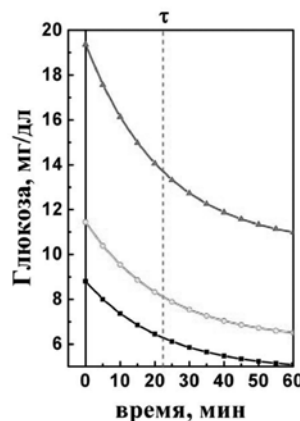


Рис. 5. Динамика изменения уровня сахара в крови пациента во время ИК-облучения

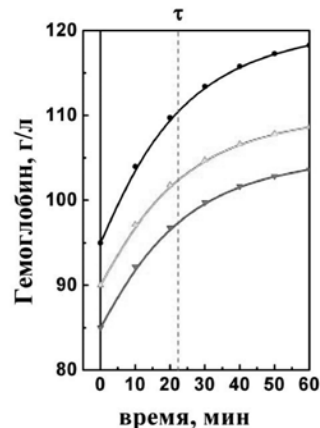


Рис. 6. Динамика изменения уровня гемоглобина в крови пациента во время ИК-облучения



гемоглобина. Соответствующие кинетические зависимости представлены на рис. 5 и 6.

Обнаружено, что сахар снижается в крови пациентов, следуя зависимости:

$$I(t) = I_{in} - I_{last} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

где  $I(t)$  — уровень сахара в крови пациента во время ИК-облучения;  $I_{in}$  — начальный уровень сахара в крови пациента перед ИК-облучением;  $I_{last}$  — установившийся уровень сахара в крови пациента после окончания ИК-облучения;  $t$  — время;  $\tau$  — постоянная времени. То есть кинетика снижения сахара при воздействии аппарата «ИК-Диполь» не очень сильно зависит от стадии развития диабетической болезни. Постоянная времени  $\tau$ , характеризующая кинетику спада уровня сахара в крови пациента, определенная из зависимостей на рис. 5, оказалась равной 22,5 мин.,  $\tau$  также хорошо описывает соответствующие кинетические зависимости увеличения уровня гемоглобина, представленные на рис. 6.

$$P(t) = P_{in} + (P_{last} - P_{in})(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$

где  $P(t)$  — уровень гемоглобина в крови пациента во время ИК-облучения;  $P_{in}$  — начальный уровень гемоглобина в крови пациента перед ИК-облучением;  $P_{last}$  — установившийся уровень гемоглобина в крови пациента после окончания ИК-облучения. Причем начальный уровень гемоглобина слабо влияет на кинетику его возрастания в процессе облучения с помощью аппарата «ИК-Диполь». Следует отметить, что полученные результаты показывают, что при одинаковой кинетике протекания оптически стимулируемых биохимических реакций достигнутые в результате ИК-облучения абсолютные значения уровня сахара и гемоглобина в крови определяются индивидуальными особенностями организма пациента.

## «Инфратератрон»

При лечении ожогов с помощью аппарата «ИК-Диполь» было обнаружено, что процесс заживления ускоряется не только за счет улучшения микроциркуляции крови, но также вследствие стимуляции организма на выработку белков теплового шока (БТШ).

Контрольные эксперименты по генерации БТШ с помощью аппарата «ИК-Диполь» проводились в рамках хорошо известной методики. Увеличение температуры тела у кроликов и крыс приводит сердце объектов исследования в устойчивое состояние к ишемическому воздействию. Причина такого улучшения сопротивляемости организма неизвестна, однако большое число исследователей считает, что увеличение температуры тела стимулирует синтез стрессовых белков (БТШ) в сердце [8-10].

Основным белком, который синтезируется у млекопитающих в момент стресса, является БТШ (HSP-72), который защищает клетки от стресса, а также быстро накапливается в них после ишемии. HSP-72 быстро синтезируется в результате ишемии в миокар-

де у различных биологических объектов, однако таких экспериментов с человеческим сердцем до сих пор не проводилось. Для того чтобы определить, аккумулируются ли HSP-72 в миокарде в процессе хирургических операций на сердце, у 20 пациентов брались три последовательных биопсии: перед шунтированием, после реперфузии и после шунтирования. У 10 пациентов во время операции кровь при прокачивании облучалась ИК-излучением кремниевых ИК светодиодов.

Биохимический анализ содержания HSP-72 в человеческом сердце показал значительный эффект по сравнению с другими млекопитающими [ $p(\text{binomal})=0.01$ ]. Было обнаружено, что концентрация HSP-72 значительно возрастает в случае использования ИК-излучения. У пациентов, кровь которых не подвергалась ИК-облучению, содержание HSP-72 после реперфузии и после шунтирования по сравнению с данными до шунтирования составило, соответственно,  $97,7\% \pm 8,6\%$  и  $85,3\% \pm 14,2\%$ , в то время как у пациентов, кровь которых подвергалась ИК-облучению кремниевых ИК светодиодов, эти цифры составили  $105,0\% \pm 6,0\%$  и  $104,0\% \pm 8,1\%$ , соответственно.

Исследования показали, что начальная концентрация HSP-72 до шунтирования была довольно высокой и после реперфузии и шунтирования существенно не изменилась. Возможно, что высокая концентрация HSP-72 в человеческом сердце типична для этого вида заболеваний, а может быть, отражает влияние терапии при подготовке к операции. Вполне вероятно, что высокий уровень этих белков вообще характерен для миокарда. Высокая концентрация HSP-72 в миокарде пациентов, принявших участие в исследовании, практически не изменялась в процессе хирургического вмешательства. При этом ИК-облучение крови пациентов во время хирургической операции позволило увеличить концентрацию HSP-72, а также стабилизировать уровни гликогена и лактата при проведении реперфузии и последующего шунтирования.

При ожогах большой площади часто происходит нагрев человеческого тела до высокой температуры, что сопровождается выработкой организмом БТШ. Однако, поскольку такие ожоги сопровождаются сильным болевым шоком, количества БТШ явно недостаточно для компенсации стресса, вызываемого болевым шоком. Поэтому очень важно, особенно в первые минуты и часы после термического поражения, создать в организме большую концентрацию БТШ для стабилизации работы сердца в условиях сильного стресса. Этого можно достичь, применяя ИК-излучение панельного эмиттера, состоящего из множества ИК-излучателей (1-56 мкм) с терагерцевой модуляцией, аналогичных используемым в аппарате «ИК-Диполь».

Для реализации этих задач был разработан и изготовлен панельный эмиттер «Инфратератрон» (рис. 7), с помощью которого оказалось возможным лечить ожоги большой площади в сочетании с антишоковым воздействием.

Установка обеспечивает ИК-излучение в диапазоне длин волн от 1 до 56 мкм с терагерцевой мо-

дуляцией во всем спектре излучения. Интегральная мощность излучения одного ИК-излучателя находится в диапазоне от 9 до 54 мВт на расстоянии 20 мм от его поверхности. Интегральная мощность излучения установки на том же расстоянии лежит в диапазоне от 972 до 5832 мВт. Минимальная площадь излучения одной секции составляет 300х600 мм<sup>2</sup>.

Настоящая разработка защищена патентами Российской Федерации.



Рис. 7. Панельный эмиттер «Инфратератрон» в рабочем положении

## Показания к применению панельного эмиттера «Инфратератрон»

- лечение термических и иных поражений кожного покрова в сочетании с антишоковым воздействием;
- ускоренное заживление ран, пролежней и трофических язв большой площади, лечение послеоперационных рубцовых деформаций;
- лечение поражений кожного покрова и ран при радиационных поражениях;
- лечение заболеваний иммунной системы;
- лечение тяжелых травм позвоночника и профилактика заболеваний опорно-двигательного аппарата;
- лечение ангиопатии при сахарном диабете;
- лечение различных видов артрозов, профилактика и лечение осложнений, возникающих при ревматоидном артрите;
- лечение гипотонии;
- лечение пульмонологических заболеваний;
- челюстно-лицевая хирургия при лечении рубцовых деформаций на лице;
- лечение неосложненных и хронических язв желудка и двенадцатиперстной кишки;
- терапия после хирургических операций в условиях вывода из наркоза. Антишоковая терапия в мобильном варианте Скорой помощи;
- профилактика и лечение спортивной травмы;
- фитнес.

Клинические испытания установки терагерцевой ИК-терапии «Инфратератрон» были проведены в НИИ Скорой помощи им. И. И. Джанелидзе (Санкт-Петербург) (рис. 8), которые показали чрезвычайно вы-



Рис. 8. Установка терагерцевой ИК-терапии «Инфратератрон» во время клинических испытаний в НИИ Скорой помощи им. И. И. Джанелидзе

сокую эффективность применения панельного эмиттера «Инфратератрон» при лечении больных с тяжелыми термическими поражениями большой площади.

В процессе исследования клинически наблюдался выраженный седативный эффект во время проведения сеанса облучения. Больные отмечали ощущение легкого покалывания, снижение интенсивности болевых ощущений. Главным результатом является мощная антиоксидантная защита, создаваемая при использовании излучения «Инфратератрона», в первые сутки после получения тяжелых термических поражений большой площади, которая стимулирует снятие шока и препятствует развитию сепсиса.

При изучении влияния ИК-излучения на состояние иммунной защиты получены следующие данные, отражающие эти два фактора:

- При поступлении у больных регистрировалось повышение спонтанной свободнорадикальной активности клеток в среднем в 2 раза по сравнению с нормальными значениями — 6,2-7,2 мВ. После сеанса облучения наблюдалось некоторое снижение спонтанной хемилюминесценции (ХЛ) крови.
- Индуцированная бактерицидная активность клеток была повышена в 2-3 раза по сравнению с нормой (7,4-8,3) и еще более возрастала после сеанса облучения, особенно при поступлении. Возрастание индуцированной ХЛ указывает на мобилизацию бактерицидных ресурсов иммунокомпетентных клеток (нейтрофилов).

При изучении антиоксидантной активности крови у пострадавших с тяжелой термической травмой в процессе курса облучения было выявлено возникновение выраженного антиоксидантного подъема после первого сеанса облучения — антиоксидантная активность возрастала в среднем в 7 раз по сравнению с исходными значениями. Данная динамика связана с увеличением процессов индуцированной бактерицидной активности клеток, в основе которой лежит усиление свободно-радикальных процессов, и является адаптивной реакцией организма. Снижение интенсивности антиоксидантных процессов на следующие

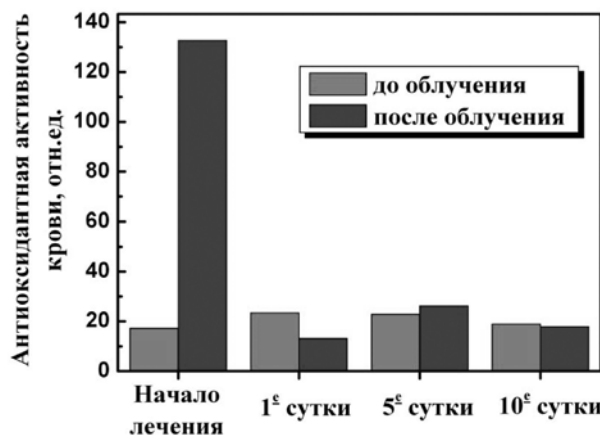


Рис. 9. Антиоксидантная активность крови у пациентов с тяжелой термической травмой при терапии с помощью установки «Инфратератрон»

сутки носит эпизодический характер и указывает на временное истощение антиоксидантных ресурсов. В дальнейшем, к пятым суткам наблюдается умеренное повышение антиоксидантной активности и ее нормализация (рис. 9).

Изучение динамики малонового диальдегида (МДА) показало, что, несмотря на более высокие исходные уровни в исследуемой группе, курс лечения данным спектром излучения приводит к заметному понижению его концентрации, что указывает на снижение интенсивности процессов перекисного окисления липидов (рис. 10).

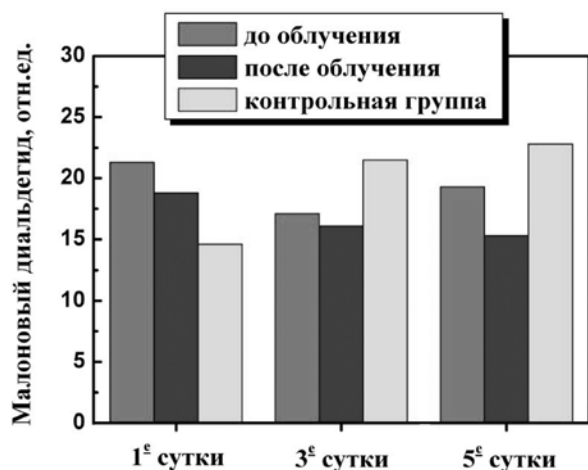


Рис. 10. Динамика изменения МДА у пациентов, получавших терапевтическое лечение с помощью установки «Инфратератрон», и у пациентов контрольной группы

Такое сочетание изменений является благоприятным, так как отражает оптимальный уровень продукции активных форм кислорода в сочетании с ростом резервных возможностей иммунокомпетентных клеток. С увеличением продолжительности лечения и спонтанная, и индуцированная ХЛ имели тенденцию к нормализации (до очередного сеанса), к середине курса облучения (на 5-е сутки) оба показателя возрастали. При продолжительном лечении и достижении терапевтического эффекта различия показателей до и после облучения нивелировались. Увеличивались концентрации веществ низкой и средней молекулярной массы (ВНСММ) в венозной плазме с одновременным выраженным снижением их на мембранах эритроцитов.

У здоровых волонтеров после облучения не наблюдалось изменения числа лейкоцитов и антиоксидантной активности и возрастал уровень спонтанной и индуцированной ХЛ.

В результате клинических испытаний установки терагерцевой ИК-терапии «Инфратератрон» были сделаны выводы о том, что излучение дальнего ИК-диапазона (1 мкм ÷ 56 мкм) с терагерцевой модуляцией:

1) оказывает благоприятное общее воздействие на самочувствие больных, понижает уровень тревожности, обладает анальгетическим эффектом;

- 2) не оказывает клинически значимого влияния на биохимические показатели крови у тяжело обожженных и здоровых пациентов;
- 3) приводит к оптимизации продукции активных форм кислорода и усилению антиоксидантной активности, вызывая таким образом интенсификацию механизмов неспецифической резистентности пострадавших;
- 4) приводит к мягкому повышению спонтанной и индуцированной свободнорадикальной активности у здоровых пациентов, а также к умеренному возрастанию интенсивности антиоксидантных процессов, что является благоприятным физиотерапевтическим эффектом;
- 5) повышает пластичность мембран эритроцитов, что приводит к снижению за счет этого тяжести гипоксии.

## Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований было подтверждено, что аппарат ИК-терапии с терагерцевой модуляцией и установка терагерцевой ИК-терапии «Инфратератрон» могут быть с высокой эффективностью использованы в лечебных, лечебно-профилактических и научно-исследовательских медицинских учреждениях. Данная аппаратура не имеет мировых аналогов, поскольку аппаратных средств лечения ожогов большой площади в настоящее время не имеется. Ее применение позволяет успешно лечить больных в шоковом состоянии с ожогами большой площади, которые до сих пор считались безнадежными.

## Литература

1. Humphreys K., Loughran J. P., Gradziel M., Lanigan W., Ward T., Murphy J. A., O'Sullivan C. Medical applications of Terahertz Imaging: a Review of Current Technology and Potential Applications in Biomedical Engineering. Proc. of 26th Annual Int. Conf. of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2004, 2 1302.
2. Woodward R. M., Cole B. E., Wallace V. P., Pye R. J., Arnone D. D., Linfield E. H., Pepper M. Terahertz pulse imaging in reflection geometry of human skin cancer and skin tissue. Phys. Med. Biol. 2002, 47 3853.
3. Fischer B. M., Walther M., Uhd Jepsen P. Far-infrared vibrational modes of DNA components studied by terahertz time-domain spectroscopy. Phys. Med. Biol. 2002, 47 3807.
4. Hardy J. D. Thermal radiation, pain and injury. //Therapeutic Heat and Cold, ed. Licht S., Baltimore, MD: Waverly, 1972, chapt. 5, p. 170.
5. Плахова В. Б., Подзорова С. А., Мищенко И. В., Баграев Н. Т., Клячкин Л. Е., Маляренко А. М., Романов В. В., Крылов Б. В. Возможные механизмы действия инфракрасного излучения на мембрану сенсорного нейрона. Сенсорные системы. 2003, 17 1.
6. Rothman J. E., Orci L. Budding vesicles in living cells. Sci. Amer. 1996, 274 70.
7. Давыдов А. С. Биология и квантовая механика. Наукова Думка, Киев: 1979, 296 с.
8. Currie R. W., Ross B. M., Davis T. A. Heat-shock response is associated with enhanced postischemic ventricular recovery. Circ. Res. 1989, 63 543.
9. Donnelly T. J., Sievers R. E., Visser F. L. J., Welch W. J., Wolfe C. L. Heat shock protein induction in rat hearts. A role for improved myocardial salvage after ischemia and reperfusion? Circulation. 1992, 85 769.
10. Yellon D. M., Passini E., Cargnoni A., Marber M. S., Latchman D. S., Ferrari R. The protein role of heart stress in the ischemic and reperfused rabbit myocardium. J Mol Cell Cardiol; 1992, 24 895.

# Научная школа Томского государственного университета в области нанотехнологий и процессы коммерциализации результатов исследований и разработок



**Г. Е. Дунаевский,**  
д. т. н., профессор, проректор Томского государственного университета по научной работе



**В. Ф. Евстафьев,**  
д. т. н., профессор, генеральный директор ФГУ НИИ РИНКЦЭ

В высших учебных заведениях Томской области сосредоточен крупный интеллектуальный потенциал, характеризующийся самой высокой в России долей работников с высшим и средним образованием от общего числа занятых. На 10 тыс. человек экономически активного населения региона приходится 151 исследователь, в то время как в целом по России этот показатель составляет 69 научных специалистов.

В томских университетах и входящих в их структуру научно-исследовательских институтах работают более 700 докторов наук, 23 действительных члена и член-корреспондента государственных академий, более 4000 кандидатов наук, 1500 аспирантов. В 2006 году в области насчитывалось свыше 300 инновационных предприятий. Ежегодно создаются 20-25 новых инновационных структур, 500 новых рабочих мест. Ежегодный прирост объема производства наукоемкой продукции составляет около 40%.

Томский научно-образовательный комплекс в новых условиях рассматривается как главное конкурентное преимущество области и ее основной стратегический ресурс для развития экономики инновационного типа на основе интеграции образования, науки и производства.

Подтверждением ведущего положения региона в развитии инновационных процессов в системе научно-образовательных учреждений стала победа Томской области в конкурсе на право создания особой экономической зоны технико-внедренческого типа, объявленном Правительством России в 2005 году. Особая экономическая зона в Томске будет создана на территории двух участков общей площадью 298 га.

Важно подчеркнуть, что одним из трех главных направлений развития особой экономической зоны (ОЭЗ) являются «Технологии производства новых

материалов и нанотехнологий (разработка технологий производства нанопорошков металлов и субмикронных микропорошков неорганических соединений, нановолокон неорганических соединений, конструкционной керамики на основе диоксида циркония, биокomпозиционного материала на основе наноструктурного титана и др.)».

В значительной степени такой специализации ОЭЗ способствовало формирование на протяжении последних 40 лет в Томском научно-образовательном комплексе известных научных школ, осуществляющих исследования в сфере нанотехнологий, и создание инфраструктуры, позволяющей решать задачу подготовки производства и выпуска продукции на основе инновационных разработок.



Основателем одной из наиболее известных таких школ, занимающейся исследованиями в области аэродинамики двухфазных потоков, был профессор В. А. Шваб. Томский государственный университет (ТГУ) является в настоящее время ведущим научно-образовательным учреждением, в котором его соратники и ученики продолжают научные исследования

теоретических основ процессов измельчения, классификации и смешивания дисперсных материалов, а также синтеза тугоплавких соединений. Их усилиями на основе результатов научно-исследовательских и конструкторских работ в сотрудничестве со специалистами других научных центров разработаны технологические процессы получения новых материалов и создан комплекс высокоэффективных пневмоциркуляционных установок и реакторов синтеза, которые успешно используются на более чем десятке предприятий и научных организаций страны.

Известность и инновационная привлекательность разработок ученых ТГУ по получению порошковых материалов с размерами частиц на уровне десятков нанометров помогла использовать потенциал специалистов ряда научных, технологических и промышленных структур в России и за рубежом для развития сотрудничества в этом направлении и совершенствования базовых процессов.

С начала 1990-х годов ТГУ сотрудничает в области фундаментальных исследований новых материалов и технологических процессов их получения с Научным центром порошкового материаловедения (ФГНУ «НЦ ПМ») Пермского государственного технического университета, возглавляемым академиком РАН В. Н. Анциферовым. Для этого центра в 2005 г. томскими специалистами разработана и изготовлена установка для проведения исследовательских работ по отработке технологии получения нанодисперсных порошков тугоплавких соединений, металлов и сплавов, изготовлению опытных партий порошков и поставки их потребителям. Полученные в результате совместных исследований порошки оксида алюминия имеют размер частиц от 12 до 26 нанометров.

Многoletние контакты томских и новосибирских ученых из Института катализа им. Г. К. Борескова и Института химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН привели к созданию усовершенствованных установок, обеспечивающих получение промышленных партий тонкодисперсных порошков оксида алюминия.

Ведутся совместные исследования в области порошковых наноматериалов с Миланским политехническим институтом (Италия), Фраунхоферским институтом химической технологии (Германия) и другими зарубежными организациями, связанными с разработкой нанотехнологий. Проводятся поставки опытных партий наноматериалов в эти организации как для исследовательских целей, так и для изучения возможностей осуществления совместных проектов, связанных с разработкой нанопорошков применительно к запросам национальных потребителей.

Обобщая результаты работы ученых и специалистов ТГУ в данной области, можно констатировать, что удалось добиться предельно тонкого диспергирования органических и неорганических материалов, выделения узких однородных фракций частиц при отсутствии дополнительных примесей и сохранении чистоты получаемой продукции на уровне исходного сырья. Эти

достоинства получены за счет применения способов и устройств, основанных на взаимодействии газовых струй с порошкообразным материалом и организации циркуляционного движения гетерогенных потоков в специально сконструированных установках.

Разработано целое поколение пневматических установок с возможностью выполнения основных технологических операций порошковой технологии в области субмикронных размеров частиц (измельчение, классификация, высококачественное смешивание, конвективная сушка, гранулирование и др.). Технические характеристики установок: рабочие давления — от 0,1 до 0,8 МПа, расход газа — от 30 до 600 кубометров в час, производительность при измельчении — от 5 до 60 кг в час, при классификации — до 15 кг в час (в тонкой зоне), коэффициент неоднородности при смешивании порошков — не более 2%. При этом достигнуты достаточно низкие удельные энергозатраты (10–15 кВт·ч/кг) и высокая производительность получения порошков с нано- и субмикронными размерами частиц.

Данный технологический процесс позволяет получить порошки с удельной поверхностью свыше 60 м<sup>2</sup>/г, состоящие из частиц с характерным размером от 30 до 90 нм, и выделить узкие нормированные фракции ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si, SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, WC, TiC, AlN, Al, Cu, а также других неорганических и органических соединений в субмикронном и наноразмерном диапазоне. Измерения дисперсного состава порошков проводились электронной и оптической микроскопией с использованием метода БЭТ.

Углубленные исследования показали возможность разделения на узкие по дисперсному составу фракции даже сверхтонких порошков при многократной рециркуляции частиц в высоконапряженных центробежных полях. Так, из плазмохимических порошков ферритов (основа — цинк) производства ФГУП «Сибирский химический комбинат» (г. Северск) были выделены фракции с  $\delta_{97} < 0,4\text{--}0,8$  микронетров. Из промышленных порошков марки АСД выделены субмикронные фракции алюминия. Узкие фракции выделены из порошков меди, производимых НПП «Высокодисперсные металлические порошки» (г. Екатеринбург).

Порошки, получаемые другими известными методами, например электрическим взрывом проводника (ЭВП), обладают довольно широким разбросом частиц по размерам (от десятков нанометров до нескольких микронетров). Пневмоциркуляционный метод переработки порошков по технологии ТГУ обеспечивает получение субмикронных и наноразмерных порошков с нормированным распределением частиц по фракциям. Таким путем были нормированы ультрадисперсные фракции меди, вольфрама и ряда других порошков, полученные электровзрывом, что говорит о возможности использования данной технологии для качественного улучшения дисперсных характеристик получаемых другими способами порошков, в том числе наноразмерных.

Переход на порошки, полученные пневмоциркуляционным методом, качественно расширяет возможности технологического синтеза тугоплавких соединений. Это позволило, в частности, проводить реакцию синтеза нитрида кремния в диапазоне низких давлений (0,4–0,6 МПа) и температур, обеспечивающих получение готового продукта в виде  $\alpha$  – формы.

Проведена апробация технологии получения субмикронных и наноразмерных порошков тугоплавких соединений для производства керамики с высокими характеристиками. Использование сверхтонких порошков  $Al_2O_3$  позволило получить образцы продукции с трещиностойкостью, вдвое превышающей значение этого показателя по сравнению со стандартной корундовой керамикой.

Как мы уже отмечали, успешному развитию инновационных процессов в ТГУ, связанных в первую очередь с реализацией программы развития нанотехнологий, способствовали не только высокий научно-технический уровень исследований и разработок, но и в не меньшей степени — создание условий для ускорения реализации конечных результатов и применения их как в научной, так и в производственной деятельности. Сейчас, в период становления рыночной экономики, в обобщенной форме мы называем этот процесс коммерциализацией (трансфером) технологий.

Одной из важных функций процесса коммерциализации технологий является заполнение почти всегда существовавшего в условиях плановой экономики разрыва в цепочке «наука — производство», из-за которого новые технологии часто не находили реализации в практической деятельности. С одной стороны, научное сообщество не имело реальных возможностей, за рядом известных исключений, для продвижения результатов своих исследований к потребителю, а с другой стороны, предприятия промышленности были мало заинтересованы во внедрении новейших технологий рискованного характера.

Настоятельная необходимость заполнения этого разрыва в условиях ориентации экономики на инновационный характер привела к ускоренному развитию в рамках российской инновационной системы инфраструктуры научно-технической деятельности. Разработки и проекты ученых Федерального государственного учреждения «Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (ФГУ НИИ РИНКЦЭ), относящиеся к проблеме создания и функционирования национальной инновационной системы, явились предпосылкой для возникновения, структурирования и определения программы деятельности образований, входящих в инновационную инфраструктуру. Одной из ее главных составляющих стало создание сети центров коммерциализации технологий, в той или иной степени способствующих реализации разработок путем инновационного взаимодействия между исследователем (разработчиком) и производством или непосредственно выполняющих

функции доведения разработок до выпуска опытных серий или серийного производства

ФГУ НИИ РИНКЦЭ имеет функциональное отделение со статусом Государственного центра — Информационно-аналитический центр мониторинга и развития инновационных инфраструктур, осуществляющее разработку и реализацию концепции непрерывного мониторинга инновационной инфраструктуры и ведение реестра организаций инновационной деятельности.

В настоящее время в системе научно-образовательных учреждений наибольшее распространение получили инновационно-технологические центры, инновационно-промышленные комплексы, технопарки, центры коллективного пользования, бизнес-инкубаторы, технологические кластеры и ряд других организаций, которые классифицируются на группы, как правило, по типу инфраструктуры: производственно-технологическая, экспертно-консалтинговая, информационная группа и так далее.

Следует отметить, что Томский государственный университет одним из первых среди научно-образовательных учреждений пришел к пониманию необходимости безотлагательного развития инновационной инфраструктуры на своей базе или в содружестве с партнерскими компаниями и за последние годы добился в этом деле заметных результатов, используя наряду с другими источниками методические материалы и рекомендации ФГУ НИИ РИНКЦЭ.

Особенностью развития инфраструктуры в ТГУ является то, что в его системе созданы научно-образовательные центры (НОЦ), имеющие комплексную направленность и охватывающие по своей тематике сферу научно-технической деятельности научных работников, студентов, преподавателей как непосредственно ТГУ, так и других вузов и научных организаций Томска. Примером такой структуры является Центр трансфера технологий в рамках НОЦ «Физика и химия высокоэнергетических систем» ТГУ, который на системной основе оказывает помощь в реализации разработок на региональном, национальном и международном уровнях.

Состояние и перспективы деятельности этого центра заслуживают внимания, поддержки и распространения. Научно-образовательный центр «Физика и химия высокоэнергетических систем» создан в рамках совместной российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRNE), основанной Министерством образования и науки РФ и Американским фондом гражданских исследований и развития CRDF. В работе НОЦ участвуют как университетские коллективы (ФФ, ФТФ, ММФ), так и коллективы академических институтов СО РАН (Институт физики прочности и материаловедения, Институт сильноточной электроники, отдел структурной макрокинетики ТНЦ, Институт проблем физико-энергетических технологий). Главной целью НОЦ является объединение потенциала научно-исследовательских и образовательных коллективов,

сформировавшихся на базе научных школ Томского государственного университета по кинетике многофазных высокоэнергетических систем и физическому материаловедению, в НОЦ международного уровня, деятельность которого направлена как на подготовку высококвалифицированных специалистов, так и на решение фундаментальных и прикладных задач, стоящих перед человечеством в XXI веке.

Созданы и функционируют также НОЦ «Наноэлектроника» и «Технологии безопасности». Для коммерциализации разработок организован ряд инновационных подразделений производственно-технологической группы, таких как Инновационно-технологический НОЦ ТГУ и Инновационно-технологический бизнес-инкубатор ТГУ, в рамках которых в том числе осуществляется координация процесса реализации технологий и установок, упоминаемых в настоящей статье. В структуре университета имеется также Томский материаловедческий центр коллективного пользования, а в состав Научного управления входит отдел коммерциализации научных разработок.

В результате многолетних усилий вузовским коллективом реализована основная цель инновационной деятельности — пройден путь от фундаментальных и прикладных исследований до создания опытного многотоннажного производства продукции на основе нанотехнологий на работающих под эгидой университета малых инновационных предприятиях (ООО НПО «МИПОР», ООО «Пневмосервис» и др.).

Малыми предприятиями регулярно поставляется на подшипниковые заводы абразивный порошок АМПЭК-М0,3 на основе оксида алюминия с характерным размером частиц 200-300 нм. Объем производства и реализации абразивных микропорошков на основе  $Al_2O_3$  различной дисперсности уже достиг десятков тонн в год.

Налажено производство порошков на основе нитрида кремния, которые используются для получения высокоазотистых сталей, в том числе трансформаторных, конструкционных и других видов сталей, близких по составу компонентов. Легирующие добавки, получаемые синтезом из субмикронных компонентов, позволяют повысить степень усвоения азота. На способ получения получен патент и начат выпуск опытно-промышленных партий высокоазотистого легирующего материала.

Прямым синтезом были получены консолидированные образцы керамики на основе нитрида кремния. Из них изготовлены пластины, которые могут использоваться как термостойкие покрытия, и трубы для выпускных сопел в металлургическом производстве. Ведется работа по внедрению в производство получаемых таким методом огнеупорных покрытий и сопел.

Образцы выпущенной продукции прошли успешные испытания в Германии, США, Италии, Канаде, Китае, Израиле и других странах. Получены заказы от НПО «Нанометрические порошки металлов» (г. Москва) на поставку наноразмерных порошков в Германию.

Повышение инновационной активности научного сообщества и восприимчивости промышленного сектора к прогрессивным технологиям непосредственно связано с ускоренным развитием научно-технологического потенциала по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

Индустрия наносистем и материалов, как известно, входит в их число, и поэтому ТГУ участвует в реализации Федеральных целевых научно-технических программ, которые являются важнейшим механизмом государственной поддержки инновационных технологий и коммерциализации научно-технических результатов, полученных в ходе выполнения государственных контрактов.

В 2006 году ТГУ совместно с НПО «МИПОР» в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002-2006 гг.» (лот 1. 2006-РИ-13/001) был выполнен проект «Разработка и внедрение комплексной технологии получения новых материалов и изделий из наноразмерных компонентов» и в рамках этой же ФЦНТП был осуществлен проект «Разработка технологии крупнотоннажного производства нано- и субмикронных компонентов и синтеза новых материалов на их основе» (Лот 1. РИ-34/002).

Инновационные проекты, выполненные в рамках ФЦНТП, показали себя как эффективный инструмент государственно-частного партнерства и подтвердили заинтересованность промышленности в отечественных высоких технологиях. Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 гг.» включает важнейший инновационный проект государственного значения «Разработка технологий и освоение производства приборов и оборудования для нанотехнологий» (головной исполнитель: ЗАО «Нанотехнология МДТ», Зеленоград). Данный проект имеет выраженную экспортную направленность и предусматривает поставку в страны ЕС, Юго-Восточной Азии и США оборудования и приборов зондовой микроскопии для оснащения предприятий, работающих в сфере нанотехнологий.

НПО «МИПОР» в сотрудничестве с ТГУ является партнерской компанией ЗАО «Нанотехнология МДТ». Соглашение, заключенное между ними, предусматривает сотрудничество и координацию разработок сторон в области нанотехнологий с целью создания специализированного исследовательского оборудования на базе зондовой и атомно-силовой микроскопии для анализа порошковых материалов и изделий из них и совершенствование с помощью такого анализа технологии производства наноматериалов. Это обстоятельство предоставляет ученым и специалистам ТГУ новые возможности для реализации своего интеллектуального потенциала.

Со своей стороны, ФГУ НИИ РИНКЦЭ, оказывая экспертно-консалтинговые услуги заказчи-



кам и исполнителям заданий Федеральных целевых программ, непосредственно участвует в процессе сопровождения конкурсов на выполнение работ для государственных нужд, осуществляет исследования проблем учета и контроля за использованием результатов научно-технической деятельности и прав на них, а также научно-методическое и информационное сопровождение выставочных и других научно-технических мероприятий в России и за рубежом.

В частности, в результате экспертного отбора и оценки экспортных возможностей разработок ТГУ и НПО «МИПОР» в области получения новых материалов из наноразмерных компонентов, выполненных специалистами ФГУ НИИ РИНКЦЭ, университет участвовал в презентации российских высоких технологий в рамках Российской национальной выставки в Пекине (Китай) в ноябре 2006 г. и VII Московского международного салона инноваций и инвестиций в феврале 2007 г. и был отмечен высшими наградами эти мероприятий.

В 2006 г. Томский государственный университет стал одним из 17 вузов — победителей Всероссийского конкурса инновационных образовательных программ, проведенного в рамках Национального проекта «Образование». Мероприятия программы

являются основой стратегического плана развития ТГУ как исследовательского университета, ведущего инновационного центра образования и науки. Их выполнение обеспечивается федеральной (госбюджетной) поддержкой и софинансированием из внебюджетных средств вуза на период 2006–2007 гг.

Цель программы — создание устойчивой системы инновационного развития образования и науки в Томском государственном университете, направленной на реализацию научно-педагогического потенциала ТГУ в реальном секторе экономики и сфере услуг, удовлетворение современных потребностей рынка труда, обеспечение кадровых, научных и технологических запросов Томской технико-внедренческой зоны, обеспечение ускоренного развития научно-технологического потенциала по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

Остается выразить надежду, что мероприятия программы, как многое из того, что уже реально осуществлено Томским государственным университетом в деле развития инновационной деятельности и коммерциализации разработок в сфере нанотехнологий, при поддержке ФГУ НИИ РИНКЦЭ и других партнеров будут успешно выполнены.

## НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 2008 год

март 2008 апрель 2008	<b>XI Международная конференция «Дислокационная структура и механические свойства металлов и сплавов» на тему: «Нанотехнология и физика наноструктурных материалов нового поколения: наноструктурные суперсплавы, композиты, керамики, покрытия»</b>
<i>Новоуральск, Свердловская обл., РОССИЯ</i>	<i>Организаторы:</i> Ин-т физики металлов УрО РАН. Тел.: (343) 378 3821; Факс: (343) 374 5244; URL: <a href="http://www.imp.uran.ru">www.imp.uran.ru</a>
11.03.2008 12.03.2008	<b>6-й международный симпозиум по нанотехнологии «Новые идеи в промышленности»</b>
<i>Дрезден, ГЕРМАНИЯ</i>	<i>Организаторы:</i> VDI Wissensforum IWB GmbH, Graf-Recke-Strasse 84, 40239 Dusseldorf, Germany. Тел.: +49 (211) 621 4201; Факс: +49 (211) 621 4154
апрель 2008	<b>Международная научно-практическая конференция «Квантовые компьютеры, микро- и наноэлектроника»</b>
<i>Ярославль, РОССИЯ</i>	<i>Организаторы:</i> А.С. Рудый, Ярославский ГУ. Тел.: (4852) 79 7774; Факс: (4852) 25 5787
21.04.2008 25.04.2008	<b>HANNOVER MESSE: MicroTechnology — Международная выставка. Прикладные технологии, микросистемы и нанотехнологии</b>
<i>Ганновер, ГЕРМАНИЯ</i>	<i>Организаторы:</i> Deutsche Messe AG, Messegelände, 30521 Hannover, Germany. Тел.: +49 (511) 89-0; Факс: +49 (511) 893 2626; URL: <a href="http://www.messe.de">www.messe.de</a>
27.05.2008 29.05.2008	<b>7-я международная конференция WSEAS по микроэлектронике, наноэлектронике и оптоэлектронике — MINO '08</b>
<i>Стамбул, ТУРЦИЯ</i>	<i>Организаторы:</i> WSEAS. URL: <a href="http://www.wseas.org/conferences/2008/istanbul/mino/index.html">www.wseas.org/conferences/2008/istanbul/mino/index.html</a>
17.06.2008 19.06.2008	<b>MiNaT — Международная выставка. Точная механика и сверхточные микро- и нанотехнологии</b>
<i>Штутгарт, ГЕРМАНИЯ</i>	<i>Организаторы:</i> Messe Congress Center Stuttgart, Landesmesse Stuttgart GmbH, Abteilung Gastveranstaltungen, Am Kochenhof 16, 70192 Stuttgart, Germany. Тел.: +49 (711) 2589-0; Факс: +49 (711) 258 9440; URL: <a href="http://www.messe-stuttgart.de">www.messe-stuttgart.de</a>

# Кластерная система непрерывного междисциплинарного профессионального образования **в области разработки и освоения наноструктурных материалов и технологий промышленного и медицинского назначения**



**Л. Я. Дятченко,**  
д. социол. н.,  
профессор кафедры  
социальных технологий,  
ректор

**Т. М. Давыденко,**  
д. пед. н., профессор  
кафедры педагогики,  
первый проректор,  
проректор по науке



**Ю. Р. Колобов,**  
д. ф.-м. н., профессор,  
заведующий кафедрой  
материаловедения  
и нанотехнологии, директор  
Центра наноструктурных  
материалов и покрытий

**М. И. Ситникова,**  
к. пед. н., доцент кафедры  
педагогики, начальник  
учебно-методического  
управления



**Белгородский государственный университет**

*В статье рассматривается модель организации взаимодействия науки, образования и экономики на основе кластерной системы непрерывного междисциплинарного образования в области разработки и освоения наноструктурных материалов и технологий промышленного и медицинского назначения, представлен опыт включения Белгородского государственного университета в систему развития региональных кластеров, показана перспектива влияния программы в рамках кластерного подхода на инновационное развитие университета, отрасли, региона, системы высшего профессионального образования.*

*The article is devoted to the model of organization of interaction of science, education and economics on the basis of cluster system of continuous interdisciplinary education in the field of elaboration and mastering of nanostructural materials and technologies for industrial and medical purposes; the experience of inclusion of Belgorod State University into the system of development of the regional clusters, the perspective of the programme influence in the framework of cluster approach on the innovative development of the university, branch of science, region, system of higher professional education is shown.*

Развитие мирового сообщества характеризуется стремительно разворачивающимися инновационными процессами, все чаще приобретающими статус основного индикатора социально-технологического культурного развития. Кардинальное реформирование российского общества, сопровождаемое радикальными изменениями во всех сферах жизни, требует обновления всех социальных институтов и систем, в том числе и образования.

В связи с этим традиционные университеты получили уникальную возможность трансформироваться в университеты инновационного (предпринимательского) типа. Для развивающейся наукоемкой экономики как страны в целом, так и регионов в частности, понятия уровня и содержания профессионального образования в условиях необычайной динамичности современной жизни и усиления конкуренции в производстве становятся

основополагающими. В то же время современное состояние инновационной системы не отвечает новым реалиям. Это проявляется, в частности, в резком сокращении заказов отечественной науке со стороны промышленности, низкой инновационной активности отраслей экономики.

Мировой опыт показывает, что осуществление диверсификации и преодоление технологического отставания возможно только при наличии в стране развитой среды «генерации знаний», основанной на мощном секторе фундаментальных исследований в сочетании с эффективной системой образования, и национальной инновационной системы, включающей в себя совокупность хозяйствующих субъектов, институциональной базы инновационной деятельности, инфраструктуры, ресурсов [1].

Новые подходы предполагают косвенное воздействие на промышленное развитие через создание условий для развития бизнеса с учетом важнейших конкурентных преимуществ российского образования — интеллектуального и научно-технического потенциалов. Один из них — кластерный подход. «Кластер — это сеть поставщиков, производителей, исследовательских институтов, взаимосвязанных в процессе создания добавочной стоимости» [2]. Данный подход учитывает положительные синергетические эффекты региональной агломерации, обусловленные близостью потребителя и производителя, сетевые эффекты и диффузию знаний и умений за счет миграции персонала и выделения бизнеса. Кластер для бизнеса — это реальная возможность обеспечить себе конкурентоспособность в будущем.

К позитивным условиям, способствующим развитию кластеров в России, специалисты относят существование технологической и научной инфраструктур и психологическую готовность к кооперации. Сдерживающими факторами для развития кластеров являются: низкое качество бизнес-климата, низкий уровень развития ассоциативных структур (торговых палат, промышленных ассоциаций), краткосрочный горизонт планирования [3]. Главным условием формирования кластеров является диалог между государственным и частным секторами.

В Белгородской области сегодня сформирован целый ряд наукоемких экономических кластеров: металлургическое и сельскохозяйственное производство, производство готовых металлических изделий, машин, оборудования, лекарств, строительных материалов и другие. Перспективное развитие этих отраслей экономики связано с внедрением нанотехнологий как системообразующего фактора экономики XXI века — экономики, основанной на знаниях, а не на использовании природных ресурсов или их переработке. Помимо того, что работы в области нанотехнологий стимулируют развитие новой парадигмы всей производственной деятельности, они сами олицетворяют новые подходы к решению важных социальных проблем в постиндустриальном обществе и повышению качества жизни. По мнению большин-

ства экспертов в области научно-технической политики и инвестирования средств, начавшаяся новая технологическая революция охватит все жизненно важные сферы деятельности человека (от освоения космоса — до медицины, от национальной безопасности — до экологии и сельского хозяйства), а ее последствия будут обширнее и глубже, чем компьютерной революции последней трети XX века.

Развитие региональной nanoиндустрии требует кадрового, научного и инновационного обеспечения подготовки специалистов в области наноматериалов и нанотехнологий, физики, химии, биологии, медицины, фармацевтики и информатики, способных обеспечить развитие фундаментальной и прикладной науки в сфере создания наноструктурных материалов медицинского и технического назначения, ускоренное производственное освоение результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, опережающее развитие экономических кластеров региона.

В Белгородском государственном университете (далее БелГУ) для разработки и освоения наноструктурных материалов и нанотехнологий промышленного и медицинского назначения используется **кластерная система непрерывного междисциплинарного образования**, которая представляет собой совокупность взаимодействующих инновационной образовательной программы, участников ее реализации, системы управления реализацией программы.

**Инновационная образовательная программа** направлена на опережающую непрерывную междисциплинарную подготовку специалистов по естественнонаучным, инженерным, медицинским и фармацевтическим специальностям (направлениям), профессионалов, компетентных в соответствующей области и способных обеспечить развитие nanoиндустрии в наукоемких экономических кластерах региона на основе создания гибкой образовательной структуры, научной, технической и производственной базы.

Формирование содержания инновационной образовательной программы осуществлялось на основе региональных научных, научно-технологических и образовательных традиций с учетом мировых технологических укладов и национальных технологических приоритетов. Программа включает в себя инновационные образовательные, научно-исследовательские и научно-производственные проекты.

Составляющими **инновационных образовательных проектов** являются:

- специализации и новые учебные дисциплины для студентов, магистрантов и аспирантов по тематике наноматериалов и нанотехнологий;
- повышение квалификации сотрудников промышленных и медицинских предприятий и фирм в области освоения наноструктурных материалов и нанотехнологий;
- создание информационной инфраструктуры и программных средств для дополнительного образования.

- В процессе реализации проекта осуществляются:
- разработка и реализация модели мобильной ориентации БелГУ на выполнение территориального образовательного заказа на примере междисциплинарной подготовки специалистов в области наноматериалов и нанотехнологий промышленного и медицинского назначения;
  - создание гибкой образовательной структуры, опережающей междисциплинарной подготовки специалистов по естественнонаучным, инженерным, медицинским и фармацевтическим специальностям (направлениям) в области разработки и освоения наноструктурных материалов и технологий в промышленности и медицине;
  - подготовка квалифицированных менеджеров инновационных проектов;
  - создание селективной системы поиска эффективных лидеров высоких технологий и бизнеса (через дипломные, магистерские и аспирантские работы) в области наноматериалов и нанотехнологий;
  - создание системы сопровождения профессионального роста выпускников БелГУ с постоянным повышением квалификации в области наноматериалов и нанотехнологий;
  - разработка новых практико-ориентированных образовательных технологий и методико-технологических способов организации учебного процесса;
  - создание условий для подготовки и переподготовки научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации, активизации участия молодых ученых, аспирантов и студентов в научных исследованиях и прикладных разработках.

**Научно-исследовательские проекты** предполагают:

- разработку научных основ и создание наноматериалов и нанотехнологий технического и медицинского назначения;
- разработку нормативно-правовых и финансовых механизмов поддержки малых предприятий в наукоемких областях производства;
- маркетинговые исследования востребованности специалистов.

Основными направлениями проводимых в БелГУ исследований в области наноматериалов и нанотехнологий являются:

а) фундаментальные исследования:

- разработка физических принципов упрочнения и пластификации сталей, сплавов и композиционных материалов технического и медицинского применения путем формирования ультрамелкозернистого и наноструктурного состояний воздействием интенсивной пластической деформации. Экспериментальное и теоретическое исследование структуры и свойств наноматериалов, в том числе методами компьютерного моделирования на основе «из первых принципов»;
- разработка научных основ создания биоконструктивных «наноструктурное металл-биоактивное/биоинертное покрытие»;

- изучение иммунного ответа организма и неспецифических тканевых реакций на биоконструктивные имплантаты.

б) прикладные исследования:

- разработка технологических процессов и оборудования для получения объемных металлических наноструктурных материалов с использованием комплексной механотермической обработки, включающей воздействие интенсивной пластической деформации в сочетании с обратимым легированием водородом для использования в медицине и технике;
- оптимизация технологических процессов обработки сталей и сплавов на металлургических и машиностроительных предприятиях Белгородской области;
- разработка технологических процессов и оборудования для нанесения сверхтвердых углеродных алмазоподобных покрытий нанометровой толщины, в том числе на кантилеверы (микросонды) сканирующих зондовых микроскопов для нанолитографии;
- освоение в клинической практике биоинертных и биоактивных имплантатов для использования в травматологии, ортопедии, стоматологии и кардиохирургии;
- разработка технологических процессов получения из глин территории Белгородской области монтмориллонитовых наноструктурных сорбентов для рафинирования природных сред верхнего плодородного слоя сельскохозяйственных угодий от тяжелых металлов.

**Научно-производственные проекты** привели к необходимости:

- разработки технологических процессов и оборудования для получения объемных наноструктурных материалов; модификации поверхности материалов и нанесения покрытий методами ионноплазменного напыления, микродугового оксидирования, ионной химико-термической обработки;
- организации производства наноустройств и нанороботов; пищевых и кормовых добавок; лекарственных форм на основе фармакологически активных наноматериалов; медицинских имплантатов;
- разработки способов хранения и защиты информации с использованием покрытий нанометровой толщины.

Механизм функционирования кластерной системы непрерывного междисциплинарного профессионального образования в области разработки и освоения наноструктурных материалов и нанотехнологий в промышленности и медицине включает в себя:

- поиск эффективных лидеров высоких технологий и бизнеса через подготовку и защиту выпускных квалификационных работ (дипломных и магистерских) выпускниками университета;
- «выращивание» эффективных лидеров посредством включения специалистов и магистров в целевую аспирантуру с техническим и бизнес-образованием;

- ориентацию выпускников на трудоустройство в малые производственные предприятия с новыми рабочими местами на основании защиты диссертации и разработки бизнес-плана;
- интеграцию новых продуктов деятельности выпускников в ведущие предприятия региона.

Не исключается также изначальное трудоустройство в ведущие предприятия.

Реализация инновационной образовательной программы осуществляется на основе запланированных мероприятий аналитического, проектного, нормативно-правового, организационного, мотивационного, информационного обеспечения.

**Аналитическое обеспечение** — это изучение рынка труда Белгородской области и Центрально-Черноземного региона на предмет востребованности кадров в сфере наноиндустрии; уточняющий анализ соответствия предлагаемых научно-исследовательских и научно-производственных проектов потребностям экономических кластеров региона; осуществление выбора ограниченного числа приоритетов в развитии поисковых исследований фундаментально-го характера и прикладных разработок и др.

**Проектное обеспечение** предусматривает построение прогнозной модели междисциплинарной непрерывной подготовки специалистов в области нанотехнологий и наноматериалов и моделирование структуры междисциплинарной непрерывной подготовки студентов, магистрантов, аспирантов, специалистов.

**Нормативно-правовое обеспечение** включает в себя разработку положений (о междисциплинарной образовательной программе; о кафедре междисциплинарных дисциплин; положения, направленного на стимулирование создания преподавателями, сотрудниками, студентами, магистрантами, аспирантами БелГУ новых малых предприятий в сфере наукоемкого бизнеса), мероприятий по льготному финансированию из внебюджетных источников создаваемых малых наукоемких предприятий; создание, защиту и использование объектов интеллектуальной собственности и др.

Основными составляющими **организационного обеспечения** являются: разработка новых междисциплинарных специальностей и специализаций, магистерских и аспирантских программ; введение специализаций, связанных с управлением инновациями, для подготовки кадров по укрупненным группам специальностей и направлений подготовки: нанотехнология, физико-математические науки, естественные науки, здравоохранение; создание электронных пособий по основным курсам, связанным с наноматериалами и нанотехнологиями, создание новых лабораторных практикумов; организация обучения и переподготовки предпринимателей и работников, в том числе выпускников БелГУ, занимающихся вопросами использования наноматериалов и нанотехнологий в практической деятельности; разработка и использование гибких образовательных, в том числе информационных, технологий; создание наукоемких рабочих мест для выпускников БелГУ; интеграция

БелГУ с другими образовательными учреждениями, академическими институтами и промышленными предприятиями; осуществление постоянного мониторинга административных, экономических и иных барьеров, препятствующих реализации инновационной образовательной программы.

**Мотивационное обеспечение** требует стимулирования научной и инновационной деятельности обучающихся, преподавателей и сотрудников.

**Информационное обеспечение** представляет собой информационную поддержку реализации инновационной образовательной программы, участие в региональных, общероссийских и зарубежных выставках-ярмарках в области наноматериалов и нанотехнологий и др.

Развитие инфраструктуры основано на создании информационной инфраструктуры для хранения и передачи новых знаний, коммерциализации прикладных разработок, разработке программной поддержки для реализации дистанционных форм образовательного процесса, развитию приборной базы и потенциала участников реализации инновационной образовательной программы.

Реализация инновационной образовательной программы на основе кластерного подхода означает, что университет наряду с подготовкой специалистов нового поколения для рынка интеллектуального труда становится полноправным субъектом рыночной экономики как разработчик, поставщик объектов интеллектуальной собственности, продукции и образовательных услуг с новым качеством, востребованным потребителями.

**Участниками реализации инновационной образовательной программы** в БелГУ являются его центры как составляющие учебно-научно-производственного комплекса университета (УНПК): научно-образовательный Центр «Биосовместимые наноструктурные материалы и покрытия медицинского назначения» вместе с соисполнителями; Центр наноструктурных материалов и покрытий; Инновационно-технологический центр «Стратегическая инициатива».

Деятельность *научно-образовательного Центра «Биосовместимые наноструктурные материалы и покрытия медицинского назначения»* направлена на подготовку высококвалифицированных специалистов в БелГУ, в том числе по специальности 210602 «Наноматериалы», решение фундаментальных и прикладных задач медицинского материаловедения, инновационную деятельность по внедрению разработок наноструктурных материалов в производство. Он объединяет в единое информационное сообщество научные, преподавательские и производственные кадры, работающие в области изучения, разработки и серийного выпуска наноматериалов, организует сбалансированное управление научным и образовательным процессами с целью ориентации фундаментальных и прикладных исследований в области нанотехнологий на инновационную деятельность, направленную на решение конкретных задач произ-

водства с учетом требований рынка. В состав центра входят коллективы Центра наноструктурных материалов и покрытий, физико-математического, биолого-химического и медицинского факультетов БелГУ.

В составе УНПК в качестве формы развития инновационных образовательных программ создан *Инновационный технологический центр (ИТЦ) «Стратегическая инициатива» БелГУ*, включающий бизнес-инкубатор, технопарк, Региональный центр интеллектуальной собственности, Центр трансфера технологий, Школу предпринимательства, Институт высоких информационных технологий, Федерально-региональный центр аэрокосмического наземного мониторинга природных ресурсов и объектов, Центр радиоэлектроники и др. В ИТЦ созданы условия для открытия высокотехнологичных производственных предприятий, выпускающих наукоемкую продукцию, развиты системы консультирования, осуществлено экономическое, правовое и организационное обеспечение программ развития малого и среднего предпринимательства. Для реализации своих целей и задач ИТЦ взаимодействует со структурными подразделениями Правительства Белгородской области и областными структурами, занимающимися проблемами развития малого и среднего бизнеса.

В соответствии с приоритетным направлением развития науки РФ по разработке нанотехнологий и наноматериалов в настоящее время в БелГУ создан *мультидисциплинарный научно-исследовательский и инновационный Центр наноструктурных материалов и покрытий (ЦНСМП)*, занимающийся исследованием, разработкой и созданием наноструктурных материалов и покрытий медицинского и технического применений.

По имеющемуся плану совместного финансирования от Правительства Белгородской области, Белгородского госуниверситета, Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и других источников ЦНСМП укомплектован самым современным уникальным исследовательским (два просвечивающих электронных микроскопа, рентгеновские дифрактометр и спектрометр, металлографические микроскопы и микротвердомеры и др.), аналитическим (ионно-электронный микроскоп Quanta 200 3D, просвечивающий электронный микроскоп Теспаi высокого разрешения, рентгеновский дифрактометр XMD — 320) и технологическим оборудованием для обработки материалов воздействием интенсивной пластической деформации (мощный гидравлический пресс, оборудование для механоактивации порошков, термомеханической и химикотермической обработки материалов, нанесения микродуговых и ионно-плазменных покрытий и другое оборудование, закупленное у ведущих отечественных и зарубежных фирм).

Об оборудовании ЦНСМП по параметру «возможности» следует отметить, что ионно-электронный микроскоп Quanta 200 3D обладает возможностью работы в режиме естественной среды, определения легких элементов, функции приготовления фольги и

для ТЕМ (micromanipulator OmniProbe 100.7), имеет приставку для анализа обратно рассеянных электронов Pegasus 2000 и разрешение SEM 3,5 нм; в режиме низкого вакуума — не менее 15 нм.

К достоинствам оборудования можно отнести тот факт, что рентгеновский дифрактометр, к примеру, характеризуется большой рентгенонепроницаемой камерой для анализа массивных образцов сложной формы размерами 18х20х20 см, обладает возможностью измерения макронапряжений в объемных образцах (готовых изделиях) и позволяет проводить качественный и количественный фазовые анализы и текстурный анализ.

Примером практических разработок ЦНСМП является новый способ формирования наноструктурного состояния в промышленном титановом сплаве ВТ6 разносторонним изотермическим прессованием в сочетании с использованием обратимого легирования водородом. Состояние сплава характеризуется средним размером зерна менее 100 нм, сочетанием уникальных механических свойств: высокой прочностью при комнатной температуре (сравнимой с термически упрочняемыми сталями, предел прочности достигает 1500 МПа) и высокоскоростной низкотемпературной сверхпластичностью (удлинение при растяжении свыше 1000% при температуре 750°С).

В ЦНСМП разработана с целью замены широко применяемых в медицине алюминий-ванадий содержащих титановых сплавов технология получения наноструктурного высокопрочного технически чистого титана, не содержащего вредных для живого организма легирующих элементов. Выпущены его опытные партии, а также медицинские биокомпози- ты на основе наноструктурного титана и его сплавов с биоинертными и биоактивными нанокристаллическими покрытиями. На базе центра организовано производство указанных металлов в объеме потребностей медицинских учреждений города Белгорода.

Для оптимального размещения уникального оборудования и соблюдения современных требований к условиям проведения экспериментальных исследований, реализации практических разработок в области нанотехнологий, а также обучения аспирантов и студентов в апреле 2006 г. сдан в эксплуатацию специализированный комплекс, включающий отдельное здание для прецизионного аналитического и технологического оборудования площадью 1000 м<sup>2</sup> и производственный цех — 600 м<sup>2</sup>.

Созданный в Белгороде уникальный центр мирового уровня по теоретическому и экспериментальному исследованию, разработке и созданию перспективных для практического использования наноматериалов, координации НИОКР с исполнителями выполняемых в настоящее время крупных российских и зарубежных проектов может быть эффективно использован в работах по созданию нового поколения уникальных конструкционных и медицинских материалов и изделий из них.

Ведущими предприятиями региона, играющими роль ядра кластера в области разработки и освое-

ния наноструктурных материалов и технологий промышленного и медицинского назначения, являются: Оскольский электрометаллургический комбинат (ОЭМК), Лебединский горнообогатительный комбинат (ЛГОК), ОАО «Фармстандарт», ЗАО «Верофарм», ООО «Полисинтез», ОЭЗ «ВладМиВа» и др.

Так, например, ОЭЗ «ВладМиВа», являясь инновационным предприятием, обладает комплексом оригинальных решений (патентов, изобретений, ноу-хау), в течение многих лет занимается разработкой новых стоматологических материалов и организацией их промышленного выпуска. Оно поставляет продукцию стоматологическим поликлиникам и предприятиям «Медтехника» России, Украины, Беларуси, Казахстана, стран Балтии и др. В настоящее время открыты филиалы в городах Курск, Орел, Старый Оскол, создаются совместные предприятия на территории Украины, Литвы, Казахстана и Беларуси. Высококачественные препараты для стоматологической практики разрабатываются и производятся на самом современном оборудовании, соответствующем требованиям международных стандартов. Контроль над качеством продукции осуществляется в современных лабораториях, оснащенных новейшей техникой. Комплексные программы ОЭЗ «ВладМиВа» состоят из производства различных цементов, подкладочных и лечебных материалов, жидкостей для обработки корневых каналов, а также профилактических препаратов и материалов для зуботехнических работ. Наиважнейшим элементом политики предприятия являются постоянные научные исследования в области материаловедения.

В рамках существующего НОЦ сотрудники ОЭЗ «ВладМиВа» читают в БелГУ специализированные и общеобразовательные курсы. Инновационная программа дает возможность увеличить количество лекционных и практических часов, ориентированных на задачу представленной отрасли, занятий студентов, проводимых специалистами предприятия, организовать проведение практик и дипломирование на ОЭЗ «ВладМиВа» при использовании оборудования и научного потенциала Центра наноструктурных материалов и покрытий БелГУ с перспективой по окончании вуза обеспечения рабочим местом на предприятии. Это позволит повысить квалификацию кадров ОЭЗ, привлечь выпускников БелГУ к работе в сфере высоких технологий. Научно-техническое инновационное взаимодействие Центра наноструктурных материалов и покрытий БелГУ и ОЭЗ «ВладМиВа» при поддержке инновационной образовательной программы позволит предприятию увеличить долю наукоемких технологий в производстве, расширить спектр товаров и услуг для стоматологии, перейти на мировой уровень качества продукции.

В качестве партнеров выступает также ОАО «Оскольский завод металлургического машиностроения» (ОЗММ), специализирующееся на производстве сварных металлоконструкций, стального литья, изделий металлообработки. Основными направлениями взаимодействия в рамках реализации инновационной образовательной программы являются: исследования

методами высокоразрешающей сканирующей ионно-электронной микроскопии и рентгеновского элементно-структурно-фазового анализа микро- и макроструктуры продукции ОЗММ; разработка и совершенствование методов контроля качества продукции ОЗММ; подготовка и переподготовка специалистов в области разработки, исследования, метрологии, стандартизации и менеджмента наноматериалов и нанотехнологий; подготовка совместных научно-технологических и образовательных программ в интересах ОЗММ.

Партнерами по производству лекарственных форм на основе получения и исследования фармакологически активных наноматериалов являются ЗАО «Фармпродукт», ООО «Технофарм», ОАО «Фармстандарт-Лексредства», предприятие «Натурварен» (Германия). В рамках реализации программы предполагается совместное проведение научных исследований по производству новых лекарственных форм с использованием базы учебно-научно-производственного центра «Аптека БелГУ» и малого предприятия «Асклепий».

Между Белгородским государственным университетом, компанией «Нанотехнологии — МДТ» (Зеленоград) и Центром нанотехнологий (г. Мишкольц, Венгрия) подписано Соглашение о сотрудничестве в области подготовки специалистов, разработки, исследования и коммерциализации наноматериалов и нанотехнологий. План мероприятий по данному соглашению включает в себя развитие методов интенсивной пластической деформации металлических материалов (металлов, сплавов и сталей) для существенного улучшения механических свойств и достижения уникальных сверхпластичных свойств (БелГУ и Фонд им. Золтана Баи); создание и клинические испытания новых наноструктурных и функциональных материалов с высоким уровнем прочности, биокompatibilitи для медицинских применений (БелГУ и Фонд им. Золтана Баи); исследование наноматериалов методами высокоразрешающей ионно-электронной сканирующей микроскопии и рентгеноструктурного анализа (БелГУ, NT-MDT и Фонд им. Золтана Баи); образование в области нанотехнологий (БелГУ и Фонд им. Золтана Баи).

**Управление реализацией инновационной образовательной программы** построено по содержанию — на принципах селективного управления; по организации — на принципах корпоративного и горизонтально-сетевого управления.

Составляющими системы управления реализацией инновационной образовательной программы являются: система управления ресурсным обеспечением; система обработки и хранения документации — корпоративная база знаний, представляющая собой систему хранения и поиска всех формализованных и неформализованных знаний участников программы, уникального опыта и ноу-хау; система управления взаимоотношениями с участниками программы, заказчиками и потребителями образовательных и научных услуг; система управления специальностями и направлениями подготовки в



рамках реализации инновационной программы.

В рамках кластерной организационной структуры управления реализацией инновационной образовательной программы создан Совет по координации работы в сфере нанотехнологий и наноматериалов при губернаторе Белгородской области. На базе БелГУ для управления инновационной образовательной программой создан корпоративный Совет непрерывной междисциплинарной подготовки специалистов в сфере наноматериалов и нанотехнологий, в его состав входят представители БелГУ, академических структур, вузов России и зарубежья, промышленных предприятий и компаний.

Совет отвечает за организацию совместных научных исследований и образовательного процесса, их интеграцию и ресурсное обеспечение, утверждает планы и отчеты по реализации инновационной образовательной программы.

При Совете работает исполнительная дирекция, в которую входят заведующие кафедрами (материаловедения и нанотехнологий, выпускающих и предметных кафедр), руководители научно-методических советов специальностей (НМС). НМС представляют собой полуавтономные отделения, отвечающие за реализацию определенной части инновационной образовательной программы. На эти подразделения возлагается вся полнота ответственности за свою специальность, за максимальное использование всех имеющихся ресурсов. Дирекция обеспечивает оформление всех видов документов, занимается информационной деятельностью и отчетностью, осуществляет обеспечение учебно-методической компоненты инновационной образовательной программы.

**Реализация инновационной образовательной программы в БелГУ**, несомненно, приведет к позитивным изменениям в структуре образовательной подготовки кадров для региональной nanoиндустрии и для отечественных и зарубежных предприятий и компаний.

Впервые в Белгородской области реализуется модель опережающей междисциплинарной непрерывной подготовки специалистов для наукоемких экономических отраслей региона: металлургии, машиностроения, фармацевтической промышленности и медицины. Разработанные в рамках программы механизмы реализации междисциплинарных исследований и образовательных программ позволяют создавать инновационные образовательные программы по другим прорывным направлениям подготовки в БелГУ (информационные технологии, живые системы, природопользование). Кроме того, разработанные механизмы реализации обучения кадров практическим навыкам командной деятельности по всей совокупности укрупненных групп специальностей и направлений подготовки способствуют развитию инновационного потенциала выпускников. Появляется реальная возможность перестроить процесс подготовки специалистов в плане его ориентации на выполнение заказа по подготовке разнопрофильной команды: заказчика и

потребители инноваций; непосредственные создатели инноваций; специалисты по управлению внедрением инноваций на рынке; специалисты PR-кампаний; специалисты по защите интеллектуальной собственности, полученной в результате инновационной деятельности; специалисты по созданию средств математического и информационного обеспечения процессов создания и внедрения инноваций.

Создавая и совершенствуя свою инновационную инфраструктуру, охватывая своей инновационной деятельностью предприятия региона, развивая информационные ресурсы, привлекая в регион отечественных и зарубежных специалистов и инвесторов, активизируя международные контакты, БелГУ становится одним из важнейших факторов экономического и социально-культурного развития территории. Выпуск первых в регионе уникальных специалистов физико-математического, естественнонаучного направлений и здравоохранения, обладающих опережающей междисциплинарной подготовкой в области нанотехнологий и наноматериалов и способных к сотрудничеству в командах региональных структур, позволит приступить к созданию системной nanoиндустрии в Белгородской области.

Подготовленные в рамках новой модели обучения специалисты будут способны работать на ведущих предприятиях региона (Оскольском электрометаллургическом комбинате, Оскольском заводе металлургического машиностроения, народном предприятии «Старооскольский мехзавод», ОЭЗ «ВладМиВа», Белгородском филиале ЗАО «Верофарм» и др.), а также на малых предприятиях, входящих в кластеры ведущих предприятий Белгородской области.

Будут организованы 2–3 малых инновационных предприятия, использующих результаты научных и прикладных исследований, выполненных на указанном оборудовании (производство опытных партий образцов наноструктурного высокопрочного технически чистого титана, не содержащего вредных для живого организма легирующих элементов, для замены широко применяемых в медицине алюминий-ванадий содержащих сплавов, а также биоконпозитов на основе наноструктурного титана и его сплавов с биоинертными и биоактивными нанокристаллическими покрытиями). Планируется производство опытных партий материала в объеме потребностей медучреждений Белгорода и Белгородской области с возможностью дальнейшего увеличения объемов производства в объеме потребностей медучреждений Центрального Черноземья. Реализация этого направления позволит существенно улучшить качество лечения и заменить дорогостоящие импортные изделия (имплантаты) на более дешевые отечественные. На предприятиях будут организованы новые рабочие места для высококвалифицированных инженерных и научных кадров, прежде всего, для выпускников БелГУ.

Взаимодействие БелГУ и ОЭМК в сфере образования, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области наноматериалов и

нанотехнологий приведет к дальнейшему росту конкурентоспособности российской металлургической продукции на мировом рынке. Будет реализован научно-исследовательский проект «Разработка физических принципов упрочнения и пластификации металлов, сплавов и композиционных материалов конструкционного и функционального назначения с использованием методов формирования наноструктурного и нанокристаллического состояния в объемных материалах и покрытиях». Результаты научно-практического проекта «Разработка технологических процессов и оборудования для получения объемных наноструктурных материалов с использованием комплексной механо-термической обработки, включающей воздействие интенсивной пластической деформации в сочетании с обратимым легированием водородом для использования в медицине и технике» станут основой для внедрения на ОЭМК новых технологий термомеханической обработки сталей с целью повышения их служебных характеристик.

Использование наноматериалов в фармацевтической технологии может решить значительное количество фармакотерапевтических задач: увеличение биодоступности лекарственного средства, возможность снижения его разовой дозы, снижение частоты возникновения побочных эффектов (как следствие) и т. д.

Для системы высшего профессионального образования может представлять интерес вариант реализации гибкой сетевой структуры интеграции науки и образования, созданной на основе многосторонних соглашений и объединяющей университет, академические институты, вузы и предприятия.

Создание в Белгородской области «критической кадровой массы» предпринимателей, менеджеров, управляющих всех уровней и сфер деятельности, способных эффективно действовать в условиях становления и развития наноиндустрии региона, будет способствовать формированию в России кластера разработки и производства высокотехнологичных материалов с заданными свойствами, в том числе для применения в добывающих отраслях, а также экологических, в том числе биоразлагаемых, материалов на основе реализации приоритетного направления «Нанотехнологии и материалы» [1].

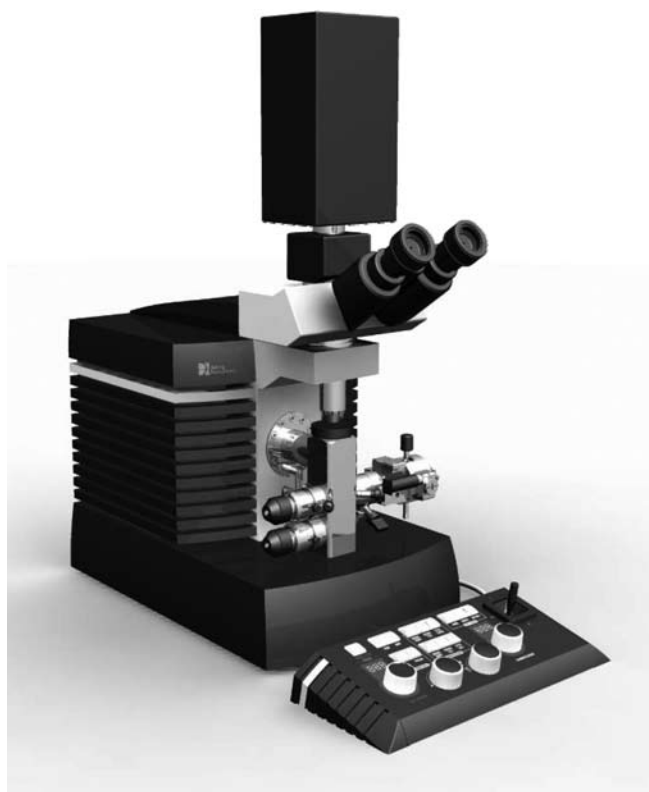
## Литература

1. Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 года. Министерство образования и науки Российской Федерации. Москва. 2006.
2. Я. Н. Дранев. Кластерный подход к экономическому развитию территорий. В кн. Практика экономического развития территорий: опыт ЕС и России. Москва: Сканрус, 2001.
3. С. Лозинский, А. Праздничных. Конкурентоспособность и отраслевые кластеры: новая повестка для российского бизнеса и власти // Мир стройиндустрии. 2003. № 2.

## НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 2008 год (продолжение)

29.06.2008 02.07.2008  <i>Санкт-Петербург, РОССИЯ</i>	<b>Международный семинар «Advanced Materials and Technologies for Micro/nano-devices, Sensors and Actuators: from Fundamentals to Applications»</b>  <i>Организаторы:</i> А. Т. Дидейкин, Физико-технический ин-т им. А. Ф. Иоффе РАН. Тел.: (812) 292 7917
01.07.2008 04.07.2008  <i>Санкт-Петербург, РОССИЯ</i>	<b>3-й международный симпозиум «Detonation Nanodiamond. Technology, Properties and Applications»</b>  <i>Организаторы:</i> А. Я. Вуль, Физико-технический ин-т им. А. Ф. Иоффе РАН. Тел.: (812) 292 7107
15.07.2008 20.07.2008  <i>Владивосток, РОССИЯ</i>	<b>16-й международный симпозиум «Наноструктуры: физика и нанотехнологии»</b>  <i>Организаторы:</i> Орг. комитет, Физико-технический ин-т им. А. Ф. Иоффе РАН, Ин-т автоматики и процессов управления ДВО РАН. Тел.: (4232) 31 3791, 310439; Факс: (4232) 31 0452
сентябрь 2008  <i>Волгоград, РОССИЯ</i>	<b>Российско-японский семинар «Наноматериалы и нанотехнологии»</b>  <i>Организаторы:</i> Проф. М. М. Запорожкова, Волжский гуманитарный ин-т, филиал Волгоградского ГУ. Тел.: (8442) 46 0811; E-mail: phys@volsu.ru
Конец октября — начало ноября 2008 г.  <i>г. Фрязино, Моск. обл. РОССИЯ</i>	<b>V научно-практическая конференция «Нанотехнологии — производству 2008»</b>  <i>Организаторы:</i> Орг. комитет. Министерство промышленности и науки Московской области. Торгово-промышленная палата Российской Федерации. Федеральное Агентство по промышленности. Администрация г. Фрязино. ЗАО «Концерн «НАНОИНДУСТРИЯ» Тел. (495) 951-59-00, 953-53-94, Email: info2@nanotech.ru
05.12.2008 07.12.2008  <i>Москва, РОССИЯ</i>	<b>ТМЕХ — НАНОТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ — 5-я специализированная выставка</b>  <i>Организаторы:</i> «Компания МКМ-ПРОФ», здание Правительства Москвы (ул. Новый Арбат, 36/9). Тел.: (495) 502 1937, 502 1938

# Знакомьтесь: четыре микроскопа в одной упаковке



**Андрей Лапенас**  
(Andrei Lapenas),  
Президент *Albany Scientific*,  
профессор

**Олег Шаповалюк**,  
Центр стратегических  
разработок «Северо-Запад»,  
заместитель директора

**Настольный низковольтный электронный  
просвечивающий и сканирующий микроскоп:  
LVEM5**

Этот электронный микроскоп позволяет работать в 4-х различных режимах:

- просвечивания (TEM);
- сканирования (SEM);
- просвечивания с одновременным сканированием образца (STEM);
- дифракционном (дифракция электронов) (ED).

За последние два-три года в России заметно усилилось внимание к материально-технической базе научных институтов и учреждений. Созданы десятки центров коллективного пользования. В связи с принятием на государственном уровне программы развития нанотехнологий в стране в научную инфраструктуру планируются новые масштабные инвестиции. И это соответствует смене парадигмы научного развития, выразившейся в переходе от анализа окружающего мира, чем занималось человечество руками ученых сотни лет, к осознанному его воспроизведению. Осуществить качественный переход в исследованиях и разработках возможно только на современной экспериментальной базе, в основе которой — оборудование, созданное на новом технологическом уровне, позволяющее существенно расширить возможности экспериментов и интенсифицировать процесс их проведения.

Сегодня примером такого оборудования можно считать **Настольный низковольтный электрон-**

**ный просвечивающий и сканирующий микроскоп LVEM5**, который производится в Чешской Республике (город Брно) компанией Delong Instruments, более известной в странах бывшего СССР как Tesla. LVEM5 является последней разработкой группы известного чешского физика-изобретателя, лауреата международных и национальных премий профессора Армина ДеЛонга, многие годы возглавлявшего Институт приборостроения чешской Академии наук.

Почему чешские ученые обратились к этой теме? В обычных просвечивающих электронных микроскопах (ОПЭМ) существует ограничение по контрастности, вызванное высоким напряжением на катоде (100-300 keV), призванное понизить длину волны, а значит, и увеличить разрешение. Вместе с тем, с уменьшением длины волны контрастность изображения также уменьшается (рис. 1).

Особенно сложно с помощью ОПЭМ получить контрастное изображение материалов, состоящих преимущественно из легких элементов (H, C, O, N...).

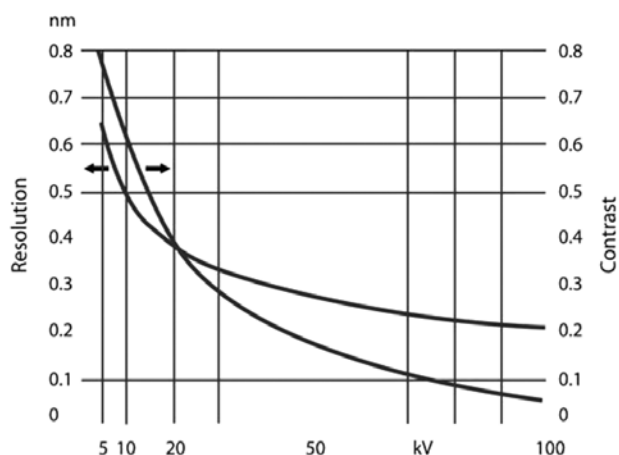


Рис. 1. Контрастность и разрешение как функция ускоряющего напряжения электронов (Lednicky et al. 2000)

Высокоэнергетический электронный пучок в ОПЭМ нечувствителен к малым различиям в плотности структурных элементов в таких материалах. Проходя через них, он рассеивается везде практически одинаково и вследствие этого не способен выявить структурные детали на ТЕМ картинке. Последнее весьма досадно, поскольку широкий спектр объектов, таких как биологические структуры, органические полимеры и другие материалы с высоким содержанием углерода состоят преимущественно из легких элементов. Данную проблему можно попытаться решить с помощью «подкраски» образца тяжелыми элементами, например Os и Ru. Но данное решение приемлемо только при работе с малым увеличением, тогда как при работе с высоким увеличением становится трудно отделить образец от подкраски. К тому же подкраска оказывает химическое и физическое воздействие на образец, изменяя его структуру. Более приемлемое решение проблемы контраста может быть получено с помощью низковольтных просвечивающих микроскопов.

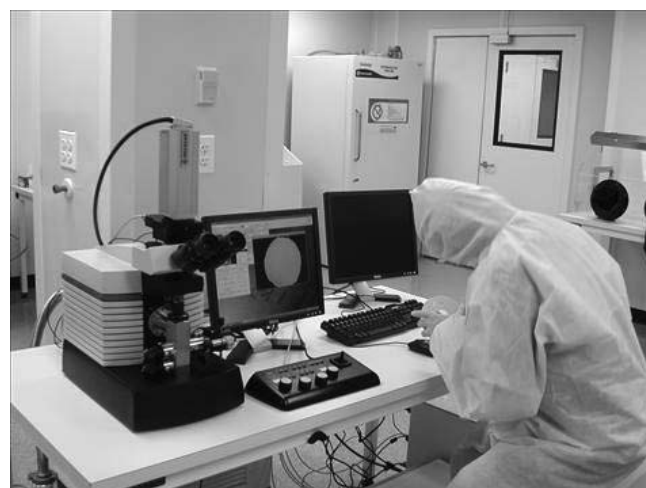
Исследования, проведенные более 40 лет назад, показали, что оптимальным напряжением для работы с low-z материалами является 5-15 kV (Nixon 1959). Но создать низковольтный просвечивающий микроскоп, работающий в этом диапазоне, не позволял уровень технологий, доступных в то время.

После многолетних исследований первый в мире низковольтный электронный микроскоп с разгонным напряжением от 30 до 75 keV (Tesla BS-242) был создан группой ДеЛонга в конце пятидесятих годов. При всех своих недостатках, таких как частое перегревание электрических магнитных линз, BS-242 завоевал заслуженное признание многих исследователей из-за высокого качества получаемых изображений и компактности. За 20 лет производства BS-242 было выпущено более 1000 этих микроскопов, которые разошлись по всему миру, включая СССР. До недавнего времени BS-242 успешно работали, а отдельные образцы продолжают работать в университетах, частных компаниях и организациях многих стран.

LVEM5 избавлен от недостатков своего именитого предшественника. Прежде всего, LVEM5 работает при разгонном напряжении 5 keV, что делает его первым в мире по-настоящему низковольтным просвечивающим электронным микроскопом (Chapman 2003). За счет уменьшения aberrации электронной оптики разрешение такого микроскопа может быть не хуже 2 нм. LVEM5 был сконструирован специально для работы в этом оптимальном режиме. Вся сфера возможных применений LVEM5, а также список существующих пользователей можно найти на страничке российского диллера Delong Instruments ([www.olanc-stc.ru](http://www.olanc-stc.ru)). К числу наиболее многообещающих областей применения, возможно, относится использование этого низковольтного просвечивающего электронного микроскопа в генетике и молекулярной биологии. Исследования в этой области быстро двигаются от микро- к наномасштабам и от наблюдения просто внешней формы объектов к изучению пространственной структуры сложных молекул (см. например, Шеваль и Поляков 2006, Glaeser 2008).

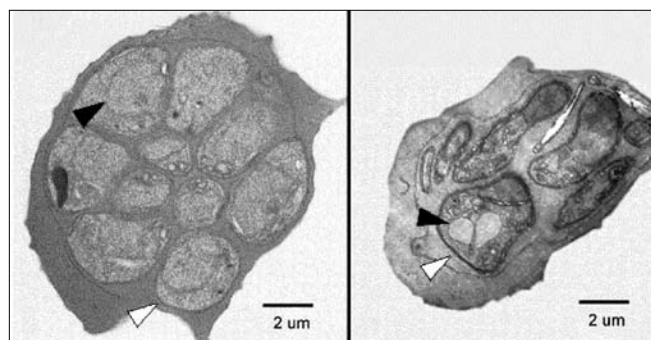
Создание LVEM5 стало возможным благодаря прогрессу высоких технологий и прежде всего новым методикам создания миниатюрных автоэмиссионных катодов (катодов Шоттки), а также выращиванию однородных гранатовых кристаллов YAG (Yttrium Aluminum Garnet). Первое позволило создать миниатюрный автоэмиссионный источник (электронную пушку) с высокой яркостью луча, а второе — миниатюрный монокристаллический экран (сцинтиллятор) с высоким выходом фотонного излучения в видимом спектре (Adamec et al. 1995). В LVEM5 автоэмиссионный источник поставлен в обратном к обычным просвечивающим микроскопам направлении: электронная пушка направлена вверх. Такой дизайн позволяет рассматривать изображение на сцинтилляторе как с помощью обычного оптического микроскопа, так и с помощью цифровой камеры. Высокая яркость луча электронов также достигается фокусировкой луча с помощью миниатюрных постоянных магнитов из редкоземельных элементов (магнитных линз).

В результате всех этих новшеств получился удивительно компактный и простой в управлении мик-



роскоп. Размеры всей системы всего 22х31х50 см! При этом цена LVEM5, включая высокоразрешающую цифровую камеру, в 5-7 раз ниже цены обычных трансмиссионных электронных микроскопов. Следует также учесть и то, что этот автоэмиссионный микроскоп поставляется уже в комплекте с охлаждаемой цифровой камерой с CCD-детектором формата 1280х1024 или 2048х2048 пикселей, а также программным обеспечением для обработки изображений.

LVEM5 позволяет использовать стандартные методы подготовки ТЕМ-образцов и стандартные держатели (3 мм сетки с тонким углеродным покрытием). Неорганические материалы (металлы, керамика) могут анализироваться как в виде наночастиц или волокон, так и в тонких сечениях. Вместе с тем, наиболее четкие контрастные изображения могут быть получены в LVEM5 при работе именно с материалами, состоящими из легких элементов (для чего он и был создан).



ОПЭМ

LVEM5

Рис. 2. Изображения, полученные с помощью обычного просвечивающего электронного микроскопа (слева) и с помощью LVEM5 (справа).

Эти изображения были предоставлены профессором Дэвидом Эллиотом (Университет Аризоны). На этом рисунке показаны клеточные мембраны зиготы малярии (белые стрелки). На ОПЭМ они видны плохо, тогда как LVEM5 позволяет получить изображение с гораздо лучшим контрастом (справа). Более того, развивающиеся мерозоиты (дочерние клетки), показанные черными стрелками, практически не видны на ОПЭМ но четко просматриваются через LVEM5. Образец в LVEM5 не подкрашивался.

Рассматривая все *pro* и *contra*, можно резюмировать, что LVEM5 на сегодняшний день представляет из себя уникальный просвечивающий электронный микроскоп для работы в области биологии, медицины, полимерных и нанотехнологий. Уникальность этого прибора заключается не столько в разрешении (2 нм), но в высоком соотношении сигнал/шум в про-

свечивающем и сканирующем режимах, а также возможности вести наблюдения одного и того же объекта сразу в нескольких режимах без разрушения радиационно-чувствительных биологических образцов.

Простота в обслуживании LVEM5, отсутствие ограничений для мест установки и, наконец, низкая цена по сравнению с обычными трансмиссионными электронными микроскопами делает его уникальным оборудованием не только для исследовательских лабораторий, но и для обучения специалистов разных направлений, в первую очередь в области нанотехнологий, микроэлектроники и биотехнологий.

Низкая цена LVEM5 позволяет закупить несколько приборов вместо одного, более дорогого обычного просвечивающего электронного микроскопа. Кроме того, экономию средств обеспечит и снижение объема необходимых работ по подготовке места под его установку, снижение затрат на расходные материалы. Таким образом, за тот же объем финансирования организация, выбравшая LVEM5, получает больший ресурс времени для исследований и обучения специалистов.

Это полностью соответствует целям, которые преследуются при создании Центров коллективного пользования (ЦКП), а именно: повышение эффективности использования исследовательских комплексов за счет их высокой загрузки и обеспечения возможности проведения исследований широкому кругу ученых и научных коллективов на современном оборудовании.

И хотя позитивные изменения в материально-технической базе российской науки неоспоримы, в научных учреждениях еще «трудится» огромное количество морально и физически устаревшего оборудования, сотни электронных микроскопов, возраст которых 20-25 лет. Какие аппараты придут им на смену?

## Литература

1. Lednicky F., Coufalova E., Hromadkova J., Delong A., Kolarik V. Low-voltage TEM imaging of polymer blends. *Polymer* 41 (13): 4909-4914, 2000.
2. Nixon W. C. Low Voltage Electron Microscopy. *Journal of Applied Physics* 30(12): 2027-2027, 1959.
3. Adamec P., Delong A., Lencova B. Miniature Magnetic Electron Lenses with Permanent-Magnets. *Journal of Microscopy-Oxford* 179:129-132 Part 2, 1995.
4. Lednicky F., Coufalova E., Hromadkova J., Pientka Z. Ultrathin sectioning of polymeric materials for low-voltage transmission electron microscopy. *Polymer* 42 (9): 4329-4338, 2001.
5. Chapman T. Seeing is believing. *Nature* 425, 867-873, 2003.
6. Шеваль Е. В., Поляков В. Ю. Роль хромосомного скэффолда в поддержании структурной целостности митотических хромосом. *Онтогенез*. Т. 37. С. 405-418, 2006.
7. Glaeser R. Cryo-electron microscopy of biological nanostructures. *Physics Today*. 48-54, January, 2008.