



DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2015.1.2>

УДК 330.342.24

ББК 65.010.19

## НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ: НАУЧНЫЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПОЛИТИЧЕСКИЕ РЕАЛИИ НОВОГО ВЕКА

Запороцкова Ирина Владимировна

Доктор физико-математических наук, профессор,  
директор института приоритетных технологий,  
Волгоградский государственный университет  
[irinazaporotskova@gmail.com](mailto:irinazaporotskova@gmail.com), [priori@volsu.ru](mailto:priori@volsu.ru)  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматриваются современное состояние nanoиндустрии и проблемы развития нанотехнологий в Российской Федерации в современных экономических, политических и научных условиях. Выделены основные задачи научного и экономического сообщества для развития нанотехнологий в условиях требуемого импортозамещения, сформулированные в основных документах Правительства РФ. Приведена классификация нанотехнологий по сущностному принципу, определены четыре основных направления в области нанотехнологий: 1) наноматериалы; 2) фотоника, спинтроника, наноэлектроника (приборы на нанопринципах); 3) нанометрология, наноманипуляторы и моделирование; 4) наносенсоры и нанодатчики. Рассмотрены некоторые перспективные научно-технологические проекты развития nanoиндустрии в России, указаны экономические, социальные, экологические и научно-технические возможности развития нанотехнологий в России и угрозы этому процессу.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, наноматериалы, импортозамещение, nanoиндустрия, технологические направления нанотехнологий.

### Введение

Начало XXI в. ознаменовалось революционным развитием нанотехнологий и наноматериалов. Сейчас они уже используются во всех развитых странах мира в наиболее значимых областях человеческой деятельности – промышленности, обороне, информационной сфере, радиоэлектронике, энергетике, транспорте, биотехнологии, медицине. Анализ роста инвестиций, количества публикаций по данной тематике и темпов внедрения фундаментальных и поисковых разработок позволяет сделать вывод о том, что в ближайшие 20 лет использование нанотехнологий и наноматери-

алов станет одним из определяющих факторов научного, экономического и оборонного развития государств. Наряду с компьютерно-информационными технологиями и биотехнологиями нанотехнологии являются фундаментом научно-технической революции в XXI веке [9; 12; 16]. В развитых странах осознание ключевой роли, которую уже в недалеком будущем будут играть результаты работ по нанотехнологиям, привело к разработке широкомасштабных программ по их развитию на основе государственной поддержки. Аналогичные программы приняты более чем в 30 странах мира, в том числе в Российской Федерации [3; 10; 23; 24].

По мнению директора Российского научного центра «Курчатовский институт» академика М.В. Ковальчука, принципиальная особенность нынешней, нанотехнологической, революции состоит в том, что в процессе ее совершения происходит смена парадигмы развития науки [7]. Раньше наука шла как бы «сверху вниз», то есть двигалась в сторону миниатюризации создаваемых предметов. Сейчас она идет «снизу», с уровня атомов, складывая из них, как из кубиков, нужные материалы и системы с заданными свойствами. Атомно-молекулярное конструирование материалов с необходимыми свойствами принесет ощутимые выгоды в экономии энергетических и материальных ресурсов. Сейчас это особенно актуально, так как напряженность в энергетическом обеспечении мира нарастает.

Прогресс в развитии нанотехнологий даст импульс для развития практически всех отраслей экономики на ближайшее десятилетие. Промышленные круги постепенно приходят к пониманию того, что нанотехнология создает новые возможности для развития бизнеса и конкуренции. По существующим прогнозам мировой объем производства в области нанотехнологий через 10–15 лет должен превысить 1,5 трлн долл., что приведет к созданию 3 млн новых рабочих мест [25].

### **Современное состояние наноиндустрии в России**

В России интенсивные исследования наноматериалов начались с запозданием на 3–5 лет. При этом если по фундаментальным исследованиям она пока не сильно отстает от развитых стран, то по приборному обеспечению и технологиям отставание уже велико. Несмотря на ряд федеральных программ (Федеральные целевые программы, Федеральная адресная инвестиционная программа, программы Российской академии наук и Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда), призванных стимулировать развитие специализированных направлений наноиндустрии в РФ, эффективность внедрения разработок в промышленное производство, в различные социальные области пока довольно низка. Однако современное политическое состояние в мире диктует новые подходы.

В своем послании Федеральному собранию в декабре 2014 г. [14] Президент Российской Федерации В.В. Путин определил основные цели и задачи, которые необходимо решить в настоящее сложное и напряженное время. Необходимо создать новые технологии и конкурентную продукцию, сформировать дополнительный запас прочности в промышленности и снять критическую зависимость от зарубежных технологий и промышленной продукции. В речи Президента РФ прозвучал призыв к развитию отечественной производственной и исследовательской базы, которая сегодня практически полностью зависит от зарубежных технологий и промышленной продукции. «За рубежом должно приобретаться только действительно уникальное оборудование и технологии... Разумное импортозамещение – это наш долгосрочный приоритет независимо от внешних обстоятельств» – это высказывание Путина можно считать основным девизом настоящего времени в области экономики России. И одним из инструментов ее модернизации являются нанотехнологии.

Отдельное внимание новым материалам и нанотехнологиям уделено в Прогнозе научно-технологического развития РФ на период до 2030 г., принятом в декабре 2013 г. Министерством образования и науки РФ [15]. Этот документ является одним из основных документов системы стратегического планирования развития РФ, определяющим наиболее перспективные области развития науки и технологий, обеспечивающие реализацию конкурентных преимуществ страны.

Следует упомянуть основные вопросы и задачи, сформулированные в «Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года» [8], в которой отмечается, что в ближайшее десятилетие развитые страны перейдут к формированию новой технологической базы экономических систем, основанной на использовании новейших достижений в области биотехнологий, информатики и нанотехнологий. В Концепции отмечается, что «стратегической целью является достижение уровня экономического и социального развития, соответствующего статусу России как ведущей мировой державы XXI века, занимающей передовые позиции в глобальной экономической конкуренции и на-

дежно обеспечивающей национальную безопасность и реализацию конституционных прав граждан». Необходимо обеспечить «поддержание высокого уровня национальной безопасности и обороноспособности страны, включая экономическую и продовольственную безопасность, безопасность населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, что создаст благоприятные условия для высвобождения инновационного потенциала населения и динамичного развития бизнеса».

Однако следует отметить, что в России существует значительный разрыв между высоким качеством проводимых исследований, созданных научно-технологических заделов и низким уровнем инфраструктуры нанопромышленности в стране. Недостаточна координация проводимых государством работ в этой области. Низкая восприимчивость промышленности к разработкам в области нанотехнологий в условиях перехода экономики на импортозамещающий инновационный путь развития является главным сдерживающим фактором. В результате потребность отечественного рынка в нанотехнологической продукции во многих социально значимых сферах (медицина, энергетика, экология, ЖКХ и др.) значительно (в десятки раз) превышает объемы ее реального производства. Национальная нанопромышленность – это приоритетное стратегическое направление, определяющее новые подходы к преобразованию отечественной промышленности.

В числе приоритетных направлений формирования и развития нанопромышленности в России можно назвать следующие: поддержка проектов, которые находятся на стадии подготовки промышленного производства продукции нанопромышленности, и перспективных проектов с высоким потенциалом коммерциализации и международной конкурентоспособности в области создания наноструктурированных и нанокompозитных конструкционных и функциональных материалов, нанопромышленности и нанофотоники, микро- и наносистемной техники; реализация перспективных научных тематических направлений для использования в областях ресурсо- и энергосбережения, промышленном производстве, здравоохранении и производстве продуктов питания, а также для

поддержания необходимого уровня обеспечения обороноспособности и безопасности государства; поддержка развития рынков продукции нанопромышленности, совершенствование механизма взаимодействия участников инновационного процесса в сфере нанопромышленности, включая организацию взаимодействия научных организаций и высших учебных заведений с промышленными организациями; совершенствование механизмов повышения эффективности внедрения нанотехнологий в реальном секторе экономики и оценки влияния нанотехнологий на социальные изменения в обществе и уровень обеспечения обороноспособности государства.

В целях содействия реализации государственной политики в сфере нанотехнологий в 2007 г. была учреждена Государственная корпорация «Российская корпорация нанотехнологий», в результате реорганизации которой в 2011 г. были созданы Открытое акционерное общество «РОСНАНО» (ОАО «РОСНАНО») и Фонд инфраструктурных и образовательных программ (ФИОП). Основным инструментом ОАО «РОСНАНО» является реализация инвестиционных проектов, способствующих построению технологических цепочек и (или) обеспечивающих развитие новых производств в сфере нанопромышленности на территории Российской Федерации. ФИОП фокусируется на решении задач развития в РФ инновационной инфраструктуры в сфере нанотехнологий путем реализации инфраструктурных и образовательных проектов и программ, а также мероприятий в области технического регулирования во взаимодействии со всеми предприятиями нанопромышленности России и участниками национальной нанотехнологической сети. ОАО «РОСНАНО» реализует государственную политику по развитию нанопромышленности, выступая соинвестором в нанотехнологических проектах со значительным экономическим или социальным потенциалом.

Среди наиболее важных отечественных разработок, имеющих ближайшую перспективу масштабного освоения, можно отметить разработки в области конструкционных материалов; наноструктурированные покрытия; наноструктурированные материалы для специального применения (радиопоглощающие, магнитные материалы, использование наноматериалов).

териалов как компонентов и модификаторов быстропротекающих процессов горения и взрыва энергетических конденсированных сред); нанотехнологии химической и физической модификации полимеров, огне- и теплозащитных материалов, лакокрасочных покрытий, смазочных композиций; наноматериалы для экологии и переработки сырья; промышленные средства измерений в нанометровом диапазоне для позиционирования инструмента; наноматериалы и нанотехнологии для энергетики и энергосбережения; наноматериалы и устройства нанoeлектроники и нанофотоники.

### **Основные технологические направления нанотехнологий: сущностный подход**

Исходя из сущностной природы составляющих технологий можно выделить четыре основных направления в области нанотехнологий: 1) наноматериалы; 2) фотоника, спинтроника, нанoeлектроника (приборы на нанопринципах); 3) нанометрология, наноманипуляторы и моделирование; 4) наносенсоры и нанодатчики.

**Первое направление – «наноматериалы»** – связано с получением дополнительных свойств или улучшением уже существующих характеристик материалов. Например, использование наноматериалов для получения дополнительных прочностных, термических, поверхностных свойств материалов. Наноматериалы – это необходимый элемент развития нано- и биоисследований и соответствующих технологий. В целом наноматериалы – одна из точек развития так называемых новых технологий – взаимосвязанной и взаимовлияющей совокупности нано-, био- и информационных технологий.

Среди этого направления возможно выделить исследования и технологии, объединенные термином «классические». Это «прорывные» исследования по детонационному синтезу наноалмазов, нанодисперсным порошкам, нановолокнам, наноструктурированию поверхностных слоев и нанесению наноструктурных покрытий. Эти и другие работы находятся на очень высоком уровне и относятся к нанотехнологиям уже предыдущего поколения.

Существующие технологии создания наноматериалов используют как физические, так и химические принципы. Есть возможность использования биологических технологий для создания наноматериалов. Например, механизм биосинтеза кремнистых наноструктур – диатомовые водоросли и другие кремнеяющие организмы [11]. Из кремнистых диатомовых створок получают реплики из золота и углерода. Существующие реплики диатомовых водорослей из двуокиси титана [18] открывают перспективы создания новых катализаторов, которые ускоряют распад ряда ядовитых веществ. Совсем недавно появились работы, в которых кремнезем створок превращают в кремний. Этот кремний имеет нанокристаллическую структуру, хотя исходный кремнистый материал был совершенно аморфен. Полученный материал состоит из нанокристаллов кремния размером от 2 до 5 нм, которые могут быть использованы в качестве сенсоров газов.

Важным и перспективным в настоящее время является использование наноматериалов в качестве компонентов композитов самого разного назначения. Композиты, армированные углеродными нановолокнами и фуллеренами, рассматриваются как перспективные материалы для работы в условиях ударных динамических воздействий, в частности, для укрепления брони и бронезилетов. Добавление нанопорошков к обычным порошкам при производстве сталей и сплавов позволяет снижать пористость изделий, улучшать комплекс механических свойств [12].

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

Возможно использование углеродных нанотрубок (УНТ) в качестве добавок в смазочные масла, приводящие к улучшению эксплуатационных характеристик последних. Модификация горюче-смазочного материала (ГСМ) углеродными нанотрубками позволяет получить кардинально новые свойства. Результаты исследований композиционных смесей на основе полусинтетического моторного масла с добавлением УНТ, взятых в раз-

личных процентных содержаниях, и масла без нанотрубок показали, что введение углеродных нанотрубок вызывает повышение показателей качества ГСМ. Допирование смазочного материала углеродными нанотрубками приостанавливает окислительный процесс после старения ГСМ. Кроме того, их присутствие повышает щелочной параметр после старения композиционной смеси, что обеспечивает способность масла нейтрализовать побочные сернистые продукты и после старения в процессе его эксплуатации.

В ряде случаев для надежного функционирования изделий необходимо обеспечить высокие водо- и маслоотталкивающие свойства их поверхности. Примерами таких изделий могут служить автомобильные стекла, остекление самолетов и кораблей, защитные костюмы, стенки резервуаров для хранения жидкостей, строительные конструкции и т. п. В этих целях разработано композитное покрытие на основе наночастиц оксида титана с размерами 20–50 нм и полимерного связующего [20].

Особые ожидания связаны с применением наноматериалов в медицине. Высокие прочностные и усталостные свойства являются основными техническими требованиями металлических медико-биологических материалов, в особенности титана и его сплавов. К настоящему времени выявлены важные преимущества наноструктурного титана: его высокая статическая прочность, сопротивление усталости – более чем в два раза выше существующих – и отличная биологическая совместимость. Он может быть использован для изготовления хирургических инструментов. Сплавы никелида титана – TiNi (нитинол) имеют большой потенциал для применения в медицине в качестве имплантируемых в организм и длительно функционирующих материалов. Пример такого практического применения – устройство для клипирования кровеносных сосудов, трубчатых структур и мягкоэластичных тканей, предназначенное для остановки кровотечения при лапароскопических операциях. Оно превосходит все показатели по сравнению с клипсой из крупнозернистого материала. Применению в медицине этих материалов с уникальным комплексом служебных свойств способствует и «социальный

эффект», который выражается в повышении качества оперативных вмешательств, уменьшении их травматичности и, следовательно, существенном сокращении периода реабилитации пациента.

Возможно использование углеродных нанотрубок для армирования стоматологических пластмасс, что приводит к созданию новых композитных полимеров, обладающих улучшенными характеристиками [27].

В РФ ведутся работы по производству фармацевтических препаратов с наноносителями из наноматериалов. Нанопорошки лекарственных препаратов используются в медикаментах быстрого усвоения и действия для экстремальных условий (ранения при катастрофах и боевых действиях). ОАО «РОСНАНО» совместно с ГК «ЭПИДБИОМЕД» и Nanolek Holding Limited (проектная компания) поддержан проект по созданию холдинга по производству фармпрепаратов с наноносителем из пористого кремния [17]. Группа твердых лекарственных форм включает препараты для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, противораковые и противовирусные препараты. Действие известных активных веществ в этих препаратах продлевается за счет их сорбирования на наночастицах пористого кремния. Эффективность вакцин, в том числе вакцины против гриппа, повышается за счет ее модификации оксидом алюминия. Мази и гели изготавливаются на основе лецитинового органогеля – это ускоряет транспорт средств для профилактики тромбозов и противовоспалительных средств через кожу. Научно-производственный холдинг, который будет создан в Кировской области, позволит решать задачи импортозамещения социально значимых препаратов.

Итак, можно выделить области технологического и индустриального применения наноматериалов. Это конструкционные и иные материалы, используемые в авиастроении, автомобилестроении, судостроении, создании военной техники, медицине, а также материалы, работающие в агрессивных средах (энергетика, двигателестроение и пр.). Технологически эти направления можно рассматривать как наиболее «простые» и связанные с уже относительно развитыми направлениями нанонаучных исследований и наноиндустрии, такими как

нанопорошки и нанопокрyтия. Временной горизонт реализации этой части нанотехнологий наиболее короткий.

**Второе направление** связано с созданием принципиально новых свойств, основанных на квантовых эффектах. Наличие этих свойств предоставляет возможность не только развивать уже имеющиеся качества (емкость памяти ЭВМ, количество триггеров на единицу поверхности и пр.), но и получать принципиально новые качественные свойства, используя физические принципы на квантовом уровне. Это направление можно условно назвать как **«фотоника, спинтроника, электроника»**.

Элементы наноэлектроники создаются уже сейчас. Появляется терабитная память, основанная на физических явлениях и квантовых эффектах в наноструктурах. Это квантовое туннелирование электронов и изменение электронных состояний в так называемых квантовых ямах полупроводниковых наносистем. Активно разрабатываются спиновые явления в наноструктурах. Квантовые биты – это квантовые системы с двумя состояниями. В ближайшем будущем начнут использоваться «запутанные» квантовые состояния системы из двух частиц. Текущее состояние научных исследований говорит о значительном потенциале этого направления. Современные транзисторы уже выполняются в масштабе 65 нм, а впереди переходы до границы в 11 нм. Но даже после этой «последней» границы, препятствующей дальнейшему уменьшению наноэлектроники, есть путь еще ниже: это квантовые компьютеры и спинтроника.

Хороший комплекс магнитных характеристик некоторых наноматериалов (например, железо в сочетании со слоями халькогенидов) делает перспективным их использование для записывающих устройств [12]. Углеродные нанотрубки, заполненные карбидами тугоплавких металлов (TaC, NbC, MoC), могут использоваться в качестве сверхпроводников [13]. Упорядоченные структуры в виде «ковров» из нанопроволок могут использоваться как сенсоры или элементы экранов высокого разрешения [2]. Соединение углеродных нанотрубок с различной хиральностью (то есть скрученностью кристаллической решетки относительно оси трубки) образует нанодиод, а труб-

ка, лежащая на поверхности окисленной кремниевой пластины, – канал полевого транзистора [4]. Нанотехнологии на основе метода ионно-атомного осаждения позволяют получать для электронных и оптических изделий нанокomпозиции «покрытие – переходный слой – подложка» из термодинамически несмешиваемых элементов, отличающихся высокой адгезией и стойкостью к внешним термическим и механическим воздействиям, например, пленки золота на кремниевых подложках со структурой поверхности в виде набора атомно-гладких сфероидальных сегментов.

Нанотехнологии подают надежду на скорейшее развитие микроэлектронной индустрии. Недавно ученые предложили первые одноэлектронные транзисторы на основе графена, способные функционировать при комнатной температуре [22; 23]. Разработчики всемирно известной корпорации «Hewlett Packard» объявили об обнаружении четвертого пассивного элемента электронных цепей – мемристора, способного перевернуть всю индустрию вычислительной техники [26]. Мемристивные системы до сих пор использовали только как математические абстракции для моделирования процессов обработки сигнала, поведения нелинейных полупроводниковых систем, электрохимических процессов и даже для моделирования работы нейронов головного мозга человека. Однако на практике эффект мемристивности (или «памятливости») так и не был реализован, так как имел очень маленькие значения для различных микроэлектронных систем. Все изменилось с приходом наноразмерных объектов. Применение мемристоров позволит перейти от использования трехконтактных транзисторов к двухконтактным элементам – мемристорам, обладающим функциями своих предшественников за счет совершенно иных физических явлений, к тому же потребляющих меньше энергии и занимающих меньше места.

Электронная компонента нанотехнологий уже на текущем этапе развития нанонауки – принципиальный момент технологической независимости России. Так, на базе ФГУП «Омский НИИ приборостроения» (ОНИИП) состоялась презентация первого за Уралом Базового центра проектирования сверхбольших интегральных схем «Система на кристалле»

(СБИС СНК). СБИС – это чип-кристалл, на котором сосредоточены функциональные блоки, процессоры, интерфейсы. Нанотехнологии позволили «упаковать» в кристалл размером не больше пятикопеечной монеты сотни миллионов транзисторов. Встроенные микрочипы применяются в паспортах международного стандарта, в банковских пластиковых картах и других носителях. По мнению экспертов, создание таких центров позволит сократить отставание России в области развития электронной компонентной базы.

В Дубне (Московская область) создается производство коллоидных квантовых точек – наноразмерных полупроводниковых кристаллов размером в несколько нанометров [1]. Квантовые точки нужны в производстве светодиодов, источников белого света, идентификационных меток и биомедицинских маркеров. Способность квантовых точек к фотолюминесценции (при облучении ультрафиолетом они могут излучать свет от красного до синего в зависимости от своей величины) позволяет их использовать при изготовлении фотосенсибилизаторов, применяемых в медицине, солнечных батарей высокой эффективности, сверхминиатюрных светодиодов, одноэлектронных транзисторов и других современных устройств.

Итак, технологически второе направление нанотехнологий следует рассматривать как сложные и связанные с незавершенными (в том числе фундаментальными) исследованиями технологии. Временной горизонт этой части пакета нанотехнологий в основной части – среднесрочный и долгосрочный.

**Третье направление** связано с созданием инфраструктурной компоненты, обеспечивающей манипулирование нанообъектами, метрологию, реализацию процессов, гарантирующих качество и стандарты (в том числе моделирование нанопроцессов). Условно данное направление можно назвать **«нанометрология, манипуляторы и моделирование»**. Оно включает исследования по обеспечению нанопроизводства. Развитие этой части нанотехнологий представляется принципиально важным. Именно она является технологическим «водоразделом» между нанотехнологиями как возможностью и собственно наноиндустрией. Временные горизонты его

реализации различны в зависимости от назначения в составе обеспечивающей инфраструктуры, но именно они в конечном счете определяют временные горизонты всего технологического пакета нанотехнологий.

**Четвертое направление** связано с наномеханизмами. Наноактюаторы и наносенсоры образуют особую группу механизмов, основанных на нанопринципах. Условно эту группу можно назвать **«сенсоры и приборы»**. Наноразмеры определяют не только чрезвычайно разнообразные, но и принципиально новые области применения наномеханизмов – вплоть до глобального контроля сред.

Основной задачей в наноиндустрии является управляемый механосинтез, то есть составление молекул из атомов с помощью механического приближения до тех пор, пока не вступят в действие соответствующие химические связи. Для обеспечения механосинтеза необходим наноманипулятор, способный захватывать отдельные атомы и молекулы и манипулировать ими в радиусе до 100 нм. Наноманипулятор должен управляться либо макрокомпьютером, либо «наноконピューтером», встроенным в робота-сборщика (ассемблера), управляющего манипулятором. В настоящее время достоверная информация о наличии в какой-либо стране подобных манипуляторов отсутствует. Зондовая микроскопия, с помощью которой в настоящее время производят перемещение отдельных молекул и атомов, ограничена в диапазоне действия, и сама процедура сборки объектов из молекул из-за наличия интерфейса «человек – компьютер – манипулятор» не может быть автоматизирована на наноуровне. Вместе с тем уже сейчас в этом направлении имеются значимые успехи. Так, Институтом молекулярного производства (ИММ) разработан предварительный дизайн наноманипулятора с атомарной точностью. За изготовление такого устройства назначена премия только из фонда ИММ в размере 250 тыс. долларов. Как только будет получена система «наноконピューтер – наноманипулятор» (эксперты прогнозируют это в 2015–2020 гг.), можно будет программно произвести еще один такой же комплекс – он соберет свой аналог по заданной программе, без непосредственного вмешательства человека.

В более близкой перспективе имеется целый ряд более частных задач в данном направлении нанотехнологий. Например, разработанная в Институте физики полупроводников Сибирского отделения РАН технология создания нанотрубок позволила создать датчик термоанемометра, который имеет в сто раз лучшие частотные характеристики по сравнению с существующими. Полученные результаты позволили построить массивы микродатчиков на достаточно большой поверхности, что позволяет переходить к созданию «думающей» поверхности летательного аппарата, которая будет подстраиваться под аэродинамический поток, затягивая ламинарно-турбулентный переход и уменьшая сопротивление. В 2008 г. Роберт Фрайтас и Ральф Меркле представили набор из девяти молекулярных инструментов для механосинтеза нанообъектов [19]. Это явилось важным шагом на пути к созданию нанофабрик и молекулярному производству. Все устройства составлены только из атомов углерода, водорода и германия.

К четвертому направлению нанотехнологий можно отнести и создание медицинских микро- и нанороботов. Одной из главных целей для инженеров сегодня является создание таких медицинских роботов, которые будут способны перемещаться по относительно узким кровеносным сосудам. Это позволило бы проводить сложные виды лечения без травматического хирургического вмешательства. Задача создания микророботов находится на стыке целого ряда научных дисциплин. Например, с точки зрения физики – как заставить столь малый объект самостоятельно двигаться в вязкой жидкости, которой для него является кровь? С точки зрения инженерии – как обеспечить робота энергией и как отслеживать перемещение по организму крохотного объекта? С точки зрения биологии – какие использовать материалы для изготовления роботов, чтобы они не наносили вреда организму человека? В идеале роботы должны быть биоразлагаемыми, чтобы не пришлось еще решать проблему их вывода из организма. Ученые из Института интеллектуальных систем Макса Планка (Германия) сконструировали наноробот в виде двустворчатого моллюска для передвижения по жидкостям тела.

Он движется с помощью хлопанья «створок», создавая тем самым реактивную струю. Такой способ плавания довольно экономичен с точки зрения энергозатрат: для работы используется энергия внешнего электромагнитного поля, что позволило обойтись без источника питания и уменьшить размеры раковины. При размере около 1 мм он может плавать внутри человеческого глазного яблока.

Итак, роль наномеханизмов заключается в формировании нового технологического уклада. При этом рассматривать ее как наиболее продолжительную во времени не всегда верно. Скорее можно говорить о том, что временной горизонт для этой части нанотехнологий долгосрочный и его верхняя граница точно не определена.

### Заключение

Нанотехнологии позволяют решить целый ряд практических задач, на основе их достижений развиваются медицина, биотехнология, химия, защита окружающей среды, материаловедение (синтезируются новые полимеры, керамика, металлокерамика). Однако необходимо создать условия для формирования инновационной модели бизнеса, характеризующейся постоянным наращиванием инвестиций в инновации, обновлением продукции и технологий, завоеванием новых рынков [5]. Государство должно сосредоточиться на создании потенциала для развития путем придания инновационного характера системе образования, модернизации сектора научных исследований, компенсации «провалов рынка», осуществления целевой поддержки отдельных направлений технологического развития, выделяемых в качестве приоритетных, а также создания системы стимулов для наращивания инновационной активности. Бизнес и государство должны совместно определять порядок и направления взаимодействия в перспективных сферах исследований и разработки технологий, оценивать качество стимулирования инновационного развития и элементов инновационной инфраструктуры [6].

Развитие и продвижение нанотехнологий в России определяются экономическими и социальными возможностями, такими как интеллектуализация производства и потребления,



рост спроса на новые материалы в связи с истощением ресурсов сырья, рост потребности в хранении, обработке и передаче больших объемов информации, рост потребности в увеличении срока активной жизни человека, необходимость переработки промышленных и бытовых отходов, ускоренное освоение труднодоступных мест. Существуют экологические необходимости процесса продвижения новых технологий, а именно повышение экологических требований к зданиям и сооружениям, продуктам питания, товарам, экологичности транспортных средств, истощение запасов пресной воды. Имеются научно-технические возможности, создающие условия для занятия Россией значимых позиций на внешнем и внутреннем рынках, для технологических прорывов, решения крупных социально-экономических проблем: развитие технологий компьютерного моделирования материалов и процессов, разработка интеллектуальных конструкционных материалов, распространение технологий производства на основе молекулярной самосборки, перспективных биомиметических материалов и материалов медицинского назначения, разработка новых типов легких композитных материалов и материалов, обладающих повышенной прочностью, обеспечивающих защиту конструкций, материалов для энергетики и электроники, оптических материалов для светотехники, создание новых магнитных материалов, наноструктурированных мембранных материалов, сенсорных материалов, новых методов диагностики материалов.

Однако существуют и определенные угрозы для России в этой сфере. Это дефицит современного научного и промышленного оборудования, барьеры импорта технологий и материалов, отсутствие качественного отечественного сырья для изготовления нанопродукции, дефицит высококвалифицированных кадров, острая конкуренция со стороны зарубежных производителей, необходимость значительных инвестиций в организацию массового производства для достижения эффекта масштаба. Тем не менее только наращиванием темпов внедрения современных технологий может быть решена основная задача эффективного продвижения и развития Российской Федерации в современных экономических и политических реалиях, дающих основу

становлению России как мирового технологического лидера.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, Р. Б. Квантовые точки: синтез, свойства, применение / Р. Б. Васильев, Д. Н. Дирин. – М. : Изд-во МГУ, 2007. – 50 с.
2. Головин, Ю. И. Введение в нанотехнологию / Ю. И. Головин. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 112 с.
3. Гусев, А. Наноматериалы и нанотехнологии / А. Гусев // Наука Урала. – 2002. – № 24 (822).
4. Дьячков, П. Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применение / П. Н. Дьячков. – М. : Бинум, 2011. – 488 с.
5. Иншаков, О. В. Взаимодействие институтов развития наноиндустрии в макроэкономическом и мегаэкономическом масштабе / О. В. Иншаков, Е. И. Иншакова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2012. – № 1 (20). – С. 268–277.
6. Иншаков, О. В. Механизм государственного финансирования и институты развития наноиндустрии в России / О. В. Иншаков, Е. И. Иншакова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3, Экономика. Экология. – 2012. – № 1 (20). – С. 144–150.
7. Ковальчук, М. В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее / М. В. Ковальчук // Российские нанотехнологии. – 2011. – Т. 6, № 1–2. – С. 13–23.
8. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р. – Электрон. текстовые дан. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс». – Загл. с экрана.
9. Наноматериалы и нанотехнологии / Ж. И. Алферов [и др.] // Нано- и микросистемная техника. – 2003. – № 8. – С. 3–13.
10. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития / под ред. М. К. Роко [и др.]. – М. : Мир, 2002. – 292 с.
11. Нарушение морфогенеза элементов кремнистого панциря диатомовой водоросли *synedra acus* в присутствии германиевой кислоты / Т. А. Сафонова [и др.] // Биохимия. – 2007. – Т. 72, вып. 11. – С. 1548–1558.
12. Новые материалы / под ред. Ю. С. Карбасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.
13. Оптимизация микроколичеств карбида ниобия в сверхпроводящей керамике (Bi, Pb)

2Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10+x</sub> с использованием подхода мультифрактального формализма / А. Г. Колмаков [и др.] // Неорганические материалы. – 2003. – Т. 39, № 4. – С. 495–504.

14. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию 4 декабря 2014 года. Москва, Кремль. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/transcripts/messages>. – Загл. с экрана.

15. Прогноз научно-технологического развития РФ на период до 2030 года : утв. Правительством РФ. – М., 2013. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.government.ru>. – Загл. с экрана.

16. Развитие в России работ в области нанотехнологий / С. М. Алфимов [и др.] // Нано- и микросистемная техника. – 2004. – № 8. – С. 2–8.

17. Родригес, А. Фарминдустрия: шаг вперед / А. Родригес // Стратегия. – 2014. – Вып. 4 (14).

18. Синтез, физико-химические и электрореологические свойства нанодисперсного диоксида титана, легированного оксидами металлов / А. Н. Мурашкевич [и др.] // Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем : тез. докл. Третьей Междунар. конф. стран СНГ, 8–12 сент. 2014 г., г. Суздаль. – Иваново, 2014. – 206 с.

19. Freitasá, R. A. A minimal toolset for positional diamond mechanochemistry / R. A. Freitasá, R. C. Merkle // Journal of computational and theoretical nanoscience. – 2008. – Vol. 5. – P. 760–861.

20. Hsieh, C.-T. Influence roughness on water- and oil-repellent surfaces coated with nanoparticles / C.-T. Hsieh [et al.] // Applied surface science. – 2005. – Vol. 240. – P. 318–326.

21. Katsnelson, M. I. Graphene: carbon in two dimensions / M. I. Katsnelson // Materials today. – 2007. – № 10 (1–2).

22. Lemme, M. C. Current status of graphene transistors / M. C. Lemme // Solid state phenomena. – 2009. – № 156.

23. NSTC, National nanotechnology initiative and its implementation plan. – Washington, D.C., 2000.

24. Roco, M. C. International strategy for nanotechnology research / M. C. Roco // Journal of nanoparticle research. – 2001. – Vol. 3, № 5–6. – P. 353–360.

25. Societal implications of nanoscience and nanotechnology / eds. M. C. Roco, W. S. Bainbridge. – Dordrecht : Kluwer Acad. Publ., 2001.

26. The missing memristor found / D. B. Strukov [et al.] // Nature letters. – 2008. – Vol. 453. – P. 80–83.

27. Zaporotskova, I. V. Obtaining new dental materials reinforced with carbon nanotubes / I. V. Zaporotskova, L. S. Elbakyan // Journal of nano- and electronic physics. – 2014. – Vol. 6, № 3. – P. 03008-1–03008-3.

## REFERENCES

1. Vasilyev R.B., Dirin D.N. *Kvantovye tochki: sintez, svoystva, primeneniye* [Quantum Points: Synthesis, Properties, Application]. Moscow, Izd-vo MGU, 2007. 50 p.

2. Golovin Yu.I. *Vvedeniye v nanotekhnologiyu* [Introduction to Nanotechnology]. Moscow, Mashinostroeniye-1 Publ., 2003. 112 p.

3. Gusev A. *Nanomaterialy i nanotekhnologii* [Nanomaterials and Nanotechnologies]. *Nauka Urala*, 2002, no. 24 (822).

4. Dyachkov P.N. *Uglerodnye nanotrubki: stroeniye, svoystva, primeneniye* [Carbon Nanotubes: Structure, Properties, Application]. Moscow, Binom Publ., 2011. 488 p.

5. Inshakov O.V., Inshakova E.I. *Vzaimodeystviye institutov razvitiya nanoindustrii v makroekonomicheskom i megaekonomicheskom mashtabe* [Interaction of Institutes of Nanotech Industry Development in Macroeconomic and Megaeconomic Scale]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3, Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2012, no. 1 (20). pp. 268–277.

6. Inshakov O.V., Inshakova E.I. *Mekhanizm gosudarstvennogo finansirovaniya i instituty razvitiya nanoindustrii v Rossii* [The Mechanism of Public Financing and Institutes of Nanotech Industry Development in Russia]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3, Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System], 2012, no. 1 (20), pp. 144–150.

7. Kovalchuk M.V. *Konvergentsiya nauk i tekhnologiy - proryv v budushchee* [Convergence of Sciences and Technologies Breakthrough in the Future]. *Rossiyskie nanotekhnologii*, 2011, vol. 6, no. 1–2, pp. 13–23.

8. *Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda: utverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva RF ot 17 noyabrya 2008 g. № 1662-r* [The Conception of Long-Term Social and Economic Development of the Russian Federation for the Period Till 2020: Approved by the Decree of the Russian Federation of November 17, 2008 no. 1662-p]. Access From Reference Legal System “KonsultantPlyus”.

9. Alferov Zh.I., et al. *Nanomaterialy i nanotekhnologii* [Nanomaterials and Nanotechnologies]. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2003, no. 8, pp. 3–13.

10. Roko M.K., ed., et al. *Nanotekhnologiya v blizhaysheem desyatiletii. Prognoz napravleniya razvitiya* [Nanotechnology in the Next Decade.

Forecast of the Development Direction]. Moscow, Mir Publ., 2002. 292 p.

11. Safonova T.A., et al. Narushenie morfogeneza elementov kremnistogo pantsirya diatomovoy vodorosli synedra acus v prisutstvii germanievoy kisloty [The Violation of a Morphogenesis of Elements of a Siliceous Armor of a Diatomovoy Alga of Synedra Acus in the Presence of Germanic Acid]. *Biokhimiya*, 2007, vol. 72, iss. 11, pp. 1548-1558.

12. Karabasov Yu.S., ed. *Novye materialy* [New Materials]. Moscow, MISIS Publ., 2002. 736 p.

13. Kolmakov A.G., et al. Optimizatsiya mikrokolichestv karbida niobiya v sverkhprovodyashchey keramike  $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$  s ispolzovaniem podkhoda multifraktalnogo formalizma [Optimization of Microamounts of Carbide of Niobium in Superconducting Ceramics  $(\text{Bi, Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$  With the Use of a Multifractal Formalism Approach]. *Neorganicheskie materialy*, 2003, vol. 39, no. 4, pp. 495-504.

14. *Poslanie Prezidenta Rossiyskoy Federatsii Federalnomu Sobraniyu 4 dekabrya 2014 goda. Moskva, Kreml* [The Message of the President of the Russian Federation to Federal Assembly on December 4, 2014. Moscow, Kremlin]. Available at: <http://www.kremlin.ru/transcripts/messages>.

15. *Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya RF na period do 2030 goda: utverzhden Pravitelstvom RF* [The Forecast of Scientific and Technological Development of the Russian Federation for the Period Till 2030: Approved by the Russian Government]. Moscow, 2013. Available at: <http://www.government.ru>.

16. Alfimov S.M., et al. Razvitie v Rossii rabot v oblasti nanotekhnologii [Development of Works in the Field of Nanotechnologies in Russia]. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*, 2004, no. 8, pp. 2-8.

17. Rodrigues A. Farindustriya: shag vpered [Farming Industry: Step Forward]. *Strategiya*, 2014, iss. 4 (14).

18. Murashkevich A.N., et al. Sintez, fiziko-khimicheskie i elektroeologicheskie svoystva nanodispersnogo dioksida titana, legirovannogo oksidami metallov [Synthesis, Physical and Chemical, and Electrorheological Properties of Nanodisperse Dioxide of the Titan Alloyed by Oxides of Metals]. *Zol-gel sintez i issledovanie neorganicheskikh soedineniy, gibridnykh funktsionalnykh materialov i dispersnykh sistem: tezisy dokladov Tretyey mezhdunarodnoy konferentsii stran SNG, 8-12 sentyabrya 2014 g., g. Suzdal* [Sol-Gel Synthesis and Investigation of Inorganic, Hybrid Functional Materials and Disperse Systems: Theses of Reports of the Third International Conference of CIS, September 8-12, 2014, Suzdal]. Ivanovo, 2014. 206 p.

19. Freitasá R.A., Merkleť R.C. A Minimal Toolset for Positional Diamond Mechanosynthesis. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2008, vol. 5, pp. 760-861.

20. Hsieh C.-T., et al. Influence Roughness on Water- and Oil-Repellent Surfaces Coated With Nanoparticles. *Applied Surface Science*, 2005, vol. 240, pp. 318-326.

21. Katsnelson M.I. Graphene: Carbon in Two Dimensions. *Materials Today*, 2007, no. 10 (1-2).

22. Lemme M.C. Current Status of Graphene Transistors. *Solid State Phenomena*, 2009, no. 156.

23. *NSTC, National Nanotechnology Initiative and Its Implementation Plan*. Washington, D.C., 2000.

24. Roco M.C. International Strategy for Nanotechnology Research. *Journal of Nanoparticle Research*, 2001, vol. 3, no. 5-6, pp. 353-360.

25. Roco M.C., Bainbridgejť W.S., eds. *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Dordrecht, Kluwer Acad. Publ., 2001.

26. Strukov D.B., et al. The Missing Memristor Found. *Nature Letters*, 2008, vol. 453, pp. 80-83.

27. Zaporotskova I.V., Elbakyan L.S. Obtaining New Dental Materials Reinforced With Carbon Nanotubes. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2014, vol. 6, no. 3, pp. 03008-1-03008-3.

## NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS: SCIENTIFIC, ECONOMIC AND POLITICAL REALIA OF THE NEW CENTURY

**Zaporotskova Irina Vladimirovna**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,  
Director of Institute of Priority Technologies, Volgograd State University  
[irinazaporotskova@gmail.com](mailto:irinazaporotskova@gmail.com), [priori@volsu.ru](mailto:priori@volsu.ru)  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** The current state and problems of nanotechnology development in the Russian Federation in modern economic, political and scientific conditions are presented. Nanotechnologies and nanomaterials have already been used in all developed countries of the world in the most significant areas of human activity industry, defense, information sphere, radio electronics, energy drinks, transport, biotechnology, medicine. The Government of the Russian Federation formulated the main objectives of scientific and economic community for the development of nanotechnologies in the conditions of the demanded import substitution. In the developed countries the comprehension of the key role of nanotechnologies led to the elaboration of large-scale programs for their development on the basis of state support. Similar programs are adopted more than in thirty countries around the world, including the Russian Federation. The author of the present article studies the current state of nanotech industry in Russia and classifies nanotechnologies according to the intrinsic principle. As a result, four main directions in the field of nanotechnologies are allocated: 1) nanomaterials; 2) photonics, spintronics, nanoelectronics (devices based on the nanoprinciples); 3) nanometrology, nanomanipulators and modeling; 4) nanosensors and nanodetectors. Some perspective scientific and technological projects of nanotech industry development in Russia are also considered. The author points to economic, social, ecological, and scientific and technical opportunities of nanotechnologies development in Russia, as well as their threats.

**Key words:** nanotechnologies, nanomaterials, import substitution, nanotech industry, technological directions of nanotechnologies.