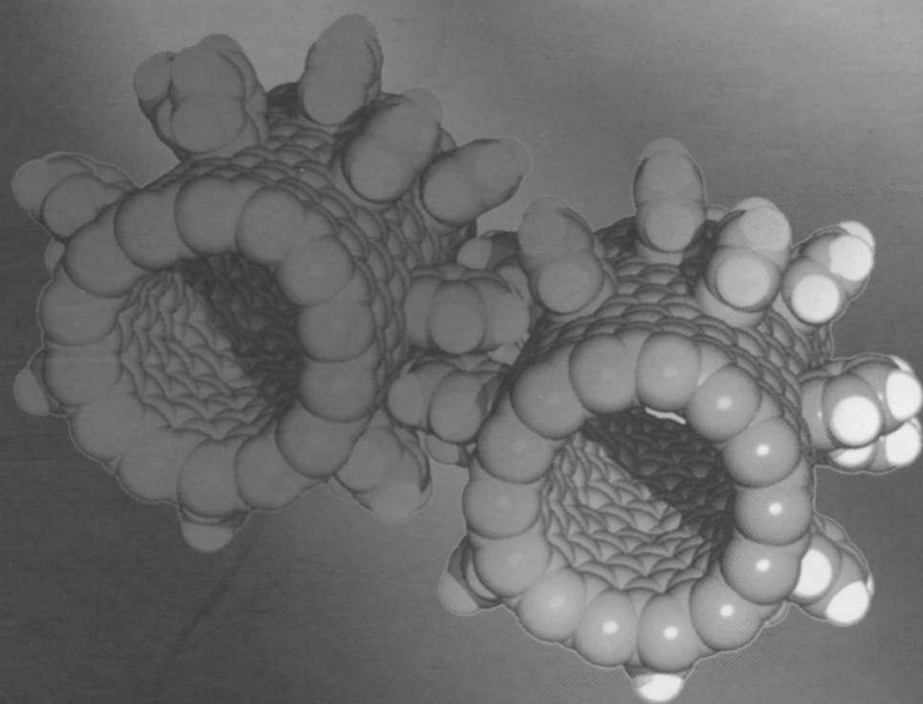




ОСНОВЫ ПРИКЛАДНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

А. А. Абрамян, В. И. Балабанов, В. И. Беклемышев,
Р. В. Варганов, И. И. Махонин, В. А. Солодовников

ОСНОВЫ ПРИКЛАДНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Монография

Москва
Издательский дом
МАГИСТР-ПРЕСС
2007

УДК 621.382.049.77
ББК 32.852.3
О 75

Под общей редакцией проф. В. И. Балабанова

О 75 **Основы прикладной нанотехнологии** / А. А. Абрамян, В. И. Балабанов, В. И. Беклемышев, Р. В. Вартанов, И. И. Махонин, В. А. Солодовников — М.: МАГИСТР-ПРЕСС, 2007. — 208 с.

ISBN-978-5-89317-216-4

В монографии представлены теоретические и практические основы нанотехнологий — процесса разделения, сборки и изменения материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой — символа новой, третьей научно-технической революции.

В книге раскрыты базовые термины и определения, приведены исторические аспекты развития научного направления, рассмотрены основные области применения нанотехнологий.

Приводится подробное описание «эффекта лотоса» и «эффекта безызносности», технологии финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО), нанодобавок к топливно-смазочным материалам и других препаратов автохимии на основе нанотехнологий, находящихся все более широкое применение и позволяющих значительно повысить надежность автомобильной и другой техники.

Издание предназначено для профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и студентов технических вузов, инженерно-технического персонала автотранспортных и ремонтных предприятий, а также владельцев транспортных средств.

УДК 621.382.049.77
ББК 32.852.3

© ЗАО «Согласие», 2007
© ЗАО «Институт Прикладной Нанотехнологии», 2007
© Издательский Дом МАГИСТР-ПРЕСС, 2007

ISBN 978-5-89317-216-4

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время нанотехнология — ключевое понятие начала XXI века, символ новой, третьей научно-технической революции. С позиций сегодняшнего дня целью нанотехнологии является создание наносистем, наноматериалов, наноустройств, способных оказать революционное воздействие на развитие цивилизации.

Необходимость всестороннего развития нанотехнологий является одной из главных задач, стоящих перед наукой и системой образования страны.

Для решения поставленных задач необходим комплекс мер по подготовке, привлечению и закреплению кадров, прежде всего молодых специалистов, для использования в области нанотехнологий и наноматериалов, а также дальнейшее повышение их квалификации.

В монографии представлены теоретические и практические основы прикладной нанотехнологии, раскрыты базовые термины и определения, приведены исторические аспекты развития этого научного направления, рассмотрены основные области применения нанотехнологий. Приводится описание «эффекта лотоса» и «эффекта безызносности», функциональных нанодобавок к топливно-смазочным материалам и других препаратов автохимии на основе нанотехнологий, находящихся всё более широкое применение и позволяющих значительно повысить надежность автомобильной и другой техники.

Мы надеемся, что данная книга поможет всем желающим открыть для себя новый увлекательный мир — мир нанотехнологий.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

*«Нанотехнологии произведут такую же революцию
в манипулировании материей, какую произвели
компьютеры в манипулировании информацией»*

Ральф Меркле,
профессор Технического колледжа штата Джорджия, США

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации В. В. Путина правительство России распоряжением от 25 августа 2006 г. № 1188-р одобрило программу координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов. Указано, что ускоренное развитие соответствующих исследований должно обеспечить реализацию стратегических приоритетов страны, изложенных в Основах политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу.

Целью утвержденной программы является достижение и поддержание паритета с развитыми странами мира в приоритетных направлениях науки и техники, ресурсо- и энергосбережении, создании экологически адаптированных современных промышленных производств, здравоохранении, производстве продуктов питания, качестве и уровне жизни населения, а также в обеспечении необходимого уровня обороноспособности и безопасности России за счет повышения координации и результативности работ в области нанотехнологий и наноматериалов.

Основными направлениями координации работ в рамках программы являются: создание и совершенствование исследовательской и инновационной инфраструктуры; широкомасштабное развитие фундаментальных исследований по перспективным на-

правлениям, а также долгосрочная государственная поддержка прикладных исследований в различных отраслях науки и техники, нацеленных на коммерциализацию разработок; развитие международного взаимовыгодного сотрудничества в области наноиндустрии; подготовка, привлечение и закрепление кадров, прежде всего молодых специалистов, для использования в различных сферах деятельности в области нанотехнологий и наноматериалов, а также повышение их квалификации.

В ряде высших учебных заведений нашей страны в соответствии с поручением Министерства образования и науки Российской Федерации (приказ № 71 от 29.01.2004 г.) начата подготовка кадров в области нанотехнологии по специальностям 202000 – «Нанотехнология в электронике (нанoeлектроника)» и 073800 – «Наноматериалы». В Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана готовятся специалисты по специальности «Микро- и нанороботы». Открыты специальности в области нанотехнологий в Московском государственном институте электронной техники, Московском государственном институте радиотехники, электроники и автоматики, Новосибирском государственном техническом университете, Саратовском государственном университете, Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете, Нижегородском государственном университете им. Н. И. Лобачевского, Таганрогском технологическом институте Южного федерального университета и ряде других.

Областью их профессиональной деятельности является совокупность методов, способов и средств, направленных на исследование, моделирование, разработку нанотехнологий для создания, производства и эксплуатации наноматериалов, нанокomпонентов, элементов, приборов и устройств нанoeлектроники.

Объектами их профессиональной деятельности в зависимости от содержания образовательной программы подготовки (специальности) являются наноматериалы, нанокomпоненты, элементы и устройства, технологические процессы их изготовления, методы исследования, физические и физико-химические явления в про-

цессах их получения, обработки и эксплуатации, проектирование и конструирование приборов, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели процессов нанотехнологии и объектов наноэлектроники.

Монография предназначена для профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и студентов технических вузов, инженерно-технического персонала автотранспортных и ремонтных предприятий, а также для владельцев транспортных средств и всех интересующихся современными проблемами физики и техники.

ГЛАВА 1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

А

Абляция (лат. *ablat* — отнятие), многозначный физический термин, обозначающий процесс увлечения вещества с поверхности твердого тела обтекающим потоком. В физике твердого тела — удаление (испарение) вещества с поверхности при воздействии лазерного излучения.

Аллотропия (греч. *allos* — иной, *tropos* — поворот), свойство, существование одного и того же элемента в виде различных по свойствам и строению структур.

Алмазоид, алмазоподобная структура, построенная из атомов углерода методами механосинтеза, имеющая прочность и химическую инертность алмаза. Алмазоид будет использоваться в качестве основного материала при построении нанороботов. Алмазоид — гидрокарбонат, в котором атомы углерода образуют тетраэдральную пространственную сетку с конфигурацией электронных орбиталей sp^3 , точно такую же, как и в алмазе. В природе алмазоид встречается в сырой нефти в виде молекул низших гидрокарбонатов — адамантана, диамантана и триамантана.

Ассемблер (наноассемблер, конструктор) (анг. *assemble* — собирать), кибернетическое устройство нанометрических масштабов, способное по заданной программе производить (собирать) из набора атомов молекулы путем механохимии. Возможно его самокопирование. Ассемблер включает в себя мощный нанокomпьютер, комплекс наноманипуляторов и наносенсоров; т.е. это — молекулярная машина, которая может быть запрограммирована строить практически любую молекулярную структуру или устройство из более простых химических строительных блоков, подобие управляемого компьютером механического цеха (см. *репликатор*).

Атом (древнегреч. *ἄτομος* — неделимый), частица химического элемента, сложное, делимое тело. Атом состоит из облака электронов, окружающих плотное ядро, которое в тысячи раз меньше, чем сам атом. Наномашины будут работать не с ядрами, а с атомами.

Атто... (лат. *atten* — восемнадцать), приставка к наименованию единицы физической величины, служащая для образования дольной единицы, равной 10^{-18} от исходной. Сокращённое обозначение: русское — а, международное — а. Например, $1 \text{ ат} = 10^{-18} \text{ м}$.

Б

Балк-технология, технология, основанная на манипуляции совокупностями атомов и молекул, а не индивидуальными атомами.

Г

Геомодификатор (греч. *γεια* — Земля), — специальная микро- или нанодобавка в топливно-смазочные материалы и технологические среды на базе минералов геологического (реже искусственного) происхождения, которые могут вступать во взаимодействие с контактируемыми (трущимися) участками деталей и формировать на них металлокерамический слой, частично восстанавливающий дефекты поверхностей трения.

Гетероструктура (греч. *εταίρια* — союз, товарищество), комбинация нескольких гетеропереходов (контакт двух разных полупроводников), используемая для создания потенциальных ям для электронов и дырок в слоистых полупроводниковых структурах и применяемая в полупроводниковых лазерах и светоизлучающих диодах.

Графен, углеродный наномонослой, в котором связи С—С образуют правильные графитовые шестиугольники («пчелиные соты»).

Д

Диамондоиды, полимерные органические молекулы, в которых углеродные атомы скелета связаны между собой точно так же, как и во фрагментах кристаллической решетки алмаза.

Дизассемблер, кибернетическое устройство нанометрических масштабов, способное по заданной программе отделять атомы от молекул, записывая при этом их месторасположение на молекулярном уровне. Пара «ассемблер—дизассемблер» сможет создавать копии любых макрообъектов.

Диссипация (лат. *dissipatio* — рассеяние), процесс необратимого рассеивания (или возврата) энергии, полученной системой при различных процессах, например при трении.

ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота), молекула, содержащаяся в клетках всех живых организмов, а также в некоторых вирусах, представляющая собой полимерный остов, состоящий из чередующихся

остатков фосфата и сахара дезоксирибозы, к которому прикреплены азотистые основания (аденин, гуанин, цитозин и тимин). Молекула ДНК представляет собой двойную нуклеотидную наноцепь с периодом 3,4 нм и диаметром 2 нм. Она является носителем генетической информации и наследственных признаков и заряжена отрицательно, так как фосфат в ее составе несёт отрицательный заряд.

Дуга фуллереновая, дуговой метод получения фуллеренов (см.), основанный на термическом разложении графита при электролитическом нагреве графитового электрода или лазерном облучении поверхности графита.

И

Индентор (англ. *indentation* — вдавливание, идентифицирование, лат. *into* — внутрь), твердый предмет определенной геометрической формы (шар, конус, пирамида) и размеров, вдавливаемый в поверхность исследуемого материала под действием заданной нагрузки или собственного веса (для измерения твердости), и изготавливаемый обычно из алмаза, сапфира, твердого сплава и т.п.

К

Кантилевер (англ. *cantilever* — консоль), устоявшееся название наиболее распространенной в сканирующей атомно-силовой микроскопии конструкции микромеханического подвижного зонда, служащая для измерения отклонения зонда и позволяющая изучать диэлектрические материалы.

Квант (лат. *quantus* — сколько), неделимая часть материи. Например, квант света — элементарная часть (порция) света, то же, что фотон. В основе понятия лежит представление о том, что любая физическая величина может принимать только определённые, а не произвольные значения (т.е. физическая величина *квантуется*).

Кеврал, синтетическое волокно прочнее большинства сталей, созданное американской фирмой «Дюпон де Немур». Один из самых прочных материалов, имеющихся на рынке, используемый в аэрокосмическом конструировании, пуленепробиваемых жилетах и других случаях, когда требуется обеспечить высокую прочность при малой массе.

Кластер (англ. *cluster* — объединение), совокупность двух или более однородных элементов (атомов или молекул), которая может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определенными свойствами.

Клейтроника (англ. *clay* — глина, *claytronics* — «умная глина»), новая область в науке и технологии, рассматривающая возможность сборки различных конструкций из отдельных унифицированных строительных блоков-роботов (см. *фоглет*) микроскопических размеров.

Конгломерат (лат. *conglomeratus* — скопившийся, собранный, скупенный), механическое соединение чего-либо разнородного.

Кондиционер (рекондиционер) металла (поверхности) (англ. *condition* — состояние воздуха), вещество и механизм воздействия на металл (поверхность), позволяющие модифицировать, структурировать, восстанавливать структуру и состав металла (поверхности), на который он воздействует, посредством доставки необходимых компонентов (среды и энергии) от внешних источников (препаратов), а также придавать трущимся поверхностям высокие антифрикционные и противоизносные свойства.

Концепция «зеленой слизи» (англ. *green goo problem*), гипотетическая опасность возможности создания разрушительных вирусов и бактерий, которые, быстро размножаясь, уничтожат всю жизнь на планете, разобрав белковые структуры на отдельные молекулы.

Концепция «серой слизи» (англ. *grey goo problem*), гипотетическая опасность создания неуправляемых универсальных молекулярных самосборщиков, обученных делать из окружающей среды себе подобные копии, которые сразу же после создания начнут штамповать свои клоны из доступных молекул и, в конце концов, всю Вселенную превратят в однообразную серую массу, состоящую только из себе подобных нанороботов.

Л

Лаборатория ассемблерная закрытая, рабочее пространство, содержащее ассемблеры, которое закрыто со всех сторон таким образом, что информация может течь внутрь и наружу.

Лиганд (лат. *ligo* — связываю), атом, ион или молекула, непосредственно связанная с одним или несколькими центральными (комплексобразующими) атомами в комплексном соединении с образованием «координационной» донорно-акцепторной связи, где является донором электронной пары. При присоединении лиганда к центральному атому химические свойства комплексобразователя и самого лиганда часто претерпевают значительные изменения.

Лонсдейлит (англ. *lonsdaleite*), гексагональная модификация углерода с кристаллической решеткой типа вюрцита ($a = 0,252$ нм, $c =$

$0,412$ нм) и плотностью $3,51$ г/см³. Найден в 1967 г. в метеорите, а затем получен искусственно.

Лотос-эффект (нем. *lotus-effect*®), изначально природное явление несмачиваемости и самоочистки листьев и цветков ряда растений (лотоса, тюльпана и др.), крыльев насекомых. Впоследствии комплекс технических и технологических решений, широко применяемых в автомобильном сервисе.

М

Масштабный эффект (англ. *indentation size effect*), явление, заключающееся в росте твердости при низких и сверхнизких усилиях внедрения индентора (около 1 мкН), которые приводят к образованию отпечатков нанометровой глубины. При нагрузках ниже некоторых критических (зависящих от природы материала, температуры, формы индентора и т.д.) практически все материалы начинают демонстрировать в контакте упругое поведение.

Микроскоп атомный силовой, прибор, который позволяет рассматривать атомы не только металлов, но и других химических веществ. Изготовлен в 1986 г. сотрудником Цюрихской лаборатории IBM немецким физиком Г. К. Биннигом.

Микроскоп туннельный растровый, прибор, основанный на возникновении туннельного тока между поверхностью проводника и металлическим острием, удаленным от нее на расстояние около $0,1$ нм. Создан в 1985 г. Г. К. Биннигом и швейцарцем Г. Рорером. При сканировании за счет изменения этого расстояния можно получить рельеф образца с точностью до размеров атомов и молекул. Туннельный растровый микроскоп — основная инструментальная база современных нанотехнологий.

Мицелла (новолат. *micella* — от лат. *mica* — крошечка), частица общим диаметром $10^{-7} \dots 10^{-9}$ м в коллоидных системах, состоящая из нерастворимого в данной среде ядра, окруженного, в свою очередь, стабилизирующей оболочкой адсорбированных ионов и молекул растворителя.

Н

Нано... (греч. *navos* — карлик), приставка для образования наименования дольных единиц, равных одной миллиардной доле исходных единиц. Обозначения: русское — н, международное — п. Пример: 1 нм = 10^{-9} м = 10 ангстрем).

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

Наноклетки искусственные, нанороботы, дублирующие функции естественных биологических клеток. При этом эти искусственные клетки могут быть меньше по размеру, чем оригинальные, и лучше функционировать.

Нанокomпьютер, компьютер, сделанный из компонентов (механических, электронных или других) в масштабе нанометра.

Нанокристалл, единица наноструктуры, наименьшее количество вещества в кристаллической форме.

Нанолитография, создание «правильных» групп атомов и молекул на подложке из обычного вещества. Это шаг к разработке и конструированию первых деталей наномашин, в том числе ассемблера.

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

Наномедицина, слежение, исправление, конструирование и контроль над биологическими системами человека на молекулярном уровне с использованием наноустройств и наноструктур.

Наноробот (нанобот), кибернетическое устройство нанометрических масштабов, изготовленное с атомарной точностью, обладающее функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ.

Наносистема, материальный объект в виде упорядоченных или самоупорядоченных, связанных между собой элементов с нанометрическими характеристическими размерами, кооперация которых обеспечивает возникновение у объекта новых свойств, обусловленных проявлением наномасштабных эффектов и явлений (например, квантово-размерных, синергетически-кооперативных, «гигантских» и др.).

Наноструктура, два и более нанокристалла, соединенные между собой силами Ван-дер-Ваальса (при участии электронного газа).

Наносхема, печатная плата, изготовленная с применением нанотехнологий и транзисторов сверхмалых размеров, с точным позиционированием отдельных атомов.

Нанотехника, междисциплинарная область науки, которая изучает закономерности физико-химических процессов в пространственных областях нанометровых размеров с целью управления отдельными атомами, молекулами, молекулярными системами при создании новых молекул, наноструктур, наноустройств и матери-

алов со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами.

Нанотехнология (по Танигучи), процесс разделения, сборки и изменения свойств материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой вещества.

Нанотехнология инкрементная (англ. *increment* — возрастание, увеличение), технологии, касающиеся значительного усовершенствования существующих продуктов за счет применения наноматериалов.

Нанотехнология молекулярная (по Дрекслеру), совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении и в результате получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба; в более широком смысле — методы диагностики, характерологии и исследований таких объектов.

Нанотехнология практическая, рассматривает задачи и конкретные способы практического применения (реализации) нанотехнологий для нужд человечества. Впервые вводится авторами данной книги.

Нанотрибология, раздел трибологии, изучающий физико-химические процессы в пределах наноразмеров.

Нанотрубка (англ. *carbon nanotube, CNT*) — трубка нанометрических размеров, состоящая из отдельных атомов углерода и имеющая искусственную структуру. Предназначается для коммуникаций, передачи энергии и сигналов, а также построения новых материалов на базе углерода.

Наноэнергия, количество энергии (теплоты), необходимое для нагрева одного грамм-атома наноструктуры от температуры абсолютного нуля (-273°C) до полного испарения (возгонки) при температуре кипения.

П

Пико... (исп. *pico* — малая величина), приставка для образования наименования дольных единиц, по размеру равных 10^{-12} исходной единицы. Обозначения: русское — п, международное — р. Пример: 1 пф (пикофарада) = 10^{-12} ф.

Пленка сервовитная (лат. *servo vitte* — спасать жизнь), особая структура на поверхностях трения толщиной в несколько сотен нанометров, характерная для эффекта безызносности, в которой реализуется

особый механизм деформации, протекающий без накопления дефектов, свойственных усталостным процессам.

Поверхность (межфазная граница), общая часть двух смежных областей пространства различного фазового состояния, обычно толщиной несколько атомных слоев.

Р

Реметаллизант (металлоплакирующая присадка) (франц. *plaquer* — покрывать), порошковая или ионная микро- или нанодобавка на основе пластичных металлов к топливно-смазочным материалам, технологическим и другим средам, реализующая эффект избирательного переноса при трении (эффект безызносности).

Репликатор (франц. *réplicque*, итал. *replica*, от лат. *replico* — повторять, отвечаю), наноробот, способный к созданию своей копии, т.е. самовоспроизводству. Наиболее очевидные примеры репликаторов — последовательности ДНК, так как они многократно копируются при делении клеток. Может быть пассивный или активный, конечный или бесконечный.

С

Сервис безразборный (англ. *service* — производить осмотр и текущий ремонт), комплекс мероприятий, направленных на проведение операций технического обслуживания и ремонта агрегатов без проведения разборочно-сборочных операций. Может включать операции обкатки, диагностики, профилактики, автохимического тюнинга, очистки и восстановления как отдельных трущихся соединений, так машин и механизмов в целом.

Синергетика (греч. *син* — совместное и *эргос* — действие), научное направление, изучающее общие закономерности, управляющие процессами самоорганизации в системах различного рода: биологических, технических, химических и др.

Т

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

Технологии критические, дезавуирующие, ликвидационные технологии, которые фактом своего появления закрывают целые линии

или делают бессмысленным дальнейшее развитие этого направления. Например, развитие ракетной техники, и межконтинентальных ракет, закрыло направление стратегических бомбардировщиков, закрыло в том смысле, что сделало их обычным, а не стратегическим оружием, фактически свернула программу их развертывания.

Технологии конвергентные, четыре взаимосвязанных научно-технических направления: нанотехнологии, биотехнологии, нейротехнологии и информационные технологии.

Технология фуллеренов — научно-практическое направление, занимающееся как методами производства фуллеренов, так и различными прикладными задачами их использования.

ТОН (технология общего назначения), обычно начинается как весьма грубая технология ограниченного применения, однако затем быстро распространяется в области новых приложений. Примером являются паровая машина, электричество, железные дороги и компьютеры, послужившие базисом для главных научно-технических (экономических) революций. В наши дни классическим примером является нанотехнология.

Трибология (греч. *tribos* — трение и *logos* — наука), наука о контактном взаимодействии твердых тел при их относительном движении, охватывающая весь комплекс вопросов трения, изнашивания, смазки и самоорганизации в машинах.

Триботехнология, комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на практическое использование процесса трения для восстановления и придания поверхностям трения деталей высоких антифрикционных и противозносных свойств.

Туман конструктивный, система, позволяющая собирать различные предметы из отдельных универсальных строительных блоков микроскопических размеров.

Туман конструкторский (англ. *utility fog*), наносистема, состоящая из унифицированных строительных нанороботов (см. *фоглетов*) и позволяющая собирать различные предметы из отдельных универсальных строительных блоков микроскопических размеров. Термин предложен австралийским ученым С. Холлом (*Hall*).

Туннелирование, уникальное свойство квантовых частиц, в том числе и электронов, заключающееся в их способности проникать через преграду даже в случаях, когда их энергия ниже потенциального барьера, соответствующего данной преграде. Электрон, обладающий энергией E , встретив на своем пути преграду, требующую для прохождения большей энергии U , не отражается от этой преграды, а с потерей энергии как волна преодолевает эту преграду.

Тюнинг автохимический, специальная обработка двигателя препаратами автохимии в целях снижения механических потерь на трение и повышения мощности двигателя.

Ф

Фемто... (датск. femten — пятнадцать), приставка к наименованию единицы физической величины; служит для образования наименований дольных единиц, по размеру равных 10^{-15} доле исходных единиц. Обозначение: русское — ф, международное — f. Пример: 1 фк (фемтокулон) = 10^{-15} к.

Физика фуллеренов, научное направление в физике, занимающееся исследованием структурных, механических, электрических, магнитных, оптических свойств фуллеренов (см.) и их соединений в различных фазовых состояниях, а также изучением характера взаимодействия между атомами углерода в этих соединениях, спектроскопией молекул фуллеренов, свойств и структуры систем, состоящих из молекул фуллеренов.

Фоглет (англ. fog — туман), частица конструкторского тумана (см.), наноробот-блок, имеющий диаметр около 100 мкм.

Фуллерены (англ. fullerene), класс химических соединений, молекулы которых состоят только из четного количества атомов углерода, химически стабильные замкнутые поверхностные структуры углерода, в которых атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников или пятиугольников, регулярным образом покрывающих поверхность сферы или сфероида.

Фуллериты, твердые фуллерены C_{60} , кристаллы с гранецентрированной кубической решеткой и достаточно слабыми межмолекулярными связями. В кристалле имеются октаэдрические и тетраэдрические полости, в которых могут находиться посторонние атомы и влиять на свойства всего материала.

Х

Химия фуллеренов, научно-практическое направление химии, занимающееся созданием и изучением класса фуллеренов (см.). По концепциям и методам исследования во многом принципиально отличается от традиционной химии.

Химмотология, наука о рациональном использовании топлив, масел и автохимии в технике.

Хиральность (англ. chirality, греч. *chûir* — рука), понятие в химии, характеризующее свойство объекта быть несовместимым со своим

отображением в идеальном плоском зеркале. Впервые сформулировано в 1884 г. У. Томсоном, но распространение получило после 1966 г., когда было введено в стереохимию В. Прелогом.

Ш

Шунгит, минерал, получивший название от поселка Шуньга в Карелии, где были обнаружены природные фуллерены.

Э

Энзимы (ферменты) (лат. *fermentum*, греч. *ἐνζυμο* — закваска), белковые молекулы или их комплексы (молекулярные машины), ускоряющие химические реакции в живых системах.

Энтропия (греч. *entropia* — поворот, превращение), мера неупорядоченности больших систем. Например, в теории тепловых машин — та часть энергии, которая рассеивается в пространстве, не совершая полезной работы.

Эпитаксия молекулярно-лучевая (англ. *metalorganic chemical vapour deposition*, МОСVD), метод эпитаксиального роста материалов, особенно полупроводников, при получении гетероструктур путём термического разложения (пиролиз) из органических газов, содержащих необходимые химические элементы.

Эффект безызносности Гаркунова (избирательный перенос при трении), возникает в результате протекания химических и физических процессов на поверхности контактирующих тел, приводящих к образованию на них самоорганизующихся систем толщиной около 100 нм, которые обеспечивают автокомпенсацию износа и снижение коэффициента трения.

Эффект Холла, явление, заключающееся в том, что в проводнике с током, помещенном в магнитное поле, вектор напряжённости которого перпендикулярен направлению тока, возникает электрическое поле в направлении, перпендикулярном направлениям тока и магнитного поля.

ГЛАВА 2. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

«Там... внизу...еще очень много места...».

Ричард Фейнман

Нобелевский лауреат по физике, (1959 г.)

Как ни парадоксально это звучит, но человечество с древних времен использует наноматериалы в своей повседневной жизни, получая в ряде случаев именно за счет наличия наночастиц самые невероятные свойства изготавливаемых материалов, порой недоступных даже современной науке.

Так, например, прекрасный рубиновый цвет стекла получали введением наночастиц золота в стеклянную матрицу. Декоративная глазурь с глянцем, характерная для средневековой гончарной посуды, включает сферические металлические наночастицы, обеспечивающие специфические оптические свойства.

Оказалось, что красящие вещества, использовавшиеся аборигенами Австралии для нанесения стойких боевых раскрасок, а также краска для волос древнегреческих красавиц также содержали наночастицы, обеспечивающие очень длительный и стойкий окрашивающий эффект.

Первым из ученых, использовавшим измерения в нанометрах, принято считать Альберта Эйнштейна, который в 1905 г. теоретически доказал, что размер молекулы сахара равен одному нанометру.

Идею же создания специальных приборов, способных проникнуть в глубину материи до границ наномира, выдвинул выдающийся американский инженер-электрик и изобретатель, физик, философ сербского происхождения Н. Тесла. Именно он предсказал создание в будущем электронного микроскопа.

В 1920-е гг. американский физик-теоретик российского происхождения Г. А. Гамов впервые вывел решение уравнений Шрёдингера, описывающее возможность преодоления частицей потенциального барьера при условии, когда ее энергия меньше его

высоты. Уникальное свойство, характерное для квантовых частиц, в том числе и электронов, заключающееся в их способности проникать через преграду даже в случаях, когда их энергия ниже потенциального барьера, соответствующего данной преграде. Электрон, встретив на своем пути преграду, требующую для прохождения энергию большую, чем он обладает, не отражается от нее, а с потерей энергии (как волна) преодолевает эту преграду. Открытое явление, называемое «туннельным эффектом» (туннелированием), позволило объяснить многие экспериментально наблюдавшиеся процессы. Найденное решение было применено для описания процессов, происходящих при вылете частицы из ядра, составляющих в настоящее время основу атомной науки и техники.

В 1932 г. нидерландский профессор Ф. Цернике открыл метод фазового контраста и создал первый фазово-контрастный микроскоп (Нобелевская премия, 1953 г.) — вариант оптического микроскопа, улучшавший качество показа деталей изображения, и исследовал с его помощью живые клетки (ранее для этого приходилось применять красители, убивавшие живые ткани). Интересно, что Цернике предлагал свое изобретение немецкой фирме «Карл Цейс», мировому лидеру в производстве оптических устройств, но ее менеджеры в то время не осознали его перспективности.

В 1939 г. немецкие физики Э. А. Руска, получивший Нобелевскую премию в 1986 г., и М. Кноль создали электронный микроскоп, обеспечивающий 15-кратное увеличение (на тот период меньшее, чем существовавшие оптические микроскопы). Прибор стал прообразом нового поколения подобных устройств, позволивших в дальнейшем заглянуть в мир нанообъектов. В этом же году компания «Сименс», в которой работал Руска, выпустила первый коммерческий электронный микроскоп с разрешающей способностью 10 нм.

В 1956 г. сотрудник картографической службы военного ведомства США Дж. О'Кифи предложил конструкцию микроскопа, в котором свет должен был выходить из крошечного отверстия в непрозрачном экране и освещать объект, расположенный очень близко от экрана. Свет, прошедший через образец или отраженный от него обратно в отверстие должен был регистрироваться в процессе возвратно-поступательного движения (сканирования) образца. О'Кифи назвал свой метод растровой микроскопией ближнего поля и указал, что разрешение такого микроскопа ограничивается не длиной волны света, а только размером отверстия. Теоретически такое устройство могло бы давать изображение деталей размером меньше половины длины волны.

Бурное развитие электроники в середине 1950-х гг. привело к открытию туннельного диода японским физиком Л. Эсаки (Нобелевская премия 1973 г. совместно с А. Джайевером и Б. Джозефсоном). В это же время Ю. А. Тиходеев, руководитель сектора физико-теоретических исследований в НИИ «Пульсар», впервые предложил расчеты параметров и варианты применения приборов на основе многослойных туннельных структур, позволяющих достичь рекордных на тот период результатов по быстродействию.

Советские ученые Д. Н. Гаркунов и И. В. Крагельский при исследованиях аварий авиационной техники в 1956 г. открыли явление избирательного переноса при трении («эффекта безызносности»). Позднее было установлено, что особенностью процесса является образование так называемой «сервоитной пленки» толщиной около 100 нм.

Однако идея о том, что в будущем человечество сможет создавать устройства и другие объекты, собирая их «молекула за молекулой», а то и «атом за атомом», восходит к знаменитой лекции «Там внизу — много места» (*“There is plenty of space on the bottom”*) одного из крупнейших физиков XX века, лауреата Нобелевской премии, профессора Калифорнийского технологического института Ричарда Фейнмана, прочитанной 29 декабря 1959 г. Опубликованные в феврале 1960 г. материалы лекции большинством современников были восприняты как фантастика или шутка. Сам же Фейнман говорил, что в будущем, научившись манипулировать отдельными атомами, человечество сможет синтезировать всё, что угодно: «Ни один физический или химический закон не мешает нам менять взаимное положение атомов...», т.е. использовать атомы как обыкновенный строительный материал, что-то вроде кирпичей или, в лучшем случае, узлов и деталей машин.

Наиболее актуальной оставалась задача разработки и создания инструментального (метрологического) оборудования для изучения атомного строения конструкционных материалов на наноуровне.

В 1964 г., спустя шесть лет после изобретения интегральной схемы, Г. Э. Мур, почетный президент и один из основателей американской корпорации “Intel” (сокр. от “*Integrated Electronics Technologies Incorporated*”), выдвинул предположение, что число транзисторов на кристалле будет удваиваться каждые два года. Это наблюдение получило название первого закона Мура. Показав зависимость роста производительности запоминающих микросхем от сроков их изготовления, он обнаружил закономерность: новые модели микросхем каждый раз появлялись через приблизительно равные промежутки времени (18...24 месяца). При этом их ёмкость возрастала каждый раз примерно вдвое.

Американский физик Р. Янг, работавший в Национальном бюро стандартов, в 1966 г. предложил пьезоэлектрическое управляющее устройство (пьезодвигатель), применяемый сегодня в сканирующих туннельных микроскопах и для позиционирования наноинструментов (поиска нужных объектов на изучаемой поверхности).

В это же время Д. Джонс теоретически конструировал замкнутые сфероидальные клетки из своеобразно свернутых графитовых слоев. Было показано, что объектом, внедренным в гексагональную решетку обычного графита и приводящим к образованию сложной искривленной поверхности, может быть пятиугольник, а физхимик-органик Е. Осава предположил существование полой, высокосимметричной молекулы C_{60} , со структурой в виде усеченного икосаэдра, похожей на футбольный мяч.

В 1968 г. исполнительный вице-президент компании «Белл» А. Чо и сотрудник отделения исследования полупроводников Д. Артур обосновали теоретическую возможность использования нанотехнологий в решении задач обработки поверхностей и достижения атомной точности при создании электронных приборов.

Р. Янг в 1971 г. предложил идею прибора “*Topografiner*”, послужившего прообразом зондового микроскопа. Однако по экономическим причинам вскоре работы над прибором были прекращены.

В 1972 г. Р. Янг сумел осуществить перемещение (и позиционирование) объектов в трех направлениях с точностью до 0,01 ангстрема ($\text{\AA}$) ($1 \text{ нм} = 10 \text{ \AA}$), применив перемещающие устройства на базе пьезоэлектриков. Со времени создания пьезодвигателя прошло более пяти лет. Длительные сроки разработки подобных устройств объясняются тем, что наблюдение за атомарными структурами приводит к изменению их состояния, поэтому требовались качественно новые подходы, не разрушающие исследуемое вещество.

В 1973 г. российские ученые Д. А. Бочвар и Е. Г. Гальперин сделали первые теоретические квантово-химические расчеты наномолекулы фуллерена и доказали ее стабильность.

Современный вид идеи нанотехнологии начали приобретать в 1980-е гг. в результате исследований К. Э. Дрекслера, работавшего в лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института (США).

Дрекслер выдвинул концепцию универсальных молекулярных роботов, работающих по заданной программе и собирающих любые объекты (в том числе и себе подобные) из подручных молекул. Всё это также сначала воспринималось как научная фантастика. Ученый

уже тогда довольно точно предсказал немало грядущих достижений нанотехнологий, которые с 1989 г. сбываются, причем часто со значительным опережением даже его прогнозов.

Далее будут рассматриваться представления, сформировавшиеся в более поздних работах К. Э. Дрекслера и его последователей — Р. А. Фрейтаса, Р. Меркле и ряда других.

Физик Н. Танигучи (*Taniguchi*) из Токийского университета в 1974 г. впервые предложил термин *нанотехнология* — технология объектов, размеры которых порядка 10^{-9} м (атомы, молекулы), включающая процесс разделения, сборки и изменения материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой.

В 1975 г. немецкие ученые-ботаники из Боннского университета (ФРГ) В. Бартхлотт и К. Найнхус (*Neinhuis*) обнаружили и запатентовали явление самоочистки поверхностей некоторых растений (*Lotus-effect*[®]), а также тот факт, что этот феномен протекает в наноструктурированных поверхностных областях.

Весной 1981 г. немецкие физики Г. К. Бинниг и Э. Руска, а также швейцарец Г. Рорер из Цюрихской лаборатории компании “IBM” (сокр. от англ. “*International Business Machines Corporation*”) испытали растровый туннельный микроскоп (Нобелевская премия, 1986 г.). Сканирующий туннельный микроскоп позволил построить трехмерную картину расположения атомов на поверхностях проводящих материалов. При движении острия иглы микроскопа над поверхностью кристалла, состоящего из кальция, иридия и олова, они смогли измерить неровности высотой в один атом. С помощью туннельного микроскопа стало возможным «захватить» атом с токопроводящей поверхности и поместить его в нужное место, т.е. манипулировать атомами, а, следовательно, непосредственно собирать из них любой предмет, любое вещество.

Главной проблемой в исследовании были фоновые помехи: острие микроскопа, позиционировавшееся с точностью до долей атома, сбивалось от малейших шумов и вибраций даже вне лаборатории. Кроме того, сканирующий туннельный микроскоп позволяет исследовать нанообъекты только на электропроводной подложке.

Современные сканирующие микроскопы позволяют различать по вертикали над поверхностью размер около 0,01 нм (1/10 диаметра самого наименьшего атома — атома водорода), по горизонтали — около 0,2 нм. По сути, это уже не микроскопы, а наноскопы.

В период с 1982 по 1985 гг. немецкий профессор Г. Гляйтер, изучавший структуры различных конструкционных материалов, предложил концепцию наноструктуры твердого тела.

В 1985 г. коллектив ученых в составе английского астрофизика, химика Г.В. Крото из Сассекского университета, американских химиков Р. Ф. Кёрла и С.К. О’Брайена и под руководством Р. Э. Смолли в Университете Райса (США) получили новый класс соединений — фуллерены и исследовали их свойства (Нобелевская премия, 1996 г.). Инициатором поиска был Крото, который изучал лазерное испарение и масс-спектроскопию малых углеродных кластеров.

В результате взрыва графитовой мишени лазерным пучком и исследования спектров паров графита была обнаружена молекула фуллерена C_{60} . Грани 60-атомного фуллерена — это 20 почти идеальных правильных шестиугольников и 12 пятиугольников. Позднее удалось получить фуллерены из 76, 78, 84, 90 и даже из нескольких сотен атомов углерода. Ученые также впервые сумели измерить объект размером 1 нм.

В том же 1985 г. немецкий физик К. фон Клитцинг получил Нобелевскую премию за открытие в 1980 г. квантового эффекта Холла. Им установлено, что в сильных магнитных полях в плоском проводнике (т.е. в квазидвухмерном электронном газе) начинают сказываться квантовые эффекты, что приводит к квантовому эффекту Холла.

В 1986 г. Г. Бинниг разработал сканирующий атомно-силовой микроскоп (АСМ), который позволял «увидеть» любые объекты, над которыми двигалась игла датчика. Такой микроскоп позволил, в отличие от туннельного микроскопа, осуществлять взаимодействие с любыми объектами, а не только с токопроводящими материалами.

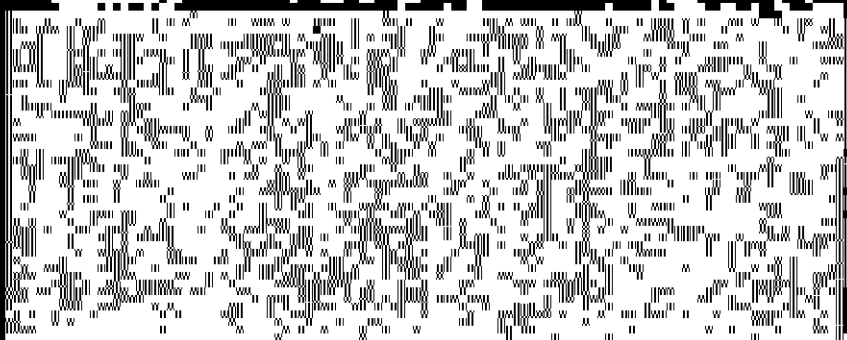
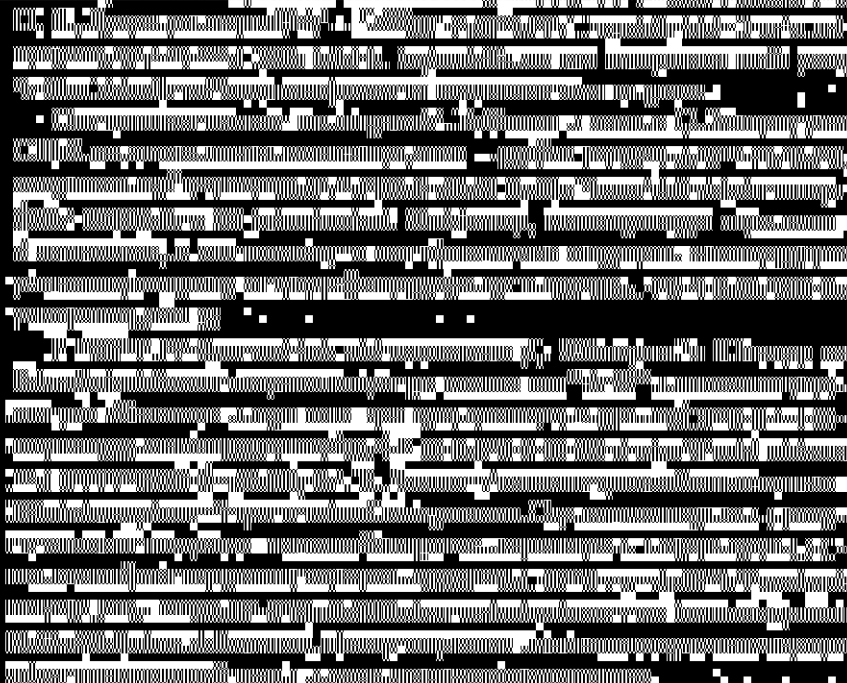
К 1986 г. в лабораториях мира работали уже не менее 40 сканирующих туннельных микроскопов (СТМ).

Термин *нанотехнология* стал популярен также в 1986 г. после выхода в свет знаменитой книги К. Э. Дрекслера «Машины творения: наступающая эра нанотехнологий» (*“Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology”*) и последовавшей за ней дискуссии. Несколько ранее им был опубликован ряд статей по этой проблеме, но они не привлекли внимания научной общественности. Оказалось, однако, что этот термин ранее уже был предложен Н. Танигучи, который понимал под этим любые субмикронные технологии. Для обозначения совокупности методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении, Дрекслер предложил термин *молекулярная нанотехнология*.

В настоящее время понятие *нанотехнология* включает в себя не только совокупность методов и способов синтеза, сборки, структурообразования и модифицирования материалов, направленных на со-

здание материалов и систем с новыми свойствами, обусловленными проявлением наномасштабных (на уровне атома и молекулы) явлений и факторов, но и систему знаний, навыков, умений, аппаратурное, материаловедческое, информационное обеспечение процессов и технологических операций.

В научно-исследовательском институте



В

Дальнейшие работы, в том числе российских ученых, показали возможность валентного «закрепления» атомов на различных поверхностях без какого-либо применения криогенной техники.

Первый способ искусственного получения и выделения твердого кристаллического фуллера был предложен в 1990 г. В. Кречмером и Д. Хафманом с коллегами в Институте ядерной физики в г. Гейдельберге (Германия).

Углеродные нанотрубки открыл в 1991 г. японский исследователь С. Ииджима (*Iijima*) из компании “NEC” (сокращение от англ. “Nippon Electric Corporation”). В поисках фуллеренов он изучал на полярном ионном микроскопе осадок (сажу), который образуется на катоде, когда распыляется графит при разряде вольтовой дуги в атмосфере гелия. Его заинтересовал неприглядного вида серый «обрубок» диаметром 0,8 нм, вырастающий на катоде. Он оказался состоящим из странных графитовых нанотрубок с угольно-черной сердцевинкой (подобной карандашу), или как бы закрытых мини-туннелей, построенных из особых видов сажи. Электронная микроскопия осадка показала наличие протяженных полых объектов диаметром несколько десятков нанометров. Цилиндрические стенки цилиндров составляли сверхустойчивую структуру из шестигранных колец углерода, по краям закрытых полусферическими крышечками из семи- или восьмигранников. Так были открыты нанотрубки и наноконусы.

Следует отметить, что теоретическую возможность образования цилиндрической нанотрубки предсказал еще в 1977 г. физик Ю. М. Корнилов из г. Харькова, а за несколько месяцев до их реального синтеза мнение об их существовании было высказано одновременно американцем Дж. Минтимиром и русским ученым Л. Чернозатонским.

В США в 1991 г. начала разрабатываться первая программа по изучению проблем нанотехнологии Национального научного фонда. Аналогичную программу начали развивать в Японии по поручению правительства. Была намечена серия проектов, направленных на разработку приборов нанометрового размера, и самым значительным из них стал проект “Angstrom Technology Project” с объемом финансирования 185 млн. долл. Он был рассчитан на 10 лет, в его реализации участвовало до 80 фирм. Была проведена реорганизация четырех министерских лабораторий в исследовательском центре «Цукуба», а также создан новый междисциплинарный центр по исследованиям в данной области.

В 1992 г. в природном углеродном минерале — шунгите (такое название минерал получил от названия поселка Шуньга в Карелии) были обнаружены природные фуллерены.

В дальнейшем различные наночастицы и наноструктуры обнаруживались во многих природных материалах, таких как лед, метеориты и даже на поверхностях обшивки орбитальных станций.

В своей следующей не менее известной книге «Наносистемы» (*"Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation"*), вышедшей в свет в 1992 г., Э. Дрекслер на научном уровне рассмотрел задачи практического применения молекулярных нанотехнологий по существу в новом научно-практическом направлении, которое следует назвать «практической нанотехнологией».

Эти и другие исследования дали мощный толчок к началу применения нанотехнологических методов в промышленности. В 1994 г. стали появляться первые коммерческие материалы на основе наночастиц — нанопорошки, нанопокртия, нанохимические препараты и т.д. С этого времени начинается бурное развитие прикладной нанотехнологии.

С 1995 г. из пяти направлений научных программ по нанотехнологиям первостепенным остается создание функциональных приборов на основе наноструктур. Во Франции открылся клуб нанотехнологов, объединяющий ученых и промышленников различных отраслей. В Великобритании начали издаваться первые специализированные журналы «Нанотехнология» и «Нанобиология», в которых публикуется множество научных работ, посвященных нанотехнологическим комплексам, их применению для конструирования нанороботов с целью их применения не только на Земле, но и в космосе.

В 1997 г. в Великобритании создан первый в Европе Институт наноструктурных материалов. Во многих институтах мира (США, Германии, Японии, Англии, Франции, Италии, Швейцарии, Израиля и др.) создаются лаборатории и отделы наноструктур, которые возглавляют известные ученые.

На 5-й Форсайтовской конференции Э. Дрекслер заявил, что, по его убеждению, к 2020 г. станет возможной промышленная сборка наноустройств из отдельных атомов.

В 1998 г. Р. Лафлин, Х. Штернер, Д. Цуи удостоиваются Нобелевской премии за открытие дробного эффекта Холла, заключающегося в том, что в очень сильных магнитных полях наблюдается кардинальная перестройка внутренней структуры двумерной электронной жидкости.

Профессор Высшей технической школы в г. Делфте (Нидерланды) С. Деккер создал транзистор на основе нанотрубок, используя их в качестве молекул. Для этого ему пришлось первым в мире измерить электрическую проводимость такой молекулы.

В этом же году появляются первые технологии создания нанотрубок длиной 300 нм.

В Японии началась разработка программы *"Astroboy"* по развитию нанoeлектроники, способной работать в условиях космического холода и при температуре в тысячи градусов выше нуля.

Еще через год (в 1999 г.) американские ученые — физик М. Рид (Йельский университет) и химик Д. Тур (Райсский университет) разработали единые принципы манипуляции как одной молекулой, так и их цепочкой.

В 2000 г. немецкий физик Ф. Гиссибл разглядел в кремнии субатомные частицы. Его коллега Роберт Магерле предложил технологию нанотомографии — создания трехмерной картины внутреннего строения вещества с разрешением 100 нм (проект финансировал немецкий автоконцерн «Фольксваген»).

В 2003 г. профессор Ф. Лю из университета Юты (США), используя разработки Гиссибла, с помощью атомного микроскопа построил образы орбит электронов путем анализа их возмущения при движении вокруг ядра.

В Японии действующая с 1999 г. «Национальная программа работ по нанотехнологии» получила высший государственный приоритет «Огато». Проект спонсирует не только государство, но и дополнительно около 60 частных фирм. Кроме данного проекта, в Японии финансируется около десятка проектов, посвященных различным аспектам нанотехнологии — квантовым волнам, флуктуациям в квантовых системах и направленных на исследование и разработку квантовых функциональных схем. Крупнейшими проектами являются *"Atom Craft Project"* и *"Aono Project"*, связанные с атомной сборкой, проект функциональных квантовых приборов и др. Основные разработки проводятся в центре перспективных технологий «Цукуба». По заявлениям руководителей этих проектов, они формируют технологию XXI века и планируют заложить основу для разработки терабитных кристаллов.

Развитие исследований в области наноматериалов и нанотехнологий активно поддерживается правительством США. Так, еще администрацией Б. Клинтона была создана национальная программа исследований нанотехнологий (*National Nanotechnology Initiative*) с целью поддержки долгосрочных исследований и разработок, ведущих к значительным открытиям в области новых наноматериалов, нанoeлектроники, медицины и здравоохранения, энергетики, химической промышленности, биотехнологий, сельского хозяйства, информационных технологий и национальной безопасности.

Рассматривая наиболее весомые достижения российских ученых в области практической нанотехнологии, следует отметить награждение в 2000 г. Нобелевской премией в области физики Ж. И. Алферова и его американских коллег Г. Кремера и Дж. Килби за создание полупроводниковых гетероструктур и интегральных схем.

В России фундаментальные научно-исследовательские работы по нанотехнологии проводятся по нескольким программам. К наиболее крупным из них относятся программа «Физика наноструктур» под руководством академика РАН Ж. И. Алферова и «Перспективные технологии и устройства в микро- и нанoeлектронике» под руководством академика К. А. Валиева.

В Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе под руководством Ж. И. Алферова осуществляются передовые разработки наногетероструктур, получившие международное признание. Ежегодно проводится международная конференция «Наноструктуры: физика и технологии». Значительные результаты нанотехнологических исследований достигнуты в Институте проблем технологии и макроэлектроники РАН под руководством члена-корреспондента РАН В. В. Аристова, а также в Физическом институте имени П. Н. Лебедева РАН под руководством члена-корреспондента РАН Ю. В. Копаева.

Фундаментальные исследования в области химических технологий позволили получить нанокристаллические (НК) и сверхмикрокристаллические (СМК) материалы, обладающие комплексом особых физико-химических и механических свойств. Они могут успешно использоваться в экстремальных условиях эксплуатации — при низких температурах, в зоне интенсивного радиационного излучения, в высоконагруженных конструкциях и агрессивных средах. На основе НК- и СМК-структур можно создавать металлические и интерметаллические материалы с высокими демпфирующими свойствами, высокопрочные и сверхлегкие металлополимерные композиты для применения в постоянных магнитах, высоковольтных контактах, катализаторах и фильтрующих элементах, а также в медицине для изготовления сверхпрочных, сверхлегких, коррозионностойких имплантатов.

В области прикладных нанотехнологических исследований также можно отметить работы, проводимые корпорацией «МДТ» (*“Molecular Device Tools for Nanotechnology”*), созданной в 1991 г. в г. Зеленограде выпускниками Московского физико-технического института (МФТИ). В знак уважения к российскому ученому на сайте дочерней компании *“NT-MDT Co.”* размещена анодно-окислительная литография портрета Ж. И. Алферова, выполненная сотрудником фирмы

А. Алексеевым на сверхтонкой титановой пленке с использованием атомно-силового микроскопа (АСМ) методом локального зондового электрического окисления (рис. 2).

С 2001 г. в США реализуется федеральная программа под названием «Национальная нанотехнологическая инициатива» (*NNI*). В бюджете США на это направление было выделено 270 млн. долл., коммерческие компании вложили в него в 10 раз больше средств. Программа предназначена для координации усилий 23 государственных организаций-участников в области развития нанонауки, наноинженерии и нанотехнологии. Данная программа была одобрена Конгрессом США в ноябре 2000 г., а в 2001 г. реальное финансирование *NNI* превысило запланированные расходы (422 млн. долл.) на 42 млн. долл. В бюджете США на 2004 г. была заложена сумма 849 млн. долл.



Рис. 2. Анодно-окислительная литография портрета Ж. И. Алферова с использованием АСМ (размер изображения $2,0 \times 3,0$ нм)

В Европе более чем в 40 лабораториях проводятся нанотехнологические исследования и разработки, финансируемые как по государственным, так и по международным программам, в частности, по программе НАТО по нанотехнологии. Правительства и частный сектор всё больше осознают нанонауку как источник новых технологий и процветания. Поэтому сфера наноматериалов получает огромные фонды от частных предприятий и правительств.

Для координации процесса становления и развития нанотехнологий в 2002 г. в Европе создана некоммерческая организация Европейская ассоциация нанобизнеса (*ENA*), основная цель которой — содействие развитию сильной и конкурентоспособной европейской промышленности, базирующейся на использовании нанотехнологий. Главная миссия *ENA* заключается в обеспечении профессионального

развития зарождающегося нанобизнеса в Европейском Союзе (ЕС). Государственная поддержка нанотехнологий в европейских странах по данным за 2004 г. составила около 1,3 млрд. долл.

В том же году С. Деккер соединил углеродную трубку с ДНК, получив единый наномеханизм и открыв дорогу развитию бионанотехнологий.

С 3 декабря 2003 г. в США реализуется закон «Об исследовании и развитии нанотехнологий в XXI веке» (*"21-st Century Nanotechnology Research and Development Act"*), направленный на укрепление лидерства в области экономики и техники путем обеспечения устойчивой долгосрочной поддержки исследований в данной сфере.

В соответствии с этим документом пять государственных организаций — Национальный научный фонд, Министерство энергетики, Национальный институт стандартов и технологий, Национальное аэрокосмическое агентство (НАСА), Управление по охране окружающей среды для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области нанотехнологий получили от государства финансирование в размере 3,7 млрд. долл. сроком на четыре года. В эту сумму не входят инвестиции, вкладываемые Министерством обороны США, Министерством национальной безопасности и Национальным институтом здравоохранения.

По данным консалтинговой компании *"Lux Research"*, за 2003 г. общемировые суммарные расходы государственных структур и частных компаний на нанотехнологии достигли 6 млрд. долл., из них 2 млрд. долл. составляло государственное финансирование. В 2004 г. эти расходы выросли до 8,6 и 4 млрд. долл., соответственно. При этом рынок нанотехнологий к 2005 г. достиг 225 млрд. долл. (данные *"Nanobusiness Alliance"* и *"Business Communications Co."*). Большая часть из них (около 10%) в настоящее время приходится на сферу энергетики и нефтепереработки.

В целом, если к началу 2001 г. рынок наноматериалов составлял 555 млн. долл., то в 2005 г. он уже превысил 900 млн. долл.

Международная организация по стандартизации (ISO/TC) в ноябре 2005 г. в Лондоне создала Технический комитет 229 — Нанотехнологии (ISO/TC299), который будет разрабатывать Международные стандарты нанотехнологий по трем основным рабочим группам (WG): WG-1 «Терминология и номенклатура»; WG-2 «Измерение и характеристика»; WG-3 «Здоровье, безопасность и окружающая среда». Также в обязанности этого комитета входит стандартизация методов тестирования физических, химических, структурных и биологических свойств наноматериалов и наноустройств.

Россия предпринимает значительные усилия для развития и интенсификации научно-исследовательских работ в области наноматериалов и нанотехнологий. Министерство образования и науки проводит работы в соответствии с утвержденным Президентом Российской Федерации перечнем критических технологий Российской Федерации (см. приложение 1), объединенных в приоритетное направление «Индустрия наносистем и материалов» по областям: нанотехнологии и материалы; технологии механотроники и создания микросистемной техники; технологии создания биосовместимых материалов; технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов; технологии создания и обработки кристаллических материалов; технологии создания и обработки полимеров и эластомеров; технологии создания мембран и каталитических систем.

По словам вице-премьера правительства России А. Жукова: «Нанотехнологии — это технологии XXI века. И та страна, которая будет их внедрять, будет лидером XXI века...».

В мае 2006 г. в Москве прошла Международная научно-практическая конференция «Нанотехнологии и информационные технологии — технологии XXI века», организованная Министерством образования и науки РФ, Российской академией наук, Московским государственным открытым университетом и др.

На конференции обсуждались разработки в наноэлектронике, нанотехнологии в биологии, медицине и сельском хозяйстве, нанотехнологии для обработки деталей и изделий, получение, свойства и применение наноматериалов.

В декабре 2006 г. в Центре международной торговли (Москва) была проведена III Международная специализированная выставка нанотехнологий и материалов *"NTMEX-2006"*, организованная Департаментом науки и промышленной политики г. Москвы и Московским комитетом по науке и технологиям. Выставка демонстрировала достижения предприятий и научных коллективов в области нанотехнологий и материалов в продвижении их на международный рынок, расширении выпуска конкурентоспособной высокотехнологичной продукции и принципиально новых функциональных материалов с уникальными потребительскими свойствами.

К наиболее значимым международным форумам в области наноиндустрии, проводящимся в 2007 г., следует отнести конференцию *"Nanotechnology — Products and Processes for Environmental Benefit"* («Нанотехнология — продукция и процессы для экологического блага»), которая будет проходить 16 — 17 мая в Королевском обществе (Лон-

дон, Великобритания), где будут представлены научные доклады ведущих ученых мира по проблемам использования нанотехнологий в целях защиты окружающей среды.

Другим не менее важным событием этого года будет являться “EuroNanoForum-2007” («Нанотехнологии в промышленности»), который состоится в Конгресс-центре Дюссельдорфа (Германия) с 19 по 21 июня под эгидой Европейской комиссии по нанотехнологиям. В рамках работы форума пройдет международная конференция по проблемам применения в промышленности новейших достижений в области нанотехнологий, а также будет работать специализированная выставка, где будут представлены достижения передовых фирм-производителей в данной области.

24–25 октября 2007 г. в конференц-центре «Олимпия» (Лондон, Великобритания) пройдет 2-я международная конференция-совещание “Nanoparticles for European Industry II” («Наночастицы для европейской экономики II»).

На первом учредительной совещании, организованном Институтом нанотехнологии в мае 2006 г., были рассмотрены многие вопросы, касающиеся производства и использования наночастиц в экономике европейских государств. Потребность предприятий в новых нанотехнологиях стремительно растет, но остается множество нерешенных вопросов, как для производителей, так и потребителей разработок.

В этом году на конференции будут рассмотрены последние инновационные достижения в производстве и использовании наночастиц, проведены специальные занятия по токсикологии и производственным рискам, предоставлена последняя информация по вопросам законодательного регулирования производства, решены другие проблемы.

В сентябре планируется проведение специальных школ-семинаров по проблемам нанотехнологий в польской столице — Варшаве (“Perspectives of Nanoscience and Nanotechnology”) и в немецком г. Мюнстере (“Nanobiotechnology and Nano-medicine — Ethical, Legal and Social Aspects”), а также ряд международных конференций и выставок в Москве, в том числе в декабре 2007 г. в Здании правительства Москвы IV Международной специализированной выставки нанотехнологий и материалов (“NTMEX-2007”).

Компания «Лаборатория триботехнологии», Институт прикладной нанотехнологии и Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина многие годы совместно работают по проблемам нанотехнологий, разрабатывают, исследуют и выпускают нанопрепараты безразборного сервиса (обслуживания) автотракторной техники, принимают активное участие в работе подобных выставок и конференций.

ГЛАВА 3. ВИДЫ НАНОСТРУКТУР

Окружающий нас мир наполнен разнообразными биологическими нанообъектами. Если размеры бактерий исчисляются микрометрами, то большинство вирусов имеют размеры от 10 до 200 нм. Сердцевина вируса содержит одну отрицательную цепь рибонуклеопротеинов (РНК), состоящую из 8 частей, которые кодируют 10 вирусных белков. Фрагменты РНК имеют общую белковую оболочку, объединяющую их и образующую нуклеопротеид. На поверхности вируса находятся выступы (гликопротеины) — гемагглютинин (названный так из-за способности агглютинировать эритроциты) и нейраминидаза (фермент). Гемагглютинин обеспечивает способность вируса присоединяться к клетке.

Так, вирус гриппа H2N2, вызвавший в 1957 г. эпидемию, в результате которой умерли от 1 до 4 млн. человек, представляет собой сферу диаметром от 80 до 120 нм (рис. 3).

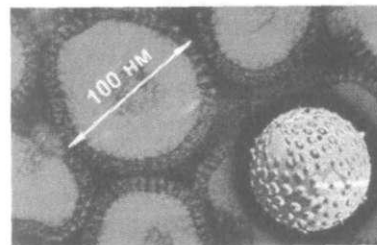


Рис. 3. Вирус гриппа H2N2 (диаметр около 100 нм)

Аминокислоты белков имеют размеры около 1 нм, а сами белки занимают размерную нишу в диапазоне 4...50 нм (табл. 1).

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) имеет структуру упакованной двойной наноцепи, в которой две нуклеотидные наноцепи закручены одна вокруг другой с периодом 3,4 нм и диаметром 2 нм (рис. 4).

Таблица 1. Размеры некоторых биологических объектов

Объект	Вещество	Размер, нм
Аминокислота	Глицин (наименьшая из аминокислот)	0,42
	Триптофан (наибольшая из аминокислот)	0,67
Нуклеотид	Цитозин (наименьшая из аминокислот, входящих в ДНК)	0,81
	Гуанинфосфат (наибольшая из аминокислот, входящих в ДНК)	0,86
	Аденозинтрифосфат (АТФ, энергетический источник клетки)	0,95
Молекула	Хлорофилл растений	1,1
Белки	Инсулин человека (полипептидный гормон)	2,2
	Эластин (строительный материал клеток)	5,0
	Гемоглобин (переносчик кислорода)	7,0
	Альбумин (яичный белок)	9,0
	Липопротеин (переносчик холестерина)	20,0
	Рибосома (синтезатор белка)	30,0
	Фибриноген (фермент, свертывающий кровь)	50,0
Вирусы	Вирус человеческого гриппа H2N2	100,0
	Вирус табачной мозаики (длина)	120,0
	Бактериофаг T ₂	140,0
Бактерии	Кишечная палочка <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	8000

Самым ярким и простым примером искусственного наноматериала является мыльный раствор, обладающий моющим и дезинфицирующим действием. В нем образуются наночастицы – мицеллы, представляющие собой частицы дисперсной фазы золь (коллоидного раствора), окруженные слоем молекул или ионов дисперсионной среды. Мыло – чудо нанотехнологии, являвшееся таковым, когда никто и не подозревал о существовании наночастиц. Однако этот наноматериал не является главным материалом для развития нанотехнологий.

Самым простым наноматериалом могут являться простые фрагменты вещества, измельченные до наноразмерного состояния или по-

лученные каким-то другим физическим или химическим способом, имеющие хотя бы в одном измерении протяженность не более 100 нм и проявляющие качественно новые свойства (физико-химические, функциональные, эксплуатационные и др.).

Реально диапазон рассматриваемых объектов гораздо шире – от отдельных атомов (размером менее 0,1 нм) до их конгломератов и органических молекул, содержащих свыше 10^9 атомов и имеющих размеры даже более 1 мкм в одном или двух измерениях. Принципиально важно, что они состоят из небольшого числа атомов и, следовательно, в них уже в значительной степени проявляются дискретная атомно-молекулярная структура вещества, квантовые эффекты, энергетика развитой поверхности наноструктур.



Рис. 4. Структура молекулы ДНК

Такие структуры обладают сочетанием ряда параметров и физических явлений, недостижимых для традиционных моно- и поликристаллических состояний материала. Уменьшение размера кристаллов в материале (в первую очередь в металлах и сплавах) может приводить к существенному изменению их свойств. Установлено, что эти изменения проявляются, когда средний размер кристаллических зерен не превышает 100 нм, а наиболее ярко выражены и эффективны при размере зерен менее 10 нм.

При этом они могут иметь сферическую (равноразмерную) форму, быть вытянуты в виде нанопроволоки или нановолокна, либо представлять собой наночешуйки (пластинки). Главное, чтобы одно из измерений (диаметр шариков или толщина чешуек) не превышало 100 нм.

На рис. 5 показаны сферические наноразмерные структуры кремния с 84% частиц диаметром 44 нм и 16% частиц диаметром 14 нм. Этот наноразмерный кремний получен при разложении газообразного моносилана (кремневодорода) SiH_4 , из которого получают чистый полупроводниковый кремний в инертной среде при резонансном поглощении лазерного излучения.

На рис. 6 представлены нановолокна политетрафторэтилена (ПТФЭ), полученные по электронно-лучевой технологии производства ультрадисперсного ПТФЭ. Диаметр нановолокон — 40...60 нм при длине несколько микрометров.

В Городском университете Гонконга группа ученых под руководством Ш. Ли создала самое миниатюрное нановолокно в мире (его диаметр 1,3 нм), используя методику выращивания с помощью оксида. В экспериментах диаметр нановолокна варьировался от нескольких нанометров до десятков нанометров. Получившееся с помощью данного метода волокно состояло из монокристаллической кремниевой сердцевины и оксидной оболочки размером примерно в одну треть диаметра. Для получения нановолокна, устойчивого к окислению, исследователи удалили оксидное покрытие и ограничили рост поверхности волокна с помощью водорода.

Для определения ширины запрещенной зоны нановолокна использовалась сканирующая туннельная спектроскопия. Обнаружилось, что ширина зоны растет с уменьшением диаметра волокна — от 1,1 эВ при диаметре 7 нм до 3,5 эВ при диаметре 1,3 нм. Это согласуется с существующими теоретическими моделями и служит экспериментальным подтверждением влияния квантовомеханических эффектов на плотность электронных состояний в кремниевых нановолокнах. Ученые планируют использовать новый наноматериал в светодиодах и лазерах.

Другой формой наночастиц могут быть слоистые наночешуйки также толщиной до 100 нм. На рис. 7 представлены наночастицы монтмориллонита (глинистого минерала подкласса слоистых силикатов), модифицированного фторуглеродными соединениями, имеющего слоистое строение и применяемого в качестве реологических добавок к жидким полимерным системам, например, для создания препаратов автохимии.

Одним из главных химических элементов, которым интересуются ученые в области нанотехнологий, является углерод и его аллотропные формы. До недавнего времени было известно, что углерод образует четыре аллотропных формы — алмаз, графит, карбин (получен искусственно) и лонсдейлит (впервые найден в метеоритах, затем по-

лучен искусственно). Рассмотрим структуру двух аллотропных формы углерода — графита (рис. 8) и алмаза (рис. 9а).

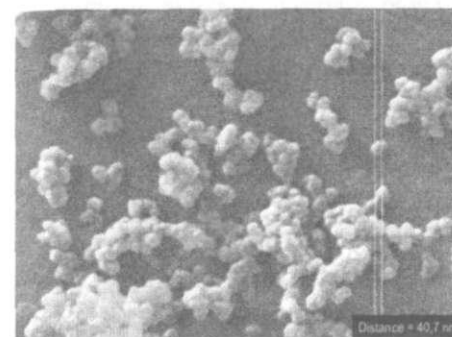


Рис. 5. Наноразмерные частицы кремния диаметром 14...50 нм (distance = 40,7 nm — ориентировочная шкала размеров)

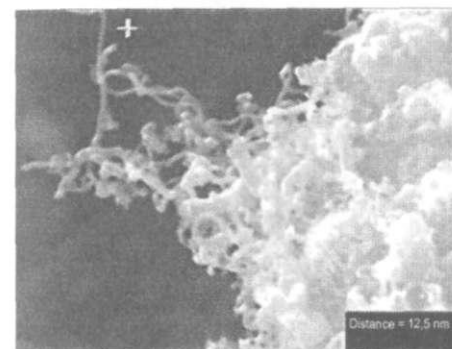


Рис. 6. Нановолокна политетрафторэтилена (диаметр нановолокон 40...60 нм)



Рис. 7. Наноразмерные слоистые частицы монтмориллонита, модифицированного фторуглеродными соединениями

Атомы углерода в кристаллической структуре графита связаны между собой прочными ковалентными связями и формируют шестиугольные кольца, образующие, в свою очередь, прочную и стабильную сетку, похожую на пчелиные соты. Сетки располагаются друг над другом слоями. Расстояние между атомами, расположенными в вершинах правильных шестиугольников, равно 0,142 нм, между слоями — 0,335 нм. Слои слабо связаны между собой. Такая структура определяет специфические свойства графита: низкую твердость и способность легко расслаиваться на мельчайшие чешуйки, что обусловило его применение в различных смазочных материалах в качестве противозадирного и противоизносного компонента.

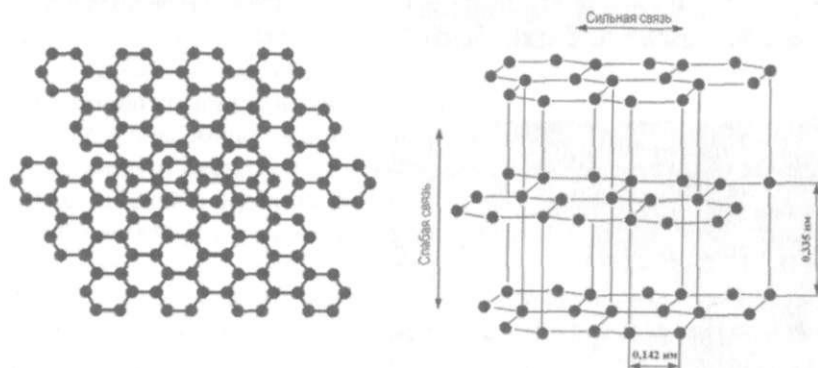


Рис. 8. Структурная форма графита

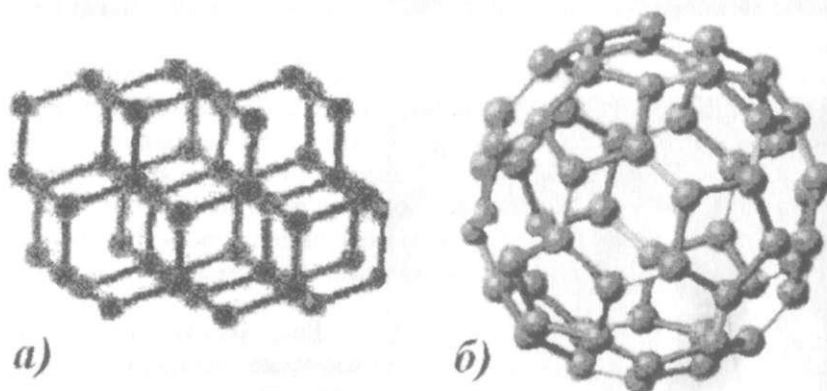


Рис. 9. Аллотропные формы углерода
а) решетка алмаза; б) молекула фуллерена C_{60}

В структуре алмаза каждый атом углерода расположен в центре тетраэдра, вершинами которого служат четыре ближайших атома. Соседние атомы связаны между собой ковалентными связями. Такая структура определяет свойства алмаза как минерала с самой высокой твердостью из всех известных в природе материалов.

В 1967 г. в Аризонском кратере (США), образовавшемся от падения гигантского метеорита, вместе с микроскопическими алмазами были найдены и коричневато-желтые кристаллы ранее неизвестной гексагональной формы углерода. В честь английской женщины-ученого в области кристаллографии К. Лонсдейл эта аллотропная форма углерода получила название лонсдейлит. Позже лонсдейлит был получен искусственным путем, посредством термического распада полигидрокарбина в среде аргона при атмосферном давлении и нагреве выше температуры 110°C.

Известны и другие формы углерода, такие как аморфный углерод, белый углерод (чароит) и т.д., но все эти формы являются композитами, то есть смесью малых фрагментов графита и алмаза.

В настоящее время стала известна еще одна аллотропная форма углерода, так называемый фуллерен (многоатомные молекулы углерода C_n).

Как уже отмечалось в главе 2, в 1985 г. при исследовании масс-спектров паров графита после лазерного облучения твердого образца была обнаружена молекула фуллерена C_{60} . Название фуллерена дано этому соединению в честь известного американского архитектора — авангардиста, философа, поэта и инженера Р. Б. Фуллера, разработавшего дизайн строительных конструкций, форма которых аналогична форме молекулы фуллерена C_{60} (рис. 9б).

Фуллерен является по существу новой формой углерода. Молекула C_{60} содержит фрагменты с пятикратной симметрией, которые для неорганических соединений природой запрещены. Поэтому следует признать, что молекула фуллерена является органической молекулой, а кристалл, образованный такими молекулами (фуллерит) — это молекулярный кристалл, являющийся связующим звеном между органическим и неорганическим веществом.

Из правильных шестиугольников легко выкладывается плоская поверхность, однако ими не может быть сформирована замкнутая поверхность. Для этого необходимо часть шестиугольных колец разрезать и из разрезанных частей сформировать пятиугольники. В фуллерене плоская сетка шестиугольников (графитовая сетка) свернута и сшита в замкнутую сферу. При этом часть шестиугольников преобразуется в пятиуголь-

ники. Образуется структура — усеченный икосаэдр, который имеет 10 осей симметрии третьего порядка, шесть осей симметрии пятого порядка. Каждая вершина этой фигуры имеет трех ближайших соседей. Каждый шестиугольник граничит с тремя шестиугольниками и тремя пятиугольниками, а каждый пятиугольник граничит только с шестиугольниками. Каждый атом углерода в молекуле C_{60} находится в вершинах двух шестиугольников и одного пятиугольника и принципиально неотличим от других атомов углерода. Атомы углерода, образующие сферу, связаны между собой сильной ковалентной связью. Толщина сферической оболочки 0,1 нм, радиус молекулы C_{60} — 0,357 нм. Длина связи С—С в пятиугольнике — 0,143 нм, в шестиугольнике — 0,139 нм.

Молекулы высших фуллеренов C_{70} , C_{74} , C_{76} , C_{84} , C_{164} , C_{192} , C_{216} также имеют форму замкнутой поверхности.

Фуллерены с $n < 60$ оказались неустойчивыми, хотя из чисто топологических соображений наименьшим из возможных фуллеренов является правильный додекаэдр C_{20} .

Кристаллический фуллерен, который был назван фуллеритом, имеет гранецентрированную кубическую (ГЦК) решетку пространственной группы (Fm3m) с параметром кубической решетки $a_0 = 1,42$ нм, расстоянием между ближайшими соседями 1 нм и числом ближайших соседей в ГЦК решетке фуллерита равным 12.

Между молекулами C_{60} в кристалле фуллерита существует слабая ван-дер-ваальсова связь. Методом ядерного магнитного резонанса было доказано, что при комнатной температуре молекулы C_{60} вращаются вокруг положения равновесия с частотой 10^{12} с^{-1} . При понижении температуры вращение замедляется. При 249 К в фуллерите наблюдается фазовый переход первого рода, при котором гранецентрированная кристаллическая решетка переходит в простую кубическую. При этом объем фуллерита увеличивается на 1%. Кристалл фуллерита имеет удельную плотность 1,7 г/см³, что значительно меньше плотности как графита (2,3 г/см³), так и алмаза (3,5 г/см³).

Молекула C_{60} сохраняет стабильность в инертной атмосфере аргона приблизительно до температур порядка 1700 К. В присутствии кислорода уже при 500 К наблюдается значительное окисление с образованием СО и СО₂. При комнатной температуре окисление происходит при облучении фотонами с энергией всего в 0,55 эВ, что значительно ниже энергии фотонов видимого света равной 1,54 эВ. Вследствие этого чистый фуллерит требует хранения в темноте. Процесс, продолжающийся несколько часов, приводит к разрушению ГЦК-решетки фуллерита и образованию неупорядоченной структуры, в которой на

исходную молекулу C_{60} приходится 12 атомов кислорода. При этом фуллерены полностью теряют свою форму.

По сообщению *physorg.com* со ссылкой на онлайн-публикацию в “*Proceedings of the National Academy of Sciences*”, первый металлический аналог фуллерена в 2006 г. синтезирован в США в Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории Министерства энергетики. При этом теоретические расчеты проводила группа профессора Сяо Чэн Цзэна из Университета Небраски в г. Линкольн. Самая малая из полученных молекул состоит всего из 16 атомов золота и по виду больше похожа на драгоценный камень, чем на шар (рис. 10) — по существу, это первые металлические полые структуры.

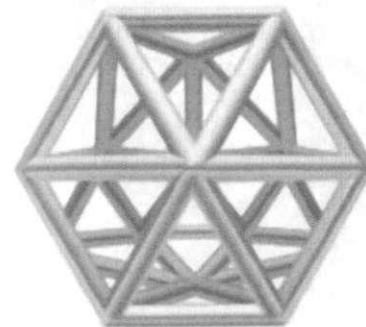


Рис. 10. Структура наночастицы — золотого фуллерена Au_{16} (рис. с сайта eurekalert.org)

Минимальное число атомов углерода, необходимых для создания полый замкнутой молекулы — 60. Для создания аналога из золота потребовалось намного меньше атомов, отмечает Лайшэн Ван — руководитель исследования, профессор физики из Вашингтонского университета.

По словам профессора Вана, синтезированные ими молекулы состоят из 16, 17 и 18 атомов золота. Они образуют треугольники, из которых и формируются в дальнейшем более сложные структуры.

Профессор Ван пояснил, что молекулу Au_{16} можно получить за счет изъятия четырех угловых атомов золота из неполой структуры Au_{20} с последующим подогревом оставшейся структуры. Когда сообщенная системе энергия превышает энергию активации, необходимую для перестройки, атомы сами выстраиваются в наиболее энергетически выгодную структуру.

Наряду со сфероидальными углеродными структурами могут образовываться также и протяженные цилиндрические структуры, так называемые нанотрубки (*carbon nanotube, CNT*), открытые в какой-

то степени случайно в 1991 г. С. Ииджима и отличающиеся широким разнообразием физико-химических свойств.

Идеальная углеродная нанотрубка представляет собой цилиндр, полученный при сворачивании графеновой плоскости, т.е. поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода (рис. 11).

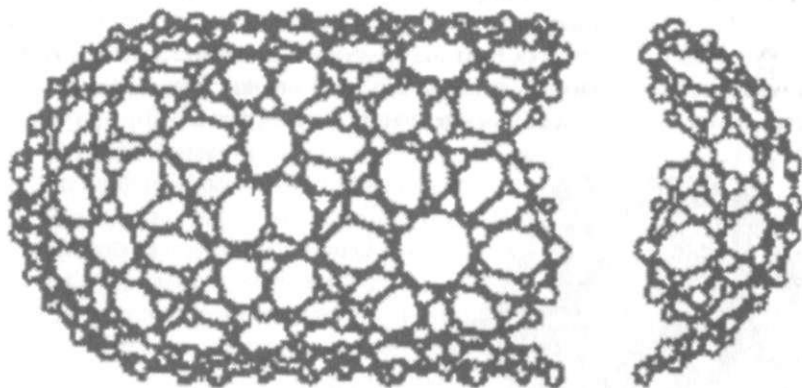


Рис. 11. Идеализированная модель однослойной нанотрубки

Графен — развернутая в двумерный лист нанотрубка. Этот наноматериал представляет собой пленку из атомов углерода, составляющую одну молекулу. Материал назвали «двумерным», так как он толщиной в один атом углерода. Исследователи назвали новый материал двумерным фуллереном. Графен стабилен, очень гибок, прочен и проводит электричество. Благодаря уникальным свойствам углерода в пространственной решетке графена, он характеризуется высокой мобильностью электронов, что делает графен очень перспективной основой нанoeлектронных устройств.

В отличие от фуллеренов, нанотрубки могут содержать несколько таких слоев. Наблюдения, выполненные с помощью электронных микроскопов, показали, что большинство нанотрубок состоят из нескольких графеновых слоев, либо вложенных один в другой, либо навитых на общую ось. Такие многослойные структуры получили названия «луковичных структур» — онионов (англ. *onion* — луковица). Это очень сложные структуры, которые могут даже и не иметь симметрии. Большие куски этих «гигантских» фуллеренов графитизированы, а расстояние между слоями близко к расстоянию между углеродными

слоями в графите (0,33 нм). Подобные структуры формируются вложением друг в друга как в матрешке молекул C_{60} , C_{240} , C_{960} , C_{1500} , C_{2160} , C_{2940} ... Тем не менее, для подобных структур имеются предпочтительные виды симметрий — это либо сферическая симметрия, либо симметрия относительно оси пятого порядка. Чем большие размеры имеет частица, тем более ярко должен быть выражен этот эффект. Подобные структуры образуются в случае замещения структур с ненулевой кривизной (пятиугольники в обычных фуллеренах) на графитовые слои.

Многослойные нанотрубки отличаются от однослойных большим разнообразием форм и конфигураций. Поперечная структура у них имеет две разновидности (рис. 12). Одну из них назвали «русской матрешкой», так как она представляет собой коаксиально вложенные друг в друга однослойные цилиндрические нанотрубки. Другая напоминает скатанный рулон или свиток. Для рассмотренных структур среднее расстояние между соседними слоями, как и в графите, составляет 0,335 нм.

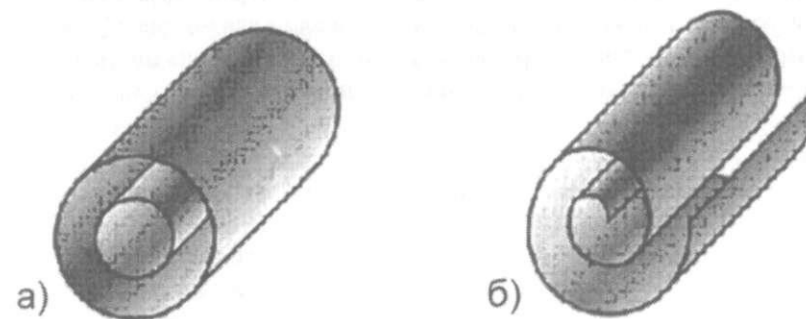


Рис. 12. Модели поперечного сечения многослойных нанотрубок: а) — «русская матрешка»; б) — свиток

Структура однослойных нанотрубок, наблюдаемых экспериментально, во многих отношениях отличается от представленной выше идеализированной картины. Прежде всего, это касается вершин нанотрубки, форма которых, как следует из наблюдений, далека от идеальной полусферы. Такая трубка заканчивается полусферическими вершинами, содержащими, наряду с правильными шестиугольниками, также по шесть правильных пятиугольников. Наличие пятиугольников на концах трубок позволяет рассматривать их как предельный случай молекул фуллеренов, длина продольной оси которых значительно превышает их диаметр.

В настоящее время выяснились совершенно фантастические свойства нанотрубок. По прочности они значительно превосходят железо и близки к алмазу, в то же время по массе они легче пластика. Оставалось научиться делать такие трубки как можно более длинными — их размеры оказались напрямую связаны с прочностью изготавливаемых веществ.

Оказывается, узор однослойной нанотрубки определяет ее электронные свойства: нанотрубки с разными узорами могут быть металлами, полуметаллами и полупроводниками. Они являются прекрасными проводниками электричества и теплоты и могут использоваться в качестве тончайших кабелей, полупроводников или сверхпроводников. Кроме того, они способны испускать электроны, вследствие чего могут найти применение в сверхтонких дисплеях. К тому же открылась возможность собирать из нанотрубок различные наномеханизмы с зацепами и шестеренками.

Нанотрубки обладают и рядом других уникальных возможностей и свойств, которые рассматриваются в последующих главах. При этом углерод является не единственным материалом для нановолокон и нанотрубок. В настоящее время получены нанотрубки из нитрида бора, карбидов бора и кремния, оксида кремния и ряда других материалов.

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР

Для исследования объектов и процессов нанотехнологий, создания наносистем и развития nanoиндустрии было необходимо разработать эффективные способы получения наноструктур, наноматериалов в достаточном (коммерческом или промышленном) количестве.

Исходным сырьем для наноматериалов являются в первую очередь металлы и их оксиды (например, порошки оксида титана, оксида кобальта и др.), монтмориллонит (см. выше), природные и синтетические полимеры. Кроме того, в России имеются ценные отходы производств, переработка которых позволяет получать компоненты, используемые в нанотехнологиях для выпуска продукции с достаточно высокими эксплуатационными свойствами. В частности, речь идет о синтезе нанополимерных композиционных материалов с рекордными физико-химическими и эксплуатационными характеристиками. Наносистемы на основе природных полимеров могут служить в качестве исключительно эффективных носителей биологически активных веществ, сорбентов и других веществ, которые могут быть использованы в медицине, фармации, в решении экологических проблем, связанных с утилизацией токсичных компонентов почвы, воды, атмосферы, в агропромышленном комплексе.

Графит является оптимальным материалом для получения фуллеренов благодаря тому, что его структура имеет много общего со структурой фуллеренов, однако в настоящее время ведутся интенсивные поиски и других способов синтеза, в которых исходным сырьем служат, например, смолистые остатки пиролиза углеродосодержащих материалов, нафталина и ряда других материалов.

В табл. 2 представлены некоторые наиболее распространенные способы получения наноматериалов.

Известны работы, в которых электрическую дугу между электродами пропускают в среде растворителя — толуола и бензола, при этом, как показывает последующий масс-спектрометрический анализ, растворитель заполняется кластерами углерода с числом атомов, меняющимся от 4 до 76.

Газофазный метод (при 4000°C и выше), который обычно используется для получения фуллерена C_{60} СНТ, годится только для тех «гостевых» молекул, которые термически стабильны и могут подвергаться сублимации или испарению.

Таблица 2. Основные способы получения наноматериалов

Способ получения	Характеристика способа получения	Получаемые объекты
Фуллереновая дуга	Синтез в плазме дугового разряда между графитовыми электродами	Фуллереновая сажа, углеродные нанотрубки
Газофазный метод	Температура 4000°C и выше для получения фуллерена C_{60} СНТ	«Гостевые» наномолекулы
Каталитическое разложение углеводородов	Продувка по кварцевой трубке с металлическим порошком и температурой 700...1000°C смеси газообразного углеводорода и буферного газа	Углеродные нити, многослойные нанотрубки, металлические частицы, покрытые графитовой оболочкой
Порошковая технология	Метод Гляйтера (газофазное осаждение и компактирование); электроразрядное спекание; горячая обработка давлением; высокие статистические и динамические давления при различных температурах	Металлы, сплавы, химические соединения
Интенсивная пластическая деформация	Равноканальное угловое пресование; деформация кручением; обработка давлением многослойных композитов	Металлы, сплавы

Кристаллизация из аморфного состояния	Обычные и высокие давления	Аморфные металлические покрытия
Пленочная технология	Химическое осаждение покрытий из газовой фазы (CVD); физическое осаждение из газовой фазы (PVD); электроосаждение; золь-гель технология	Металлы, сплавы, полимеры, химические соединения

Наиболее эффективный способ получения фуллеренов основан на термическом разложении графита. Используется как электролитический нагрев графитового электрода, так и лазерное облучение поверхности графита. На рис. 13 показана простейшая схема установки для получения фуллеренов, предложенная В. Кретчмером.

Распыление графита осуществляется при пропускании через электроды тока с частотой 60 Гц, сила тока от 100 до 200 А, напряжение 10...20 В. Регулируя натяжение пружины, можно добиться, чтобы основная часть подводимой мощности выделялась в дуге, а не в графитовом стержне. Камера заполняется гелием с давлением 100 торр (то же, что 1 миллиметр ртутного столба). Эффективность испарения графита в этой установке может достигать 10 г/В. При этом поверхность медного кожуха, охлаждаемого водой, покрывается продуктом испарения графита, т.е. графитовой сажой. Если получаемый порошок соскоблить и выдержать в течение нескольких часов в кипящем толуоле, то получается темно-бурая жидкость. При выпаривании ее во вращающемся испарителе получается мелкодисперсный порошок, его масса составляет не более 10% от массы исходной графитовой сажи. В нем содержится до 10% фуллеренов C_{60} (90%) и C_{70} (10%). Этот метод получения получил название «фуллереновая дуга». В описанном способе гелий играет роль буферного газа. Атомы гелия наиболее эффективно по сравнению с другими атомами «гасят» колебательные движения возбужденных углеродных фрагментов, препятствующих их объединению в стабильные структуры. Кроме того, атомы гелия поглощают энергию, выделяющуюся при объединении углеродных фрагментов. Опыт показывает, что оптимальное давление гелия находится на уровне 100 торр. При более высоких давлениях агрегация фрагментов углерода затруднена.

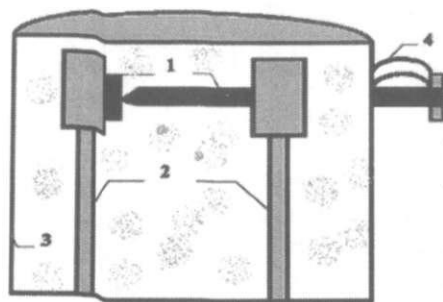


Рис. 13. Простейшая схема установки для получения фуллеренов:

- 1 — графитовые электроды;
2 — охлаждаемая медная шина;
3 — медный корпус; 4 — упругие пластины (пружины)

Изменение параметров процесса и конструкции установки ведет к изменению эффективности процесса и состава продукта. Качество продукта подтверждается как масс-спектрометрическими измерениями, так и другими методами (ядерный магнитный резонанс, электронный парамагнитный резонанс, ИК-спектроскопия и др.)

Для получения углеродных нанотрубок в настоящее время разработана более совершенная технология — синтез в плазме дугового разряда между графитовыми электродами в атмосфере гелия. Типовая схема электродуговой установки для изготовления наноматериалов, содержащих как нанотрубки и фуллерены, так и другие углеродные образования, например конусы, показана на рис. 14.

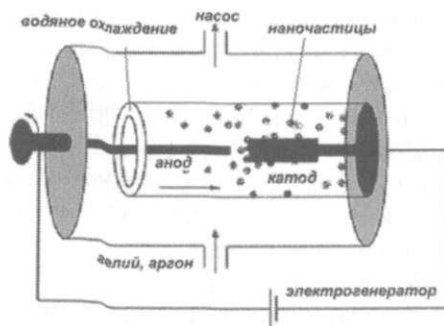


Рис. 14. Схема установки для получения нанотрубок электродуговым методом

Дуговой разряд загорается и находится в камере с охлаждаемыми водой стенками при давлении буферного газа (гелий или аргон) порядка 500 торр. Обычно межэлектродное расстояние, устанавливаемое автоматически, составляет 1...2 мм. Для получения максимального количества нанотрубок ток дуги должен составлять 65...75 А, на-

пряжение — 20...22 В, а температура электронной плазмы — порядка 4000 К. В этих условиях графитовый анод интенсивно испаряется, поставляя отдельные атомы или пары атомов углерода внутрь камеры, из которых на катоде или на охлажденных водой стенках формируются различные углеродные наноструктуры.

В большинстве случаев на катоде образуется твердый осадок макроскопического размера (в виде плоского пятна диаметром 11...12 мм и толщиной до 1...1,5 мм). Он состоит из наносвязок — нитей длиной 1...3 мкм и диаметром 20...60 нм, содержащих 100...150 уложенных в гексагональную упаковку однослойных или многослойных нанотрубок. Такие связки напоминают связки круглых бревен, которые перевозят на лесовозах, или плоские плоты из бревен на лесосплаве. Нити наносвязок и отдельные нанотрубки часто образуют беспорядочную (а иногда и упорядоченную) сеть, похожую на паутину. Пространство этой паутины заполнено другими компонентами частиц углерода; поскольку электронная плазма дуги неоднородна, не весь графит идет на строительство нанотрубок. Из большей части графитового анода образуются различные наночастицы или даже аморфный углерод, которые можно назвать общим словом — сажа.

Чтобы освободиться от других углеродных образований, осадок подвергают ультразвуковой обработке в какой-либо жидкости: этаноле, толуоле, дихлорэтаноле, бензоле и других неполярных растворителях. В результате диспергирования можно получить как отдельные нанотрубки, так и нерасщепленные наносвязки (в основном C_{60} и C_{70}) с выходом до 10% по массе. Для отделения сажи раствор после диспергирования заливают в центрифугу. То, что остается в жидкости, и есть раствор, содержащий нанотрубки или наносвязки, которые затем используются для исследований и практического использования в нанотехнологии.

Считается, при образовании фуллеренов сначала образуются жидкие кластеры углерода, затем эти кластеры кристаллизуются в фуллерены с испусканием свободных атомов и микрокластеров.

Однако имеются и другие способы образования фуллеренов, например, посредством отжига углеродных кластеров в фуллерены. Эти способы, в отличие от различных моделей «сборки» фуллеренов, не предусматривают определенной структуры для кластеров, которые являются предшественниками фуллеренов.

При абляции (испарении) графита углеродные кластеры образуются в результате конгломерации атомов и микрокластеров, состоящих из нескольких атомов, что хорошо подтверждается расчетами. Образование кластеров в парах углерода может происходить либо как

гомогенная нуклеация (образование зародышей жидкой фазы в метастабильном пересыщенном паре), либо как спиноидальный распад (разделение на фазы вещества, находящегося в термодинамически нестабильном состоянии).

Другая возможность эффективного образования больших углеродных кластеров — конгломерация нескольких кластеров, состоящих из десятков атомов. Такой процесс происходит, например, при абляции высших оксидов углерода. Масс-спектр углеродных кластеров, полученных при абляции сажи, указывает на возможность сосуществования этих двух путей образования больших углеродных кластеров. Этот масс-спектр имеет два максимума в распределении фуллеренов. Первый максимум ($n = 154$) соответствует образованию в результате конгломерации атомов и микрокластеров, второй ($n = 450...500$) — в результате конгломерации кластеров, содержащих десятки атомов. Фуллерены образуются также из изначально больших кластеров, испаренных из материала, содержащего углерод. Это происходит, например, при испарении мелкодисперсной графитовой фольги или вторичной лазерной абляции того же участка поверхности графита.

Если для получения чистого C_{60} в макроколичествах требуется только использование электродугового разрядника, то получение высших фуллеренов требует сложной и дорогостоящей последующей процедуры экстракции, основанной на идеях жидкостной хроматографии. Этот способ позволяет не только отделить, но и накопить более редко встречающиеся фуллерены C_{76} , C_{84} , C_{90} , и C_{94} . Эти процессы идут параллельно получению C_{60} , отделение которого позволяет обогатить смесь высшими фуллеренами (рис. 15).

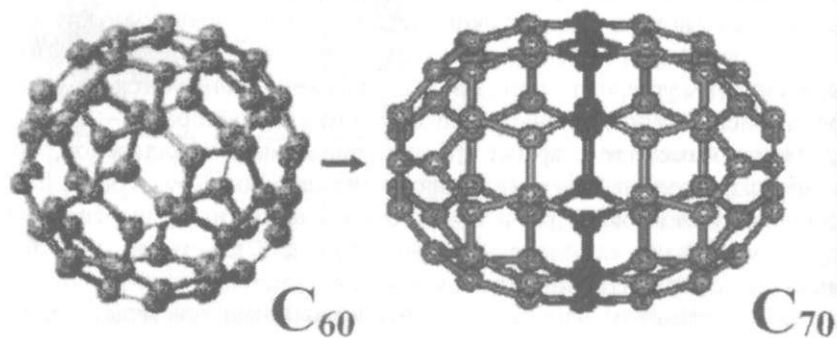


Рис. 15. Получение из фуллерена C_{60} фуллерена C_{70} (более темным цветом выделен добавленный пояс шестиугольников)

Например, при использовании угольного конденсата, полученного путем термического испарения графитового электрода под действием электрической дуги, чистый C_{60} выделялся при обработке смесью гексана с толуолом в соотношении 95:5. Это приводило к вымыванию и последующему выделению чистого фуллерена C_{60} . Увеличение содержания толуола в растворе до 50% позволяет выделить чистый фуллерен C_{70} , а дальнейшее постепенное его увеличение давало четыре желтоватые фракции. Повторное хроматографирование этих фракций на алюминиевой поверхности дает возможность получить достаточно чистые фуллерены C_{76} , C_{84} , C_{90} и C_{94} . Обработка первой из указанных фракций, адсорбированной на алюминиевой поверхности, смесью гексана с толуолом в отношении 95:5 привела к полному растворению молекул C_{70} в смеси. Оставшийся желтоватый конденсат практически полностью состоял из молекул C_{76} , что подтверждается данными жидкостного хроматографического анализа.

Существенные достижения в технологии получения нанотрубок связаны с использованием процесса каталитического разложения углеводородов. На рис. 16 изображена простейшая схема осуществления такого процесса.

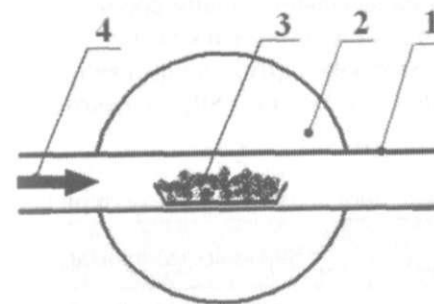


Рис. 16. Схема установки для получения нанотрубок методом химического осаждения:

1 — кварцевая труба; 2 — печь; 3 — тигель с катализатором; 4 — поток буферного газа

В качестве катализатора используется мелкодисперсный металлический порошок, который засыпается в керамический тигель, расположенный в кварцевой трубке. Последняя, в свою очередь, помещается в нагревательное устройство, позволяющее поддерживать температуру в интервале от 700 до 1000°C. По кварцевой трубке продувают смесь газообразного углеводорода и буферного газа, например, атомарного азота.

Типичной является смесь, в которой отношение соединений C_2H_2 к N_2 составляет 1:10. Процесс может продолжаться от нескольких минут до нескольких часов. На поверхности катализатора вырастают

длинные углеродные нити, многослойные нанотрубки длиной до нескольких десятков микрометров с внутренним диаметром от 10 нм и внешним диаметром 100 нм. Имеются также металлические частицы, покрытые многослойной графитовой оболочкой. Как видно, в этом процессе трудно получить однородные нанотрубки, ибо каталитический порошок — слишком неоднородная среда, чтобы получить при выращивании однородную трубку.

В результате многочисленных исследований был найден оптимальный вариант: подложка, на которой нужно выращивать нанотрубки, должна быть пористой с высокой степенью однородности пор, заполненных частицами металлического катализатора. Если размеры частиц и пор совпадают, диаметр вырастающих трубок оказывается практически таким же. Если поры имеют достаточную глубину и поверхностная плотность их достаточно высока, то трубки вырастают строго перпендикулярно поверхности подложки и оказываются в высокой степени однородными.

Таким образом, проблема сводится к приготовлению подложки, поверхность которой была бы пронизана многочисленными глубокими, однородными порами. На их дне должен располагаться металлический катализатор, служащий «основой» на начальной стадии роста трубки. Катализаторами обычно выступают железо, никель и кобальт.

В России производством коммерческих партий наночастиц занимается ряд известных научно-исследовательских центров, некоторые из них приведены в табл. 3.

Таблица 3. Некоторые российские производители наноматериалов

№ п/п	Производитель	Город	Вид нанотехнологии
1	Отраслевая лаборатория (при МИФИ)	Москва	Синтез нанодispersных порошков (углеродных, металлических, оксидных) для снижения температуры спекания топливных таблеток двуокиси урана, для фильтров сверхтонкой очистки, водородных аккумуляторов, антикоррозионных покрытий, магнитных красок для защиты ценных бумаг

2	Институт физической химии РАН	Москва	Тонкие наноструктурированные алмазные пленки
3	Институт физики твердого тела РАН	Черноголовка	Графитовые нановолокна и углеродные нанотрубки, насыщенные 6...6,9% (по массе) водорода
4	Институт электрофизики УрО РАН	Екатеринбург	Получение оксидных нанопорошков
5	Институт физики прочности и материаловедения СО РАН	Томск	Плазменное нанесение наноструктурированных покрытий
6	Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН	Новосибирск	Механохимический синтез наноматериалов; наноконпози́ты на основе твердых материалов с высокой ионной проводимостью для компактных источников электропитания, миниатюрных батареек; наноструктурированные аспирин и серебро

Необходимо отметить, что, несмотря на очевидные успехи хроматографической технологии сепарации и очистки фуллеренов и нанотрубок, проблема получения высших фуллеренов в макроскопических количествах, достаточных для полного и всестороннего исследования их свойств в конденсированном состоянии, в настоящее время далека от решения. Производительность лучших хроматографических установок не превышает нескольких миллиграммов в час, что явно недостаточно для обеспечения исследований, а тем более — для промышленного использования. Стоимость высших фуллеренов на мировом рынке составляет тысячи долларов за грамм, что делает их труднодоступными для многих научных лабораторий.

ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР

Исследования в области нанотехнологий требуют тесной межотраслевой и междисциплинарной кооперации и постоянного обмена результатами научных исследований и практических достижений. Это связано тем, что в этой области тесно пересекаются вопросы и интересы физики, химии и биологии, которые дополняют и обогащают друг друга.

Как уже отмечалось, для исследования, а, следовательно, и для развития нанотехнологий наиболее актуальной является задача разработки и создания инструментального (метрологического) оборудования для изучения атомного строения конструкционных материалов на наноуровне. В настоящее время для подобных особо точных измерений и манипуляций исследователи в основном применяют эффекты квантовой физики.

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) — один из важнейших современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением. Как уже отмечалось, на наш взгляд, несмотря на устоявшуюся терминологию, применение термина «микроскопия» не отражает сущность процесса — и следует говорить о «наноскопии», что более соответствует физическому смыслу.

В настоящее время создано целое семейство сканирующих зондовых микроскопов — приборов, в которых исследуемая поверхность сканируется специальной иглой-зондом, а результат регистрируется в виде туннельного тока (туннельный микроскоп), механического отклонения микрзеркала (атомно-силовой микроскоп), локального магнитного поля (магнитный силовой микроскоп), электростатического поля (электростатический силовой микроскоп) и ряда других. Являясь не только измерительными приборами, но и инструментами, с помощью которых можно формировать и исследовать наноструктуры, зондовые микроскопы призваны стать базовыми физическими метрологическими инструментами XXI века.

Внешний вид сканирующего туннельного микроскопа-анализатора «Stereoscan 360» производства фирмы «Cambridge Instrument» представлен на рис. 17, а типовая схема осуществления СЗМ представлена на рис. 18.

Упрощенно можно представить, что в сканирующем туннельном микроскопе роль оптического устройства играет тончайшее металлическое (как правило, вольфрамовое) острие, или зонд, кончик которого может представлять собой один-единственный атом и иметь размер в поперечнике около 0,2 нм.



Рис. 17. Внешний вид сканирующего микроскопа-анализатора «Stereoscan 360» производства фирмы «Cambridge Instrument»

Пьезоэлектрические устройства подводят зонд на расстояние 1...2 нм от поверхности исследуемого электропроводящего объекта. В процессе сканирования игла движется вдоль образца, и когда зонд сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) приближается к поверхности на расстояние около $10 \text{ \AA}$, равное размеру нескольких атомов ($\sim 0,5...1,0 \text{ нм}$), между зондом и образцом устанавливается рабочее напряжение, и электронные облака на конце зонда и ближайшего к нему атома объекта перекрываются. В результате электроны начинают «перескакивать» через зазор, другими словами, электрический ток из образца начинает проходить через промежуток в иглу, или, наоборот, — в зависимости от знака напряжения, хотя непосредственного контакта между зондом и поверхностью в привычном понимании нет. Нормальные значения этого тока находятся в пределах 1...1000 пА при расстоянии около $1 \text{ \AA}$ от поверхности образца. Величина этого тока чрезвычайно чувствительна к ширине зазора и обычно уменьшается в 10 раз при увеличении зазора на 0,1 нм.

Электрический ток протекает благодаря так называемому «туннельному эффекту», из-за которого получил свое название и микроскоп. Как уже отмечалось, феномен заключается в том, что электрон может преодолеть энергетический (т.е. потенциальный) барьер, образованный разрывом электрической цепи — небольшим промежутком между зондирующим микроострием и поверхностью образца), даже не обладая достаточной энергией, т.е. он «туннелирует» сквозь эту преграду (рис. 19).

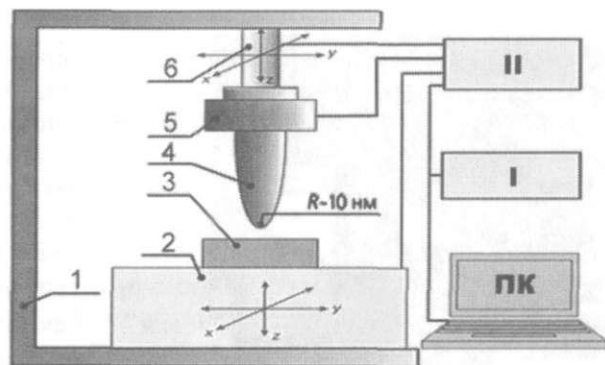


Рис. 18. Типовая схема осуществления сканирующей зондовой микроскопии:

- I — программное обеспечение компьютера; II — контроллер
- 1 — станина; 2 — трехкоординатный автоматический столик;
- 3 — исследуемая поверхность; 4 — зонд; 5 — датчик положения зонда;
- 6 — пространственный пьезодатчик

Возникающий в результате «туннельный ток» изменяется в соответствии с зазором между зондом и образцом в экспоненциальной зависимости. Сила туннельного тока поддерживается стабильной за счет действия обратной связи, и удлинение следящей системы меняется в зависимости от топографии. Сила протекающего тока измеряется регистрирующим устройством и позволяет оценить расстояние между зондом и поверхностью образца (ширину туннельного перехода), сканирование которого производится последовательно атом за атомом, давая высокоточную картину поверхности исследуемого материала.

Пьезоэлектрические двухкоординатные манипуляторы перемещают зонд вдоль поверхности образца, формируя растр наподобие того, как это делается в электронном микроскопе. При этом параллельные

строки растра расположены друг от друга на расстоянии долей нанометра. Если бы кончик зонда не повторял профиль поверхности, то туннельный ток менялся бы в очень широких пределах, увеличиваясь в те моменты, когда зонд проходит над выпуклостями (например, над атомами на поверхности), и уменьшаясь до ничтожно малых значений при прохождении зазоров между атомами. Однако зонд заставляет двигаться верх и вниз в соответствии с рельефом поверхности. Осуществляется это с помощью механизма обратной связи, который улавливает начинающееся изменение туннельного тока и изменяет напряжение, прикладываемое к третьему манипулятору, который двигает зонд в направлении, перпендикулярном поверхности, таким образом, чтобы величина туннельного тока не менялась, т.е. чтобы зазор между зондом и объектом оставался постоянным. Показания регистрирующего устройства фиксируются, и на их основе строится карта высот нанорельефа исследуемой поверхности.

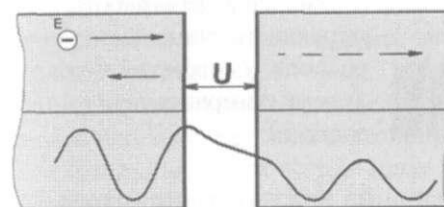


Рис. 19. Туннелирование электрона с кинетической энергией E через потенциальный барьер с энергией (высотой) U (при этом $U > E$)

Собственно, изображение нанорельефа поверхности в СТМ формируется двумя путями. По методу постоянного туннельного тока зонд перемещается вдоль поверхности, осуществляя растровое сканирование. При этом изменение напряжения на Z -электроде пьезоэлемента в цепи обратной связи (с большой точностью повторяющее рельеф поверхности образца) записывается в память компьютера в виде зависимости $Z = f(x, y)$, а затем воспроизводится с помощью специального программного обеспечения средствами компьютерной графики. Высокое пространственное разрешение СТМ определяется экспоненциальной зависимостью туннельного тока от расстояния до поверхности. Разрешение в направлении по нормали к поверхности достигает долей ангстрема, латеральное же разрешение зависит от качества зонда и определяется в основном не макроскопическим радиусом кривизны кончика острия, а его атомарной структурой. Поскольку зависимость туннельного тока от расстояния экспоненциальная, то ток в этом случае течет в основном между поверхностью образца и выступающим атомом на кончике зонда (рис. 20).

По изменению напряжения на третьем зонде компьютер строит трехмерное изображение поверхности. При этом разрешающая способность микроскопа достигает атомного уровня, т.е. могут быть видны отдельные атомы, размеры которых составляют 0,2 нм.

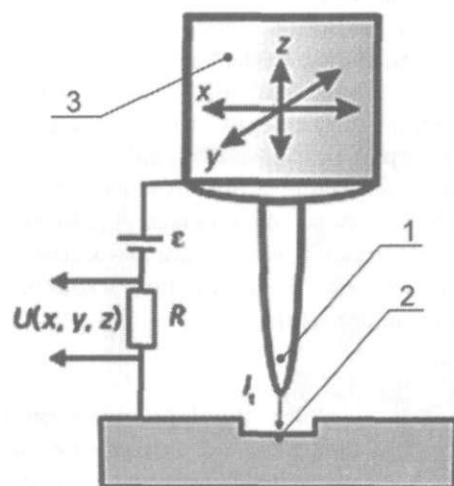


Рис. 20. Схема работы сканирующего туннельного микроскопа: 1 — зонд; 2 — исследуемая поверхность; 3 — пьезодатчик

Как отмечено выше, ограничения на использование метода накладываются, во-первых, условием электропроводимости образца (поверхностное сопротивление должно быть не больше 20 мОм/см²). Такое ограничение вытекает из самого принципа работы СТМ — для эффективного туннелирования (просачивания) электронов через зазор между поверхностью исследуемого образца и чувствительным элементом прибора (иглой) на поверхности должно быть много свободных электронов (электронных состояний). Поэтому при изучении с помощью СТМ веществ, являющихся не электропроводными, необходимо покрывать такие вещества металлической пленкой или «привязывать» к их поверхности проводник, например, слой золота.

Во-вторых, должно выполняться условие, чтобы глубина исследуемой канавки была меньше ее ширины. В противном случае может наблюдаться туннелирование с боковых поверхностей нанорельефа и искажение изображения исследуемого нанорельефа.

Однако на самом деле ограничений в применении СТМ гораздо больше. Так, малейшие вибрации и шумы, даже вне лаборатории, могут нарушить точную настройку прибора и процесс сканирования поверхности. При этом существующая в настоящее время технология

«заточки» иглы не может гарантировать одного острия на конце иглы, а это может приводить к одновременному сканированию двух разновысоких выступов. За исключением условий глубокого вакуума, во всех остальных случаях на поверхностях имеются различные загрязнения, состоящие из осажденных из воздуха частиц газа и пыли.

Технология механического сближения также оказывает существенное влияние на достоверность получаемых результатов. Если при сближении зонда и исследуемой поверхности не удастся избежать непосредственного касания (микроудара) иглы о поверхность образца, то игла может оказаться не идеальной и не иметь необходимую толщину в один атом на кончике призмы.

Следует отметить, что возможности сканирующего туннельного микроскопа далеко выходят за задачи только микроскопических, или, точнее, наноскопических наблюдений. Проведя точное позиционирование зонда над конкретной молекулой и приложив необходимое напряжение, можно с его помощью как бы «рассечь» молекулу на отдельные части, оторвав от нее несколько атомов, и исследовать их электронные свойства.

Экспериментально установлено, что, прикладывая к зонду необходимое напряжение, можно заставить атомы притягиваться к острию или отталкиваться от острия зонда, а также передвигать атомы вдоль поверхности.

Сканирующий туннельный микроскоп стал базовой моделью семейства более совершенных сканирующих микроскопов ближнего поля с зондами-остриями. Необходимость дальнейших разработок диктовалась стремлением избавиться от основного недостатка прототипа — электропроводности объектов, так как даже проводники и полупроводники часто покрыты изолирующим слоем оксидных пленок. Особенно актуально это для исследования полимерных и биологических материалов, большинство из которых также не являются электропроводящими.

Создание в 1986 г. под руководством Г.К. Биннига атомно-силового микроскопа (АСМ) позволило, в отличие от туннельного микроскопа, не только рассмотреть любые объекты, но и осуществлять необходимое взаимодействие с их поверхностью на наноуровне (рис. 21).

Принцип действия атомного силового микроскопа (АСМ) основан на использовании сил атомных связей, действующих между атомами вещества. На малых расстояниях между двумя атомами, равных около $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$, действуют силы отталкивания, а на больших — силы притяжения. Как известно, аналогичные силы действуют между любыми сближающимися те-

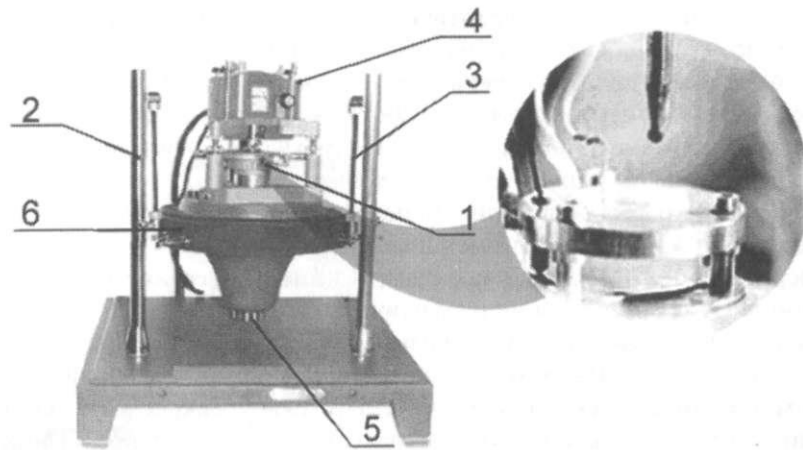


Рис. 21. Общий вид и зона измерительной головки сканирующего зондового микроскопа P47H:

1 — устройство позиционирования с предметным столиком (позиционер); 2 — металлические стойки; 3 — виброзащитный подвес; 4 — измерительная сканирующая головка; 5 — блок подвода образца (привод); 6 — резиновый диск

лами. В принципе работы АСМ такими телами служат сканируемая поверхность и зонд в виде алмазной иглы, который плавно скользит над поверхностью образца. Фактически это такая же игла, которая используется в сканирующем туннельном микроскопе. Электронное облако острия алмаза оказывает давление на электронные облака отдельных атомов образца, порождая отталкивающую силу, меняющуюся в соответствии с рельефом поверхности. Эта сила отклоняет кончик острия, перемещения которого регистрируются не электрически (путем измерения туннельного тока), а оптически — с помощью луча лазера, который отражается от верхней части держателя на чувствительное фотодиодное устройство (рис. 22).

При изменении силы, действующей между поверхностью и острием, упругий элемент из фольги (пружинка), на котором оно закреплено, отклоняется, и такое отклонение регистрируется датчиком. В качестве датчика в АСМ могут использоваться любые прецизионные измерители перемещений, например оптические, емкостные или туннельные датчики. Величина отклонения упругого элемента (пружинки) несет информацию о высоте рельефа — топографии поверхности и, кроме того, об особенностях межатомных взаимодействий.

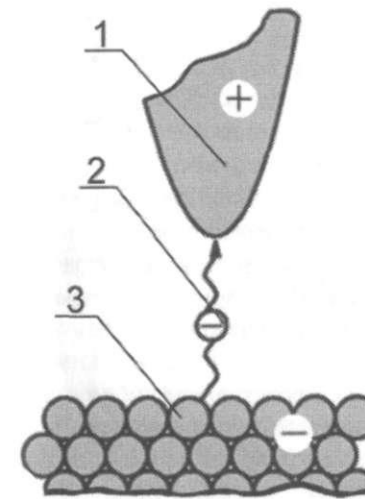


Рис. 22. Принцип действия атомного силового микроскопа (АСМ):

1 — игла зонда; 2 — электрон;
3 — исследуемая поверхность

Наиболее распространенным зондовым датчиком атомно-силового взаимодействия является пружинный кантилевер (англ. *cantilever* — консоль) с расположенным на его конце зондом.

Кантилевер представляет собой массивное прямоугольное основание с размерами примерно $1,5 \times 3,5 \times 0,5$ мм, с выступающей из него балкой (собственно кантилевером) шириной до 0,03 мм и длиной порядка 0,1...0,5 мм. Одна из сторон балки является зеркальной, что позволяет использовать оптическую систему контроля изгиба кантилевера. На противоположной стороне балки на свободном конце находится игла, взаимодействующая с измеряемым образцом. Радиус острия иглы промышленных кантилеверов находится в пределах 5...50 нм, лабораторных — от 1 нм. Как правило, вся конструкция, за исключением, быть может, иглы, является кремниевым монокристаллом.

Механизм обратной связи реагирует на изменения оптического хода луча и воздействует на пьезоэлектрический преобразователь, регулирующий высоту, на которой находится образец, так что отклонение держателя остается постоянным.

Следует сказать, что в АСМ сканирование исследуемой поверхности происходит по «поверхности постоянной силы», тогда как в СТМ — по «поверхности постоянного туннельного тока». Принципы же прецизионного управления, основанного на обратной связи и улавливающего самые наноскопические изменения рельефа поверхности, в СТМ и АСМ практически одинаковы.

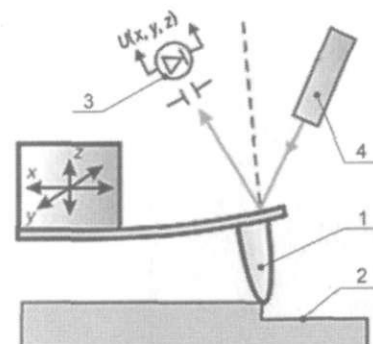


Рис. 23. Схема лазерного атомно-силового микроскопа:

1 — игла зонда; 2 — исследуемая поверхность; 3 — приемное устройство лазера; 4 — лазер

Таким образом, атомно-силовой датчик представляет собой чувствительный зонд в виде острия, позволяющий регистрировать силы взаимодействия между отдельными атомами. При сканировании образца зонд перемещается вдоль поверхности, при этом напряжение на Z-электроде сканера записывается в память компьютера в качестве рельефа поверхности (рис. 23).

Атомный силовой микроскоп может использоваться для определения рельефа поверхности любых веществ — как проводящих и непроводящих, так и полупроводников — на наноуровне. С его помощью можно наблюдать всевозможные несовершенства структуры, локализованные на изучаемых поверхностях, например, дислокации или заряженные дефекты, а также всяческие примеси. Кроме того, АСМ позволяет выявить границы различных блоков в кристалле, в частности доменов. Он также служит для определения структур физического вакуума, для литографии и многих других прикладных задач.

Несмотря на то, что уже первые АСМ могли давать изображение поверхности любого непроводящего или проводящего образца, давление острия (массой около $1/10^6$ г) оставалось достаточно высоким и значительно искажало форму многих биологических молекул, раздавливало или смещало их из зоны сканирования. Сила давления острия увеличивалась из-за наличия тонких пленок воды и загрязнений, неизбежно накапливающихся как на кончике острия, так и на поверхности исследуемого биологического образца. При сближении острия и поверхности эти загрязнения входят в соприкосновение, и силы адгезии обуславливают взаимное притяжение острия и объекта, увеличивая, таким образом, отслеживаемое давление острия.

Поэтому было разработано новое семейство сканирующих микроскопов с зондами-остриями, среди которых основным следует считать

ближнепольный оптический лазерный силовой микроскоп (рис. 24). Отмечается, что в последнее время давление зонда на поверхность удалось снизить в 10 раз путем исследования образца внутри капли воды, опустив туда и острие сканера. Нагрузка, которую позволяет отслеживать этот микроскоп — это малая сила притяжения между исследуемой поверхностью и зондом (кремниевым или вольфрамовым), находящимся от нее на расстоянии от 2 до 20 нм. Она складывается из силы поверхностного натяжения воды, конденсирующейся в зазоре между острием и образцом, и слабыми силами Ван-дер-Ваальса. Притягивающая сила очень мала — в 1000 раз меньше, чем межатомное отталкивание в атомно-силовых микроскопах. При перемещении острие вибрирует с частотой, близкой к резонансной. Лазерно-силовой микроскоп регистрирует силу межатомного взаимодействия по ее воздействию на динамику вибрирующего зонда.

Изменение амплитуды измеряется с помощью сенсорного устройства на базе лазера. Для этого используется другой, уже знакомый нам принцип микроскопии — интерферометрия. Лазерный луч расщепляется на два: луч сравнения, который отражается от стационарного зеркала или призмы, и зондирующий луч, который отражается от обратной стороны острия. Два луча складываются и интерферируют, порождая сигнал, фаза которого чувствительна к изменению длины пути, пройденного зондирующим лучом. Таким образом, интерферометр измеряет амплитуду вибрации кончика острия амплитудой до 10^{-5} нм. Рассмотренный принцип позволяет лазерно-силовому микроскопу регистрировать малые неровности рельефа величиной до 5 нм (до 25 атомных слоев).

Отметим также, что оптическая регистрация движения острия обеспечивает более надежное измерение зазора, чем обратная связь по туннельному току, и более мягкое (в то же время плотное) прикосновение острия.

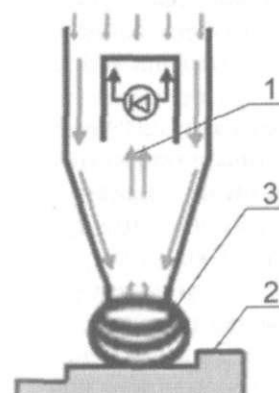


Рис. 24. Схема работы ближнепольного оптического лазерного силового микроскопа:

1 — луч лазера; 2 — исследуемая поверхность; 3 — капля воды

В результате этих усовершенствований в настоящее время с помощью АСМ ученые начали достаточно эффективно исследовать различные биологические объекты, например вирусы, гены (особенно молекулы ДНК) и другие макромолекулы в рамках нового, но интенсивно развивающегося и перспективного научного направления — биомолекулярной нанотехнологии. Исследователям удалось даже зарегистрировать молекулярный процесс в его развитии — полимеризацию белка фибрина, основного компонента свернувшейся крови.

Бельгийские (Лёвенский католический университет, Льежский университет) и итальянские (Болонский университет) химики разработали методику, позволяющую переносить на подложку отдельные органические молекулы с помощью атомного силового микроскопа (АСМ). Для эксперимента, который проводился при комнатной температуре, были использованы длинные полимерные молекулы, имеющие форму цепочек и удерживающиеся за счет хемосорбции на игле АСМ, покрытой слоем золота. Поверхностная плотность молекул на игле составляла менее 100 нм². При сближении иглы с кремниевой подложкой, покрытой специальным органическим веществом, содержащим химически активные группы NH₂, возникает ковалентная связь между цепочкой и подложкой. Эта связь оказывается прочнее, чем связь «углерод — золото», за счет которой цепочка держится на игле АСМ. Поэтому при удалении иглы от подложки цепочка отрывается и остается на подложке.

При переносе одной полимерной молекулы на подложку с помощью АСМ ковалентная связь между полимерной цепочкой и аминогруппой покрытия подложки приводит к отрыву цепочки от иглы АСМ.

Сила, действующая на иглу со стороны цепочки в момент ее отрыва, составляет $F \approx 1$ нН. Сила может вырасти до $F \approx 2,5$ нН, если игла покрыта слоем SiN. Результаты этого исследования свидетельствуют о принципиальной возможности осуществления химических реакций между всего лишь несколькими молекулами, доставленными иглой АСМ в заданную область поверхности.

Однако и эта конструкция АСМ оказывает все же достаточно большое нежелательное воздействие на объект, что может привести к его загрязнению или даже повреждению. Разработчики во всем мире продолжают исследования и поиск более совершенных конструкций и технических решений в области силовых сканирующих устройств. Так, в магнитно-силовом микроскопе вместо немагнитного вольфрамового или кремниевого острия используется намагниченный никелевый или железный зонд. Когда вибрирующий зонд подводится к исследуемому образцу-магнетику, то сила, действующая на кончик

острия, изменяет его резонансную частоту и, следовательно, амплитуду колебаний. Такой лазерно-силовой микроскоп позволяет исследовать магнитное поле с разрешением выше 25 нм. С его помощью изучают структуру магнитных битов информации на дисках и других магнитных носителях путем непосредственного контроля качества считывающей головки и запоминающей среды.

В электростатическом силовом микроскопе вибрирующий зонд имеет электрический заряд, а амплитуда его вибраций зависит от электростатических сил, возникающих в результате взаимодействия с зарядами на поверхности образца. С помощью такого микроскопа можно выявлять картину электрофизических свойств различных материалов — концентрацию и распределение легирующих элементов в полупроводниках (например, в кремнии), применяемых для изменения соотношения между концентрациями подвижных отрицательных (электронов) и положительных носителей заряда (дырок).

Методами локальных измерений электросопротивления и спектров рамановского рассеяния учеными обнаружены фазовые переходы в GaAs, Ge, Si, SiC, кварце, алмазе и др., индуцированные высоким давлением в зоне деформации под индентором. Например, в кремнии наблюдается до пяти фаз высокого давления и аморфизация исходной монокристаллической структуры. Для этого к зазору между зондом электростатического силового микроскопа и исследуемой поверхностью прикладывается напряжение, которое смещает электроны или дырки под зондом, оставляя там заряженную область, электростатически взаимодействующую с острием. Последовательные перемещения острия зонда позволяют точно и с высоким разрешением измерить величину заряда, следовательно, и количество смещенных электронов или дырок, соответствующее концентрации легирующих атомов.

Зонд растрового термического микроскопа является, по-видимому, самым малым в мире термометром: он позволяет измерять поверхностные изменения температуры в десяти тысячную долю градуса на длине в несколько десятков нанометров. Зонд представляет собой вольфрамовую проволочку диаметром до 30 нм, покрытую никелем, который везде, кроме самой вершины, отделен от вольфрама слоем диэлектрика. Такой вольфрамо-никелевый зонд работает как термopара, генерируя напряжение, пропорциональное температуре окружающей среды.

Когда нагретый кончик зонда приближают к исследуемому (твердотельному) образцу, являющемуся лучшим проводником теплоты, чем воздух, теплопотери кончика острия возрастают. Он охлаждается, и термоЭДС термopары уменьшается пропорционально изменению ширины

зазора. Наоборот, когда зонд удаляется от образца, термоЭДС увеличивается. Таким образом, потери теплоты выявляют топографию исследуемой поверхности аналогично тому, как туннельный ток или силы межатомного отталкивания выполняют эту роль в микроскопах ближнего поля. Растровый термический микроскоп применяют для картографирования температуры в живых клетках или для измерения очень малых, практически незаметных скоростей истечения потоков жидкости или газа.

Кратко следует остановиться еще на одном, совершенно новом методе — протонной микроскопии, или протонной радиографии. В основе метода лежит так называемый «эффект теней». В одном из вариантов кристаллический образец «облучают» параллельным пучком протонов, высокая энергия которых (500...1000 кэВ) позволяет им приблизиться достаточно близко к ядрам атомов, составляющих кристаллическую решетку исследуемого образца. Рассеиваясь на ядрах в различных направлениях, протоны «движутся» сквозь кристалл, частично проходят его и засвечивают расположенную с «освещаемой» стороны образца фотопластинку, где получается специфическая сетка ярких линий с пятнами разных размеров. Эта картина напоминает картины дифракции электронов или рентгеновских лучей на кристаллах. Однако подобие это чисто внешнее, поскольку принципиально различны механизмы их получения. В отличие от первых двух методов происходит не волновое взаимодействие, а корпускулярное взаимодействие протонов и ядер.

По протонограмме можно определить тип структуры кристалла, кристаллографическую ориентацию, углы между кристаллографическими осями. Ее вид чрезвычайно чувствителен к малейшим деформациям кристаллической решетки. Протонограмма также регистрирует точечные дефекты. Важным преимуществом протонографии является возможность послойного анализа микроструктуры кристаллических образцов без их разрушения, так как, повышая энергию протонов, можно проникать во всё более глубокие слои исследуемой поверхности, не ухудшая при этом (что наиболее важно) способность наблюдать отдельные атомы.

Как видим, различные АСМ позволяют решать не только прикладные задачи, но и ряд глобальных проблем фундаментальной науки. Например, изучив с его помощью поведение межатомных сил и константы взаимодействий между атомами поверхности и острия, можно сделать достаточно точные выводы о существовании или отсутствии новых фундаментальных взаимодействий и даже о структуре физического вакуума.

В настоящее время выпуск коммерческих нанотестеров осуществляют известные мировые производители, такие как *MTS*,

“Hysitron”, “Micro Photonics”, “CSM Instruments”, а также ряд отечественных фирм (“NT-MDT Co.”, ЗАО «Наноиндустрия» и др.). Такие нанотестеры имеют разрешение в канале измерения силы около 1 нН, а по перемещению — значительно лучше, чем 1 нм (т.е. близкое к атомному разрешению). Многие принципиальные и конструктивные решения в нанотестерах близки к зондовой сканирующей микроскопии, и ряд производителей объединяют оба типа испытания в одном комбинированном приборе. Это позволяет не только визуализировать микро топографию поверхности, но и исследовать более десятка механических характеристик материала в приповерхностных слоях, покрытиях, пленках толщиной от единиц нанометров до нескольких микрометров, т.е. перейти от двумерного к трехмерному анализу приповерхностных слоев материала.

Например, сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) марки “NanoEducator” также позволяет реализовать две основные модификации сканирующего зондового микроскопа: сканирующий туннельный микроскоп и атомно-силовой микроскоп. Он может использоваться не только в учебных, но и в научных целях при исследованиях в области физики и технологии микро- и наноструктур, материаловедения, катализа, физики и химии полимеров, биофизики и др. На данном оборудовании студенты могут изучать основы зондовой сканирующей и атомно-силовой микроскопии, знакомиться с методами зондовой нанотехнологии, выполнять цикл лабораторных работ, а также заниматься исследованиями различных нанообъектов и наноматериалов, выполнять курсовые и дипломные работы.

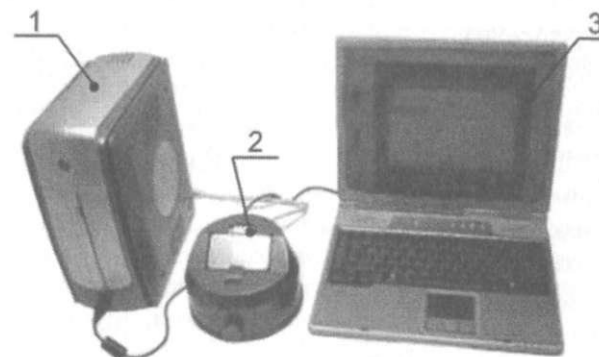


Рис. 25. Нанотехнологическое оборудование «УМКА»: 1 — система виброзащиты; 2 — туннельный микроскоп; 3 — переносной компьютер со специальным программным обеспечением

ЗАО «Наноиндустрия» (Москва) выпускает комплекс нанотехнологического оборудования «УМКА» (рис. 25), предназначенный для работ на атомно-молекулярном уровне в области физики, химии, биологии, медицины, генетики и других фундаментальных и прикладных наук.

Комплекс «УМКА» включает туннельный микроскоп, систему виброзащиты, набор тестовых образцов, наборы расходных материалов и инструментов, а также практическое руководство по использованию данного нанотехнологического оборудования.

Высокие характеристики входящего в комплект туннельного микроскопа позволяют использовать комплекс «УМКА» для осуществления научно-исследовательских и прикладных работ в институтских и производственных лабораториях для определения характеристик материалов и сред на атомно-молекулярном уровне, в частности, для анализа состояния покрытий и поверхностей обработанных деталей, экспресс-анализа в криминалистических и медицинских лабораториях, для исследования электропроводящих поверхностей и ряда других исследовательских работ на наноуровне (табл. 4).

Таблица 4. Технические характеристики нанотехнологического оборудования «УМКА»

№ п/п	Основные параметры микроскопа	Размерность	Величина
1	Поле сканирования	мкм	5×5
2	Разрешение в плоскости образца	нм	< 0,2
3	Разрешение по оси Z	нм	< 0,01
4	Ток сканирования	пА	± (20...5000)
5	Напряжение на зазоре	мВ	± (40...5000)
6	Размер образца	мм	8 × 8 × 2
7	Время сканирования с атомарным разрешением кадра размером 3×3 нм	с	от 2
8	Время сканирования полноразмерного кадра 5×5 мкм	с	от 30
9	Время выхода на рабочий режим	мин	не более 10

Достоинствами большинства нанотестеров является:

- простота конструкции, не требующей специальной подготовки для работы, так как для установки исследуемого образца и смены зонда достаточно даже лаборантских навыков;
- отсутствие механических деталей, требующих технического обслуживания (смазывания, замены узлов и т.п.);
- повышенная виброустойчивость и помехозащищенность, вследствие чего для работы могут использоваться обыкновенные здания со стандартными фундаментами;
- сохранение работоспособности в условиях вакуума и в неагрессивных газовых средах, что позволяет их встраивать в большинство стандартных вакуумных и газонаполненных камер без дополнительных мер по виброзащите и экранированию;
- сканирование тонких пленок, биологических объектов без предварительного напыления металла;
- высокая температурная стабильность, позволяющая проводить длительные манипуляции с отдельными группами атомов;
- высокая скорость сканирования, позволяющая наблюдать быстротекущие процессы;
- широкий диапазон литографических воздействий.

Благодаря компактности оборудования, относительной доступности методов, а также отсутствию жестких требований к образцу и окружающей среде, методы применения наноинденторов при СЗМ получают всё более широкое распространение. Они позволяют приблизиться к условиям, возникающим в реальных микро- и наноконтактах, и смоделировать контролируемые условия элементарных нанопроцессов в исследуемых поверхностях и отдельных нано- и микрообъектах.

Отдельным направлением исследований следует считать методы, при которых зонд сканирующего микроскопа является наноиндентором. С его помощью исследуемые поверхности подвергаются многократной нагрузке одной и той же области или нанесению нанопарапин. При этом могут моделироваться процессы износа и усталости в приповерхностных слоях, изучаются фазовые переходы, индуцированные высоким гидростатическим давлением под индентором, исследуются зависящие от времени характеристики материала и коэффициенты скоростной чувствительности механических свойств, как на стадии погружения, так и на стадии вязкоупругого восстановления отпечатка после снятия нагрузки.

Этим методом можно также оценивать пористость материалов, величину и распределение внутренних напряжений, толщину, степень

адгезии и механические свойства тонких слоев и покрытий, исследовать структуру многофазных материалов, определять модули упругости, скорость звука и анизотропию механических свойств и т.д.

Кроме собственно нанотвердости, обычно определяют степень адгезии, модуль Юнга, плотность, однородность. Рекордными к настоящему времени, по-видимому, являются измерения, проведенные на пленках толщиной в единицы нанометров.

С помощью наноиндентора проводят также исследования электрических токов, спинового состояния и химических реакций в малой области поверхности, расположенной против близко находящегося атомарно острого зонда. В перспективе это также наноэлектроника нового поколения (так называемая одноэлектроника, т.е. приборы, управляемые одним электроном) и нанолитография — высокоразрешающая технология локального химического модифицирования поверхности с целью получения сверхвысокой плотности элементов на кремниевой подложке, записи информации и т.п.

Необходимо также кратко остановиться на достаточно распространенном и часто применяемом на практике методе электронной оже-спектроскопии — разделе спектроскопии, изучающий энергетические спектры оже-электронов (названных в честь их первооткрывателя французского физика П. Оже), которые возникают при облучении исследуемого вещества электронным пучком.

Спектры оже-электронов широко используются для определения элементного состава газов и поверхности твердых тел, для изучения электронного строения и химического состояния атомов в пробе.

Оже-эффект заключается в том, что под действием ионизирующего излучения на одном из внутренних электронных уровней (например, K -уровне) атома образуется вакансия, на которую переходит электрон с более высокого уровня (например, L_3 -подуровня). Возникший при переходе электрона избыток энергии может привести к испусканию рентгеновского фотона (излучательный переход) или к выбрасыванию еще одного электрона, например, с подуровня L_1 (безизлучательный переход). Этот электрон называют оже-электроном.

Оже-эффект наблюдается у всех элементов периодической системы, начиная с лития, причем вероятность его проявления для легких элементов достигает 0,99 и убывает с увеличением порядкового номера элемента. Спектры оже-электронов регистрируют с помощью оже-спектрометров, дающих возможность получать энергетические спектры в виде зависимостей $N(E)-E$ и $[dN(E)/dE]-E$ (рис. 26), где $N(E)$ — выход (или интенсивность тока) оже-электронов, равный числу оже-

электронов, испускаемых исследуемым объектом в единицу времени.

По спектрам оже-электронов проводится качественный и количественный элементный анализ пробы. Для этого пользуются спектрами в координатах $[dN(E)/dE]-E$, которые обеспечивают более высокую чувствительность и точность анализа. Элемент, присутствующий в пробе, идентифицируют по значению кинетической энергии E оже-электронов, поскольку эта величина зависит только от энергии связи электронов на электронных уровнях, и, следовательно, определяется природой атомов.

Для выполнения оже-анализа в растровой электронной микроскопии образцы приклеиваются эпоксидной смолой на специальную подставку-держатель и от них алмазной пилой с внутренней режущей кромкой отрезаются части с необходимыми размерами. Исследуемые части образцов для очистки поверхности очищаются ультразвуком в среде ацетона в течение 5–10 мин.



Рис. 26. Энергетические оже-спектры образцов (стальные поверхности трения) после испытаний в среде стандартного масла с медьсодержащей присадкой

После подготовки образцы устанавливаются в оже-спектрометр, например, марки *PHI-590/550* фирмы «Perkin Elmer», и с исследуемых участков снимаются оже-спектры для обнаружения элементного состава в поверхностных слоях с последовательным удалением бомбардировкой аргоном верхних слоев вплоть до 0,1 мкм по глубине. Например, в энергетических спектрах образцов (рис. 26) после их испытаний в среде стандартного трансмиссионного масла типа «ТНК-

Транс-Ойл. Гипоид» с маслорастворимой медьсодержащей присадкой «*Renom Transmission*» (производства компании «Лаборатория триботехнологии») наблюдаются оже-спектры меди (два энергетических всплеска), что свидетельствует об образовании на поверхностях в процессе трения защитных металлических пленок, содержащих медь.

В заключение отметим, что в настоящее время известно достаточно много эффективных методов исследования поверхностей и объектов на наноуровне. Среди них не только рассмотренные выше способы, в различном исполнении, основанные на регистрации электронов, такие как дифракция электронов и полевые методы (полевая электронная и ионная спектроскопия), рентгеновская фотоэлектронная и ультрафиолетовая электронная спектроскопии, а также оже-спектроскопия, но и специфические методы, основанные на дифракции рентгеновского синхротропного излучения; рентгеновская спектроскопия поглощения (*EXAFS*, *XANS*, *NEXAFS*); мессбауровская спектроскопия; методы ядерного магнитного резонанса и электронного парамагнитного резонанса.

ГЛАВА 6. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУР

Первым и самым главным свойством наночастиц, несомненно, является их геометрический размер — протяженностью не более 100 нм хотя бы в одном измерении. Начиная с таких размеров, может наблюдаться качественное изменение свойств частиц по сравнению с макрочастицами того же самого вещества. Например, тонкая нанонить — паутина способна надежно удерживать огромных по сравнению с ее линейными размерами насекомых.

Именно размерными эффектами (и происходящими из этого развитыми поверхностными и энергетическими качествами) определяются многие другие уникальные свойства наночастиц и наноматериалов. Для различных характеристик (механических, электрических, магнитных, химических, квантовых и др.) критический размер может быть различным, как и характер их изменений (равномерный или неравномерный). Например, электропроводность, область прозрачности, магнетизм и некоторые другие свойства начинают зависеть от размера частицы при уменьшении кристалла вещества до размеров 10...20 нм и менее (рис. 27).

Среди характеристик размерных эффектов в наномасштабных объектах наряду с очевидными факторами имеются и те, которые требуют дополнительного объяснения. Так, доля атомов, находящихся в поверхностном слое (толщиной приблизительно 1 нм), естественно, растет с уменьшением размера частиц вещества. Также известно, что поверхностные атомы обладают свойствами, отличающимися от «внутренних», поскольку они связаны с соседями по-другому, чем в внутри вещества. В результате на поверхности велика вероятность протекания процессов атомной реконструкции и возникновения других структур расположения атомов и их свойств.

Атомы, расположенные по краям моноатомных террас, уступов и впадин на них, где координационные числа значительно ниже, чем в объеме, находятся в совершенно особых условиях. Взаимодействие

электронов со свободной поверхностью порождает специфические приповерхностные состояния (уровни Тамма). Всё это вместе взятое заставляет рассматривать поверхность (или межфазную границу) как некое новое состояние вещества.

С учетом абсолютных размеров наночастиц с определенными допущениями можно считать, что фактически вся наночастица представляет собой вещество, близкое по свойствам к этой межфазной границе. Например, нанотрубки имеют аномально высокую удельную поверхность, поскольку вся масса сосредоточена в поверхностном слое. Кроме того, расстояние (0,335 нм) между графитовыми слоями в многослойных системах оказывается достаточным, чтобы некоторые вещества в атомарном виде (например, молекулы водорода H_2) могли заполнять их межстенное пространство. Данное пространство (в совокупности с внутренними каналами и даже внешней поверхностью) образует уникальную емкость для хранения газообразных, жидких и даже твердых веществ.

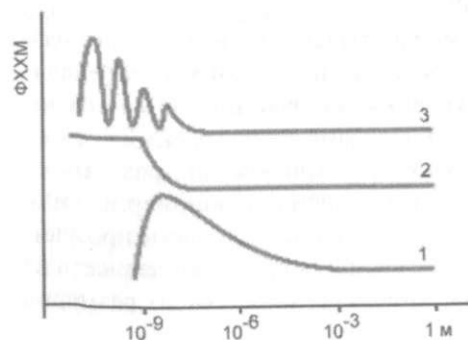


Рис. 27. Изменение физико-химических характеристик материала в зависимости от размера структуры:

1 — с максимумом; 2 — с насыщением; 3 — осциллирующее изменение свойств

Наполнение внутренней поверхности нанотрубок происходит в результате капиллярных явлений. Впервые капиллярные эффекты в нанотрубках были обнаружены при эксперименте, в котором фуллереновая дуга, предназначенная для синтеза нанотрубок, зажигалась между электродами диаметром 0,8 см и длиной 15 см при напряжении 30 В и токе 180–200 А. Образующийся на поверхности катода в результате термического разрушения поверхности графитового анода слой материала высотой 3–4 см извлекался из камеры и выдерживался в течение 5 часов при температуре 850°C в потоке углекислого газа. Эта операция, в результате которой образец терял около 10% массы, способствовала очистке образца от частиц аморфного графита и открытию нанотрубок, находящихся в осадке. Центральная часть осадка, содер-

жащего нанотрубки, помещалась в этанол и обрабатывалась ультразвуком. Диспергированный в хлороформе продукт окисления наносился на углеродную ленту с отверстиями для наблюдения с помощью электронного микроскопа. Как показали наблюдения, трубки, не подвергавшиеся обработке, имели бесшовную структуру, головки правильной формы и диаметр от 0,8 до 10 нм. В результате окисления около 10% нанотрубок оказались с поврежденными вершинами, а часть слоев вблизи их также была содрана. Предназначенный для наблюдений образец, содержащий нанотрубки, заполнялся в вакууме каплями расплавленного свинца, которые получали в результате облучения металлической поверхности электронным пучком. При этом на внешней поверхности нанотрубок наблюдались капельки свинца размером от 1 до 15 нм. Нанотрубки отжигались в воздухе при температуре 400°C (выше температуры плавления свинца) в течение 30 мин. Как показывают результаты наблюдений, выполненных с помощью электронного микроскопа, часть нанотрубок после отжига оказалась заполненной твердым материалом. Аналогичный эффект заполнения нанотрубок наблюдался при облучении головок трубок, открывающихся в результате отжига, мощным электронным пучком. При достаточно сильном облучении материал вблизи открытого конца трубки плавился и проникал внутрь. Наличие свинца внутри трубок установлено методами рентгеновской дифракции и электронной спектроскопии. Диаметр самого тонкого образовавшегося свинцового провода составлял 1,5 нм.

Таким образом, с одной стороны, трубки рассматриваются как сосуд, в котором можно хранить вещества, не пользуясь «обычными» емкостями с толстыми стенками или оболочками для хранения агрессивных сред. С другой стороны, хранящиеся в них элементы модифицируют свойства самих трубок, позволяя создавать разнообразные гетероструктуры на их основе.

Одним из размерных параметров нанотрубок является так называемая «хиральность» — понятие, применяемое в химии и указывающее координаты шестиугольника, который в результате сворачивания плоскости в трубку должен совпадать с шестиугольником, находящимся в начале координат.

Наиболее распространенным является представление трубы двумя целыми числами (n , m). Сумма этих чисел равняется числу шестиугольников, составляющих диаметр цилиндра. Угол ориентации графитовой плоскости относительно оси трубки определяет, какой проводимостью она будет обладать: металлической или полупроводниковой. В последнем случае ширина запрещенной зоны задается

Геометрическими параметрами — хиральностью (углом скручивания) и диаметром нанотрубки.

Как уже отмечалось, углеродные нанотрубки бывают однослойными и многослойными. Нанотрубки первого типа могут быть получены в виде одномерной структуры в результате свертывания графеновой поверхности в трубку (рис. 28).

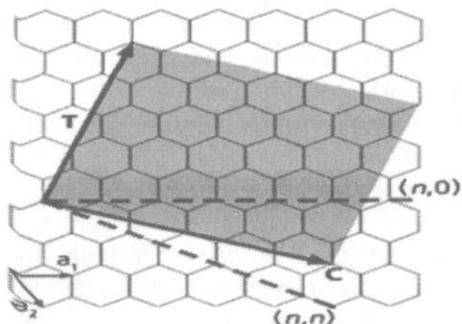


Рис. 28. Заготовка графеновой плоскости для получения нанотрубки с хиральностью $(n, m) = (4, 2)$

Диаметр трубки и угол свертывания (или шаг свертывания) обычно характеризуются кристаллографическим аналогом элементарной ячейки для двумерного графенового листа, из которого выкраивается единственный повторяющийся кусочек нанотрубки, называемый «вектором свертывания»:

$$\mathbf{C} = n\mathbf{a}_1 + m\mathbf{a}_2 \equiv (n, m),$$

где $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2$ — базисные векторы графитовой гексагональной ячейки, n, m — целые числа.

Свертывание производится так, чтобы начало и конец вектора $\mathbf{C}$ совместились. В пределе нехиральных случаев свертывание происходит по так называемой линии «зигзаг» (при $m = 0$) и по линии «ковшик с ручкой» (или другое название — «подлокотник кресла» — *armchair*) при $m = n$.

Эти направления на рисунке изображены пунктирными линиями. Вектор трансляции $\mathbf{T}$ вдоль продольной оси нанотрубки перпендикулярен $\mathbf{C}$, его величина показывает, на каком расстоянии вдоль оси структура воспроизводится. Площадь свертывания, заключенная между $\mathbf{T}$ и $\mathbf{C}$ (затененная область), соответствует единичному участку нанотрубки, который многократно повторяется вдоль продольной оси.

Индексы хиральности (m, n) определяют диаметр D однослойной нанотрубки по формуле

$$D = \sqrt{m^2 + n^2 - mn} \cdot \frac{3d_0}{\pi},$$

где $d_0 = 0,142$ нм — расстояние между соседними атомами углерода в гексагональной сетке графитовой плоскости. Таким образом, зная D , можно найти хиральность (соотношение m и n).

Геометрия свертывания задает структуру нанотрубок — расстояние между атомами и, соответственно, силу связи между атомами. Расчеты электронной зонной структуры показывают, что именно индексы n и m определяют, какой будет электропроводимость системы — металлической или полупроводниковой.

В большинстве случаев минимальный диаметр трубки близок к 0,4 нм, что соответствует хиральностям $(3, 3)$, $(5, 0)$, $(4, 2)$, однако объекты такого диаметра наименее стабильны. Из однослойных наиболее стабильной является нанотрубка с индексами хиральности $(10, 10)$; ее диаметр равен 1,36 нм.

Таким образом, появляется возможность создавать новые сверхпрочные композиционные конструкционные материалы не путем изменения химического состава компонентов, а в результате регулирования размеров и формы частиц, составляющих вещество.

Первые же исследования показали, что нанотрубки обладают уникальными механическими свойствами. Модуль упругости вдоль продольной оси трубки достигает $70 \cdot 10^5$ МПа. Для сравнения: у легированной стали он равняется $2 \cdot 10^5$ МПа, а у наиболее упругого металла иттрия — $5,2 \cdot 10^5$ МПа. Кроме того, однослойные нанотрубки имеют высокую (до 16%) эластичность, т.е. способность оказывать влияющей на них силе механическое сопротивление и принимать исходное состояние после её снятия.

Ученые Дрезденского технического университета (Германия) тщательно исследовали образец дамасской стали (известной своей высочайшей прочностью), из которой в XVI в. была изготовлена сабля, хранящаяся в Историческом музее г. Берна (Швейцария). После травления поверхности металла образца в соляной кислоте исследователи обнаружили нитеобразные объекты нанометровых поперечных размеров (рис. 29а). При детальном изучении поверхности с использованием сканирующего туннельного микроскопа оказалось, что это — многослойные углеродные нанотрубки, к тому же заполненные внутри цементитом — карбидом железа (Fe_3C), обладающим также очень высокой твердостью. Расстояние между слоями в исследуемых нанотрубках оказалось близким к типичным для таких систем — 0,34 нм.

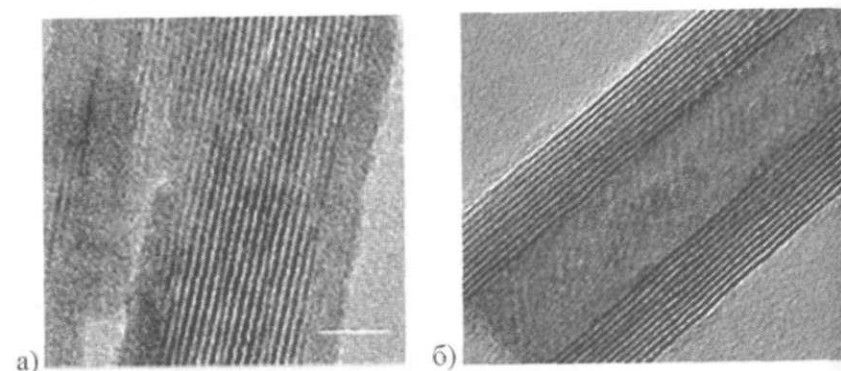


Рис. 29. Наноструктура дамасской стали (а) и конструкционного материала "ApNano" (б)

Поскольку нанотрубки обладают рекордной прочностью на растяжение (модуль упругости приблизительно равен 10^{12} ТПа), не приходится удивляться тому, что входящие в состав дамасской стали углеродные нанотрубки обеспечивают материалу сабли столь высокие прочностные свойства. Достойна восхищения изобретательность средневековых кузнецов, которые, не имея представления ни о структуре, ни о способах получения нанотрубок, сумели эмпирическим путем создать конструкционный материал, отличающийся исключительными механическими характеристиками, а из него выковать непревзойденное по прочности холодное оружие. Истории известны случаи, когда воин, вооруженный таким оружием, мог с легкостью перерубить саблю противника надвое.

Израильская компания "ApNano Materials" недавно испытала один из известных наиболее стойких к удару материалов, известных человечеству (рис. 29б). Образец конструкционного материала "ApNano", разработанный на основе дисульфида вольфрама, подвергался ударам, произведенным стальным снарядом, выпущенным со скоростью до 1,5 км/с. Исследуемый материал выдержал удар с воздействиями до 250 т/см², а также статическую нагрузку в 350 т/см², что соответствует приблизительно нагрузке, развиваемой четырьмя дизельными локомотивами, на область площадью в размере человеческого ногтя.

Руководитель "ApNano Materials" М. Генут заявил, что они готовы выпускать до 200 кг материала ежедневно, а в 2007 г. смогут перейти к производству в количестве, достаточном для нужд израильской армии. Такой материал может понадобиться для изготовления шлемов и бронежилетов для солдат, а также обшивки военного транспорта.

Класс таких материалов назван «неорганической фуллереноподобной наноструктурой» (*inorganic fullerene-like nanostructures, IF*). В настоящее время компания переходит к исследованию аналогичных образцов на основе дисульфида титана, которые, как ожидается, они могут быть еще более прочными, чем на основе вольфрама, при меньшей в четыре раза массе.

Кратко следует остановиться на механохимических и трибологических свойствах наноматериалов.

Наиболее типична для многослойных нанотрубок структура «русской матрешки» — в них трубки меньшего размера вложены в более крупные. Эксперименты сейчас достигли такого изящества, что с помощью специального манипулятора можно вытянуть внутренние слои, оставив внешние слои фиксированными (рис. 30).

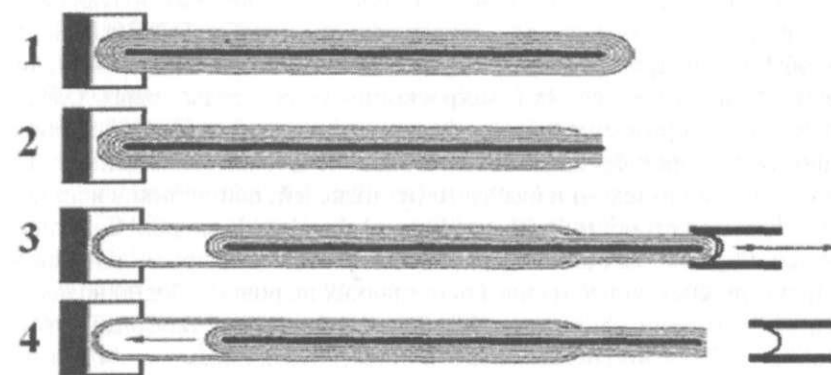


Рис. 30. Исследование трибологических свойств нанотрубок:

1 — опытная нанотрубка; 2 — нанотрубка после удаления внешних слоев на вершине; 3 — нанотрубка с внутренними слоями, с вытянутыми при помощи специального наноманипулятора; 4 — релаксация (возврат) внутренних слоев нанотрубки в исходное положение после снятия нагрузки

Нанотрубка удлиняется подобно телескопической антенне или удочке, приобретая коническую со ступеньками форму. Это делается так: трубку укрепляют с одного конца и снимают с нее несколько слоев вблизи вершины, чтобы сделать кончик, за который можно «ухватиться». Затем к заостренному концу подводят манипулятор, двигая которым, можно удлинять или укорачивать трубку путем вытягивания внутренних слоев из внешней оболочки. Если удалить манипулятор, то вытянутая

часть возвращается под действием сил притяжения Ван-дер-Ваальса, как пружина. Измеряя время возвращения внутренних слоев после удаления манипулятора, определили силы статического ($2,3 \cdot 10^{-14}$ Н/атом) и динамического ($1,5 \cdot 10^{-14}$ Н/атом) трения одного слоя о другой.

С этой точки зрения многослойная углеродная нанотрубка является великолепным цилиндрическим подшипником. Если внутреннюю часть оставить неподвижной, а внешнюю заставить вращаться, можно получить почти идеальный подшипник скольжения, в котором поверхность скольжения атомно-гладкая, а силы взаимодействия между поверхностями (силы Ван-дер-Ваальса) очень слабые. При этом статическая сила трения на единице площади оказывается всего лишь $60 \text{ Н} \cdot \text{см}^{-2}$, а динамическая — $45 \text{ Н} \cdot \text{см}^{-2}$. Как известно, при скольжении коэффициент трения — это отношение силы трения к силе нормального давления. Если предположить, что она составляет 0,01 модуля сдвига, приблизительно равного для многослойных трубок $0,25 \cdot 10^5$ МПа, то коэффициент трения получится равным 10^{-5} — на два порядка меньше, чем у лучших пар трения в макроскопических твердых телах. Следовательно, открывается возможность создать миниатюрные наноподшипники с пренебрежимо малыми силами трения, необходимые для наносистемной техники будущего (нанодрелей, наностанков и др.).

С другой стороны, при высоких давлениях фуллерен C_{60} становится твердым, как алмаз. Его молекулы образуют кристаллическую структуру, состоящую из идеально гладких шаров, свободно вращающихся в гранецентрированной кубической решетке. Благодаря этому свойству C_{60} можно использовать в качестве твердой смазки. Фуллерены обладают также магнитными и сверхпроводящими свойствами.

В ряде работ исследованы причины возникновения так называемого масштабного эффекта (*indentation size effect*) — роста твердости при низких и сверхнизких нагрузках внедрения (порядка 1 мкН), которые приводят к образованию отпечатков глубиной несколько нанометров.

При усилиях ниже некоторых критических (зависящих от природы материала, температуры, формы индентора и т.д.) практически все материалы проявляют в контакте упругое поведение. Типичные значения критической неразрушающей глубины составляют обычно несколько десятков нанометров.

Нагрузки, при которых наблюдается наноконтактное взаимодействие, могут возникать во многих случаях: при трении без смазочного материала (сухом трении); абразивном и эрозионном износе поверхности мелкими частицами; локальной приповерхностной усталости, фреттинг-коррозии и некоторых других.

Другим уникальным свойством наноструктур являются квантовые эффекты и в связи с этим необычные электронные свойства наночастиц, прежде всего углеродных нанотрубок.

С позиций квантовой механики электрон может быть представлен волной, описываемой соответствующей волновой функцией. Распространение этой волны в наноразмерных твердотельных структурах контролируется эффектами, связанными с квантовым ограничением, интерференцией и возможностью туннелирования через потенциальные барьеры.

Волна, соответствующая свободному электрону в твердом теле, может беспрепятственно распространяться в любом направлении. Ситуация кардинально меняется, когда электрон попадает в твердотельную структуру, размер которой, по крайней мере в одном направлении, ограничен и по своей величине сравним с длиной электронной волны. В этих направлениях возможно распространение только волн с длиной, кратной геометрическим размерам структуры. Для соответствующих им электронов это означает, что они могут иметь только определенные фиксированные значения энергии, т. е. происходит дополнительное квантование энергетических уровней. Это явление получило название квантового ограничения.

Так, с одной стороны, есть трубки с хорошей электронной проводимостью, выше проводимость у признанных электрических проводников, таких как медь и серебро, а с другой стороны, большинство трубок — это полупроводники с шириной запрещенной зоны от 0,1 до 2 эВ. Управляя их зонной структурой, можно создать различные электронные приборы. В частности, появляется реальная перспектива разработать запоминающие устройства с плотностью записи до 10^{14} бит/см².

Одно из самых замечательных свойств — связь между геометрической структурой нанотрубки и ее электронными характеристиками, которую можно предсказать на основе квантово-химических расчетов. Налицо возможность создания новых электронных приборов с рекордно малыми размерами. Еще одно достоинство нанотрубок связано с холодной эмиссией электронов, которая возникает при приложении электрического поля вдоль оси трубки. Напряженность поля в окрестности верхней части в сотни раз превышает ту, что существует в объеме, что приводит к аномально высоким значениям тока эмиссии при сравнительно низком внешнем напряжении и позволяет использовать нанотрубные макроскопические системы в качестве холодных эмиссионных катодов.

Взаимодействие электронных волн в наноразмерных структурах, как между собой, так и с неоднородностями в них, может сопровождаться интерференцией. Отличительная особенность такой интерференции состоит в том, что благодаря наличию заряда у электронов имеется возможность управлять ими с помощью локального электростатического или электромагнитного поля и таким образом влиять на распространение электронных волн.

Рассмотренные квантовые явления уже используются в разработанных к настоящему времени нанoeлектронных элементах для информационных систем. Однако следует подчеркнуть, что ими не исчерпываются все возможности приборного применения квантового поведения электрона. Активные поисковые исследования в этом направлении продолжаются.

Как видно, наночастицы обладают комплексом самых уникальных свойств, многие из них еще не полностью изучены, а другие, возможно, и не открыты. Эти свойства открывают перед человечеством возможности принципиального изменения современного состояния науки и техники и открывают предпосылки к новой — третьей технической революции.

ГЛАВА 7. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНИКЕ

Результаты и перспективы работ в области нанотехнологий привели к тому, что в разных странах на уровне правительств и крупнейших фирм приняты и успешно выполняются программы по практическому использованию результатов научно-практических исследований для нужд не только науки, но государства и общества в целом.

В настоящее время наиболее значимые достижения практической нанотехнологии находятся в сферах изготовления различных наноматериалов, электроники и медицины. За исключением первого направления, где достигнуты некоторые успехи, ученые-практики пока не добились существенных достижений в своих нанотехнологических разработках.

Обращаясь к окружающей нас живой природе, мы не перестаем удивляться уникальным свойствам, в том числе и на наноуровне, присущим многим ее обитателям. Например, ящерица-геккон может удерживать вес своего тела на вертикальной плоскости, касаясь ее только одной лапой. Щетинки на лапах геккона притягиваются к поверхности благодаря силам межмолекулярного взаимодействия Ван-Дер-Ваальса. Каждая щетинка в нижней части расщеплена на тысячи тончайших волосков с лопаткообразными кончиками, которые взаимодействуют с ровной поверхностью на молекулярном уровне. Создание искусственной технологии, аналогичной лапке геккона, позволит решить проблему безопасности высотных работ, создать сверхнадежные тормозные системы, изготовить удобную бесшовную одежду и многое другое.

Этот и многие другие примеры из окружающей нас среды иллюстрируют существующие уникальные свойства и возможности природных наноэффектов. Задача состоит в том, чтобы их заметить, правильно оценить и успешно применить на практике.

В соответствии с существующей классификацией все известные в настоящее время достижения практической нанотехнологии подраз-

деляются на три группы: инкрементные, эволюционные и радикальные. Рассмотрим их более подробно.

1. Инкрементная нанотехнология — подразумевает промышленное применение существующих наноструктур, а также специфических эффектов и феноменов, характерных для области перехода между атомным и мезоуровнями, в целях значительного усовершенствования существующих классических материалов.

Наибольшее развитие инкрементные нанотехнологии получили в области получения композиционных конструкционных материалов с различными свойствами, защитных самоочищающихся покрытий, препаратов автохимии и некоторых других.

В Институте прикладной нанотехнологии (г. Зеленоград) разработана технология модифицирования наночастиц монтмориллонита (бентонита) в натриевой форме в *Ag*-форму, т.е. в межслоевое пространство бентонита введено серебро в ионной форме. При контакте с продуктами жизнедеятельности человека, содержащими натрий, калий и пр. происходит ионный обмен ионов указанных элементов на ионы серебра, которые сохраняют бактерицидное действие длительное время. Такими наночастицами обрабатывают поверхности силикона, ПВХ, ткани, используемые в производстве экзопротезов.

На международной выставке по изобретениям в Женеве в апреле 2006 г. данная разработка удостоена «Золотой медали». На основе этой технологии были разработаны составы для нанесения бактерицидных покрытий на элементы интерьера автомобиля (пластика, тканей, стекол, ковриков и т.д.). В 2006 г. на Сеульском салоне изобретений «SIIF» разработка была удостоена диплома Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO).

Продолжаются испытания по использованию наночастиц монтмориллонита с серебром в ионной форме в различных красках, лаках, как на водной, так и масляной основах. Предварительные результаты очень обнадеживающие, так как не обнаружен рост микробных колоний при продолжительном испытании окрашенных элементов. Это дает возможность создавать стерильные помещения во многих отраслях, где есть требования по стерильности помещений, например, на орбитальных станциях, в больницах, школах, местах массового скопления людей, птицефабриках и пр.

На основе разработанной технологии получения бактерицидного состава в Институте прикладной нанотехнологии ведутся работы по созданию корабельных красок против обрастания биомассой днищ судов. Покрытия на основе этих красок проявляют бактерицидную

активность, не позволяющей колониям микроорганизмов развиваться на такой поверхности.

В рамках проекта ЕС «*AMBIO*» развернуты исследования, как предотвратить обрастание корпусов судов. Ученые из «*BASF*» сотрудничают в этом проекте с 30 деловыми и научными партнерами из 14 стран. Старт пятилетнего проекта начался в марте 2005 г. Проект включает в себя общий объем бюджета в размере 17,9 млн. евро, из которых 11,9 млн. будут предоставлены Европейским Союзом. Целью проекта «*AMBIO*» является использование наноструктур, значительно уменьшающих сцепление микроорганизмов, водорослей, моллюсков с поверхностью днищ судов в морской воде без использования биоцидов.

Обрастание днищ судов является острой проблемой экологической и экономической значимости. Так, например, на движение судов с «грязным» корпусом требуется на 40% больше топлива, чем на движение с той же скоростью судов с чистым корпусом, что значительно увеличивает выбросы CO_2 и других парниковых газов.

Существующие сегодня способы предотвращения биологического обрастания судов основаны на использовании биоцидов, убивающих биологические организмы, веществ, таких как медь, мышьяк и токсичные органические соединения. Другие примеры — ситуации, когда биоциды могут создавать проблемы для теплообменников опреснения воды, электростанций и океанографических датчиков. Проект представляет собой новый подход, который исключает применение биоцидов и стремится свести к минимуму сцепление биологических организмов (водорослей, моллюсков) с поверхностью днищ судов, лишая их возможности выделять биологический клей для фиксации.

Позиция европейских компаний, лидеров мирового рынка в области противообрастающих покрытий, находится под угрозой предстоящего запрета Евросоюза на применение токсичных органических соединений, которые в настоящее время используются в качестве биоцидов. Хотя сейчас пока нет альтернативы существующим биоцидам, нанотехнологии могут предоставить возможность новаторских и экологически безопасных решений. Проект «*AMBIO*» интересен «*BASF*», поскольку предоставляет возможность разработки устанавливающих новые тенденции технологий наноструктур в транснациональных проектах с ведущими учеными.

Бытовое применение нанотехнологий началось с разработки компанией «*Nanogate Technologies GmbH*» (г. Саарбрюккен, Германия) «*Cerax Nanowax*» — продукта на основе химической нанотехнологии, создающего «умную» поверхность с multifunctionalными свойствами.

твами. Это ультратонкое покрытие, которое работает намного дольше, чем традиционные средства, которые, как правило, очень быстро исчезают. Например, содержащейся в продукте воск способствует хорошему скольжению поверхности лыжи. «Умный» *“Cerax Nanowax”* застывает при низкой температуре, сливается с поверхностью лыжи и скользит по кристалликам снега. В зависимости от вида зимнего спорта, погодных условий и уровней профессиональной подготовки спортсмена выпускается различные модификации данного продукта.

Отдельно хотим отметить один из нанопродуктов российско-американской компании «Лаборатория триботехнологии» — универсальную автополироль *“Lucky Bee Nanocrystal Wax”* (рис. 31). Она представляет собой уникальную комбинацию бразильского карнаубского воска, синтетических восков, силиконов и неабразивных наноалмазов, обеспечивающую эффективную защиту, восстановление цвета и блеска лакокрасочных покрытий. Наноразмерные алмазы позволяют получить совершенную сотовую структуру пленки полироли с повышенной прочностью, износостойкостью, адгезией к поверхности, фотохимической и химической стойкостью, дополнительно — эффект самоочистки поверхности при эксплуатации.

Полироль применяется для любых типов ЛКП (новых, старых, восстановленных, реставрированных полностью или частично), для обычных и металлизированных ЛКП, в первую очередь — при эксплуатации автомобиля в сложных погодных и климатических условиях, например, в сырую и дождливую погоду, при езде по грязной дороге (грязь и влага содержат агрессивные включения, действующие на ЛКП), а также в жаркую солнечную погоду — для защиты от теплового и ультрафиолетового излучения.



Рис. 31. Нанополіролі торгової марки *“Lucky Bee”* компанії «Лабораторія триботехнології»

Наночастиці (фуллереноалмази) дозволяють отримати ідеальну сотову структуру захисної плівки поліролі з підвищеною міцністю, зносостійкістю, адгезією до поверхні, фотохімічної і хімічної стійкістю. Захисна плівка зупиняє корозію поверхні і сприяє «маскуванню мікронервностей» ЛКП. Поліроль створює ефект посилення тону, кольору і блиску будь-якої ЛКП, а фуллереноалмази буквально наповнюють плівку світлом (ефект *Skinlight®*).

Всесезонна автополіроль *“Lucky Bee Carnauba & Nanowax”* (рис. 31) також розроблена з використанням принципів і матеріалів нанотехнології і містить унікальний наноконпонент *“Bentowax®”*.

Високоєфективна комбінація синтетических і натуральних восків, поверхностно-активних речовин і наноконпонента *“Bentowax®”* забезпечує ефективну захист, відновлення кольору і блиску ЛКП в широкому діапазоні кліматических умов і температур. Наночастиці *“Bentowax®”* забезпечують підвищену міцність захисної плівки, легкість поліровки і мінімальний витрата поліролі. Автополіроль містить спеціальну присадку, надає їй морозостійкість, що дозволяє її застосовувати для обробки ЛКП (в відміння від інших поліролей) при 0°C. Захисна плівка поліролі довговічна і однаково ефективна при будь-яких погодних умовах.

Наночастиці *“Bentowax®”* структурують захисну плівку, що надає восковому покриттю підвищену термостійкість, солестійкість, вологостійкість. Поліроль ефективно захищає ЛКП від впливу ультрафіолетового випромінювання, дорожньої бруду і пилу, кислотних дощів, захищає від корозії поверхню автомобіля і також може застосовуватися для будь-яких автомобільних ЛКП.

Исходным сырьем для производства этих полиролей является органический бентонит. Для решения поставленных задач предложен модификатор трения в виде дисперсных частиц с размером $1 \cdot 10^2 \dots 5 \cdot 10^3 \text{ Å}$ ($10 \dots 500 \text{ нм}$) органического бентонита, полученного при модификации бентонита поверхностно-активным веществом.

В качестве бентонита используют монтмориллонит, имеющий химическую формулу



Для получения органического бентонита используют бентонитовые глины Саригюхского месторождения (Армения), а также ряда других месторождений в различных регионах мира (табл. 5). Предлагаемые к использованию глины обогащаются, перерабатываются и выпускаются в виде бентонитовых порошков.

С помощью органобентонита можно создавать системы из компонентов, которые в обычных условиях несовместимы, например, удержать в воде или в масле специальные вещества или химические элементы — носители определенных заданных свойств. Данные добавки представляют собой тонкодисперсную структуру частиц бентонитовых глин, предпочтительно монтмориллонитов, полученных в результате модификации этих глин различными соединениями поверхностно-активных веществ.

Защитная пленка полиролей, благодаря эффекту упрочнения, не смывается автошампунями и выдерживает многократные мойки (до 6 моек, а при бесконтактной, щадящей мойке — до 8...10 моек). К достоинству этих полиролей следует также отнести их полную биоутилизацию.

Таблица 5. Состав бентонитовой глины Саригюхского месторождения

Соединение	Доля, %	Соединение	Доля, %
SiO ₂	58,25	MgO	3,62
Al ₂ O ₃	14,27	P ₂ O ₅	0,18
Fe ₂ O ₃	4,37	S	0,14
FeO	0,5	K ₂ O	1,2
Ti ₂ O	0,36	Na ₂ O	2,25
CaO	2,07	Примеси	12,19

В последнее время наночастицы достаточно часто входят в различные ремонтно-эксплуатационные составы автохимии, в качестве добавок к топливу и смазочным материалам (см. ниже). Нанотехнологии также широко применяются для нанесения различными методами износостойких композиционных наночастиц на рабочие поверхности при изготовлении специального металлообрабатывающего и стоматологического инструмента, защитных антикоррозионных и бактерицидных покрытий и ряде других случаев. Например, сотрудники физического факультета МГУ им. Ломоносова совместно с университетским филиалом «Угреша» и в сотрудничестве с рядом зарубежных фирм выполняют научно-исследовательские и производственные работы по созданию и нанесению наночастиц различных металлов на любую, включая мелкодисперсную (типа песка), подложку. Применяемая для

этих целей плазменная технология совмещает процессы образования наночастиц и их напыления на поверхность и в несколько раз сокращает продолжительность процесса нанесения, а также уменьшает стоимость конечного продукта по сравнению с традиционными методами. Кроме того, характерные размеры наночастиц имеют достаточно малый разброс (не более $\pm 30\%$) относительно среднего значения, которое определяется технологическими параметрами работы установки и может быть установлено в интервале от 20 до 50 нм.

В мире постоянно растет интерес к полимерным наночастицам и нанокомпозитам. Ежегодно проводятся международные выставки, симпозиумы, конгрессы и конференции, посвященные вопросам наноструктурных полимерных материалов. Так, если в 2001 г. в Чикаго (США) и Монреале (Канада) состоялись две первые международные конференции по полимерным нанокомпозитам, а в 2002 г. различным аспектам этой проблемы были посвящены более 10 форумов, то уже в 2003 г. мировая научная общественность провела более 20 международных встреч по данной тематике.

В США, Японии, Франции, Канаде и Индии разрабатываются специальные программы по наночастицам и нанокомпозитам различного назначения на основе полимеров. Многие из программ ориентированы на разработку полимерных материалов со специфическими свойствами для нужд медицины, военных целей, транспорта и т.д.

В нанотехнологических устройствах будущего, разумеется, могут быть использованы самые разнообразные явления — магнитное и электростатическое взаимодействия, перенос электронов, электромагнитной энергии (фотонов) или различных квазичастиц. Несмотря на то, что в соответствии с подходом Дрексlera рассматриваются молекулярные и даже биомолекулярные нанотехнологии, всё же в целом они сводятся в основном к чисто механическим сборочным конструкциям.

Несомненно, использование многих других явлений и качеств, присущих наночастицам, в том числе квантовомеханических свойств, должно позволить значительно расширить эти возможности.

Например, в настоящее время научно-технической общественностью обсуждаются вопросы применения фуллеренов для создания фотоприемников и оптоэлектронных устройств, катализаторов роста алмазных и алмазоподобных пленок, сверхпроводящих материалов, а также для синтеза металлов и сплавов с новыми свойствами. Углеродные фуллерены уже применяются в качестве тонеров (красителей) для копировальных машин, позволяя существенно повысить качество

получаемых копий, снизить расход красителя и общую себестоимость выполнения копировальных работ.

Фуллерены планируют использовать также в качестве основы для производства электрических аккумуляторных батарей. Такие элементы питания с принципом действия на основе реакции присоединения водорода во многих отношениях аналогичны широко распространенным никелевым батареям, но обладают, в отличие от них, способностью аккумулировать примерно в пять раз большее удельное количество водорода. В то же время такие батареи характеризуются повышенной энергоемкостью, небольшой массой, а также экологической и санитарной безопасностью по сравнению с наиболее современными в этом отношении аккумуляторами на основе лития, не говоря уже о кадмии. Такие аккумуляторы могут найти широкое применение в устройствах питания переносных радиостанций, сотовых телефонов, персональных компьютеров (особенно ноутбуков), слуховых аппаратов и многих других портативных устройств.

Одежда из материалов на основе нановолокон — одна из немногих областей, где нанотехнология уже находит практическое применение. Такая одежда не пропускает ультрафиолетовые лучи, обладает антибактериальными и антигрибковыми свойствами, практически не промокает под дождем и почти не пачкается.

К инкрементной группе следует также отнести различные зондовые нанотехнологии, такие как зондовая литография и наноиндентирование.

Среди методов создания наноструктур зондовые методы нанолитографии являются наиболее доступными. С момента создания сканирующего туннельного микроскопа, а затем и атомно-силового микроскопа, эти приборы из аналитических установок превратились в инструменты локального модифицирования и структурирования поверхностей на нанометровом уровне. Основные факторы данных технологических процессов определяют локальные электрические поля (сравнимые с внутримолекулярными и атомными), супервысокие плотности токов и вызываемое ими электродинамическое воздействие, сверхплотные локальные потоки теплоты (вызванные протекающими токами) и локальные механические деформации.

Раздельное или совместное действие этих факторов может приводить к регистрируемой локальной наномодификации или наноструктурированию поверхностей. При использовании сканирующих зондовых микроскопов как источника электронов для экспонирования электронорезистов и последующего проявления в стандартных рас-

творах достигается разрешение до 50 нм. Так, методом, основанным на переносе молекул с зонда на подложку посредством диффузии через мениск воды, разъединяющий зонд и подложку, были нанесены линии до 12 нм на расстоянии 5 нм одна от другой. Путем термомеханического стимулирования фазового перехода полимер — стекло обеспечивается формирование 100 нм углублений в пленках поликарбоната. Термомеханическая литография является базовой идеей создания терабитных запоминающих устройств, разработанных компанией «IBM».

Широкое распространение в зондовой литографии получил метод локального зондового окисления, который позволяет создавать оксидные области с типичными линейными размерами 3 нм.

Локальный управляемый межэлектродный поатомный массоперенос с применением силового туннельного микроскопа является в настоящее время единственным методом получения предельной миниатюризации при формировании наноразмерных объектов.

Различные методы зондовой нанотехнологии являются соединительным звеном между достаточно развитыми инкрементными нанотехнологиями и эволюционными нанотехнологиями.

2. Эволюционная нанотехнология связана с наномеханизмами, работы над которыми находятся на начальном этапе.

Как отмечено выше, по идее Дрекслера из фуллеренов, нанотрубок, наноконусов и других аналогичных структур могут быть собраны молекулы, имеющие форму разнообразных нанодеталей — зубчатых колес, штоков, деталей подшипников и других узлов, роторов молекулярных турбин, подвижных узлов манипуляторов и т.д. Сборка готовых деталей в работоспособную механическую конструкцию может осуществляться с использованием СЗМ либо ассемблеров (самосборщиков) с прикрепленными к деталям биологическими макромолекулами, способными избирательно соединяться друг с другом.

Изделия нанотехнологии, созданные на основе оптимальной сборки атомов и молекул, позволят получить их предельно высокие характеристики.

На рис. 32–34 приведены примеры механических конструкций от простейших до довольно сложных, рассчитанных методами молекулярной динамики и собранных из нанокомпонентов.

Наибольшего прогресса в этом направлении достигли японские ученые, создавшие микроскопический «подшипник», в котором потери на трение близки к нулю.

Как сообщили представители университета префектуры Айти, специалисты которого участвовали в экспериментах вместе с колле-

гами из токийского университета Сэйкэй, потери на трение настолько незначительны, что даже самые точные современные приборы не способны их зарегистрировать. Силу трения измеряли при помощи силового зондового микроскопа, но ее зафиксировать не удалось, так как она оказалась меньше триллионной доли Ньютона (единица измерения силы), что пока измерить невозможно.

Материалом для «вечного» миниподшипника послужили синтетические молекулы — фуллерены. В данном случае они состоят из 60 атомов углерода, расположенных в виде правильных пяти- и шестиугольников, которые вместе составляют шар. Эти вращающиеся «шарики» после сложного технологического процесса поставили в ряд между двумя удлиненными пластинками из графита.

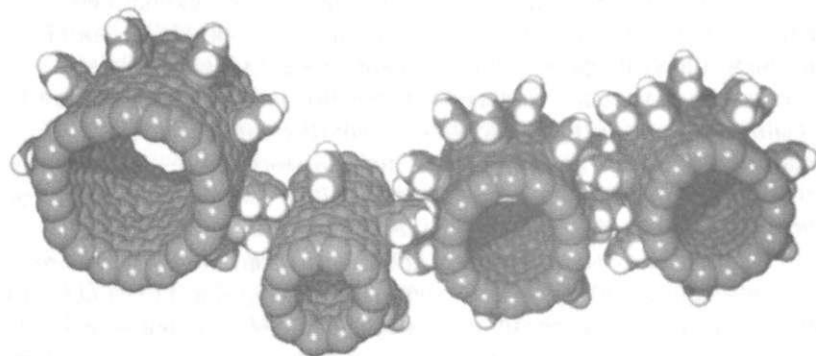


Рис. 32. Простейшие шестеренчатые передачи (разработка НАСА)

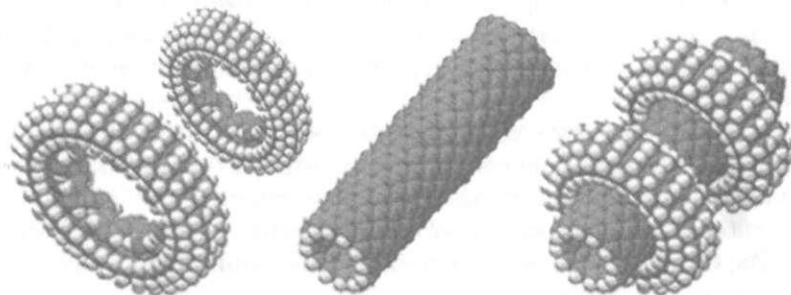


Рис. 33. Сборочные единицы наноподшипника

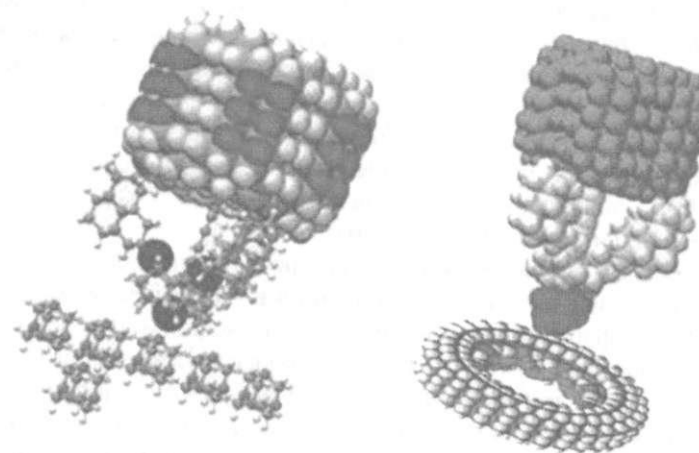


Рис. 34. Сборка конструкций наноманипуляторами

Реализован принцип безызносного подшипника, простейшая схема работы которого представлена на рис. 35. Это достижение нанотехнологии, по мнению ученых, планируется использовать в производстве миниатюрных роботов и микромеханизмов, детали которых практически не будут изнашиваться.

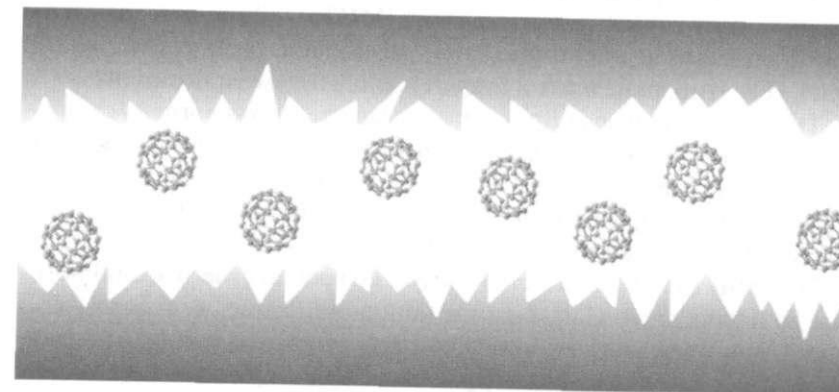


Рис. 35. Схема антиизносного механизма фуллеренов

В 2006 г. была создана молекулярная механическая «конструкция» — катящийся по золотой поверхности целномолекулярный че-

тырехколесный «автомобиль», работающий на поглощении энергии света. Однако у фуллереновых «колес» оказались слишком большие потери на сцепление с поверхностью, и их пришлось заменить карбоновыми (бороорганическими).

Наибольшее внимание это направление исследований получило в нанопроцессорной технике, вследствие чего далее оно будет рассмотрено подробнее, поскольку оно в будущем будет служить переходным звеном к радикальным нанотехнологиям.

3. Радикальная нанотехнология — нанороботы (предполагаемые конструкции и результаты их использования в настоящее время существуют лишь в фантастических рассказах и кинофильмах).

Они могут быть способны к перемещению в окружающей среде и снабжены бортовой системой управления. Нанороботы смогут быть использованы для решения широкого круга задач, включая диагностику и лечение болезней, в том числе борьбу со старением, для перестройки организма человека «по заказу», изготовления сверхпрочных конструкций вплоть до лифтов «Земля — орбита» и даже «Земля — Луна», терраформирования (изменения) Луны, других планет, их естественных спутников и т.д.

Идеи молекулярной нанотехнологии встречают и сильное противодействие. Наиболее известным критиком является первооткрыватель фуллеренов лауреат Нобелевской премии 1996 г. по химии Ричард Смолли. Несмотря на то, что в научной печати он признал ряд положений молекулярной нанотехнологии (МНТ) Э. Дрекслера, ранее им критиковавшиеся, некоторые иные возникшие разногласия можно будет, вероятно, разрешить в будущем лишь путем эксперимента.

Технология в смысле Дрекслера называется технологией «снизу — вверх»: более сложные объемы строятся из простых — отдельных атомов, молекул, наноструктур. В отличие от такого подхода, технология «сверху — вниз» предполагает получение малых изделий из больших объемов конструкционного материала.

По этому пути человечество следует со времен своего возникновения до наших дней. Современное машиностроение, не говоря уже о ремонтном производстве, недалеко ушло с нижнего уровня в направлении «верхних» технологий. При изготовлении ряда деталей до четверти объема материала заготовок переводится в стружку в процессе механической обработки.

В целом, если не принимать в расчет первый японский «нано-автомобиль» на фуллереновых «колесах», именно невозможность в настоящее время практически изготовить хотя бы простейшие из те-

оретически рассчитанных деталей (молекул) является наиболее слабым местом молекулярных нанотехнологий. К тому же современные методы расчета свойств крупных молекул далеки от совершенства, а точное решение соответствующей задачи квантовой механики значительно превосходит по своей сложности технические возможности самых мощных современных компьютеров.

ГЛАВА 8. НАНОПРОЦЕССОРНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Одной из сфер, где практические нанотехнологии уже сегодня сделали значительный шаг вперед, является электроника.

Вследствие действия различных факторов (как геометрических, так и физических) вместе с уменьшением размеров (повышением компактности) объектов значительно уменьшается и продолжительность протекания разнообразных процессов в конкретной системе, т.е. возрастает ее потенциальное быстродействие. При дальнейшем значительном сокращении размеров в поведении электронов начинают преобладать свойства волны, а не частицы, вступают в действие законы квантовой механики, на смену битам приходят квантовые биты (*qubit*).

В настоящее время в серийно выпускаемых компьютерах достигнуто быстродействие (время, затрачиваемое на одну элементарную операцию) около 1 нс, однако применение ряда наноструктур открывает потенциальные возможности его сокращения на несколько порядков. В то же время существующие сейчас технологии массового производства практически достигли своих теоретических возможностей и требуют качественного обновления, в том числе разработки технологий, использующих волновые эффекты.

Выше отмечалось, что наиболее реально ожидаемое и самое эффективное практическое применение нанотехнологии должны получить в области нанозаписи и хранения информации, поскольку компьютерная память основана на том, что бит (единица информации) задается всего двумя состояниями среды (магнитной, электрической, оптической), в которой записывается информация. Как известно, элемент памяти показывает, имеется ли какой-то показатель или его нет, включено что-то или выключено, присутствует что-либо или отсутствует и т.д. Исходя из этого, можно реализовать такую ситуацию на поверхности, когда 1 бит будет записан в виде скопления, например, 100 или даже 10 атомов. Как отмечается рядом авторов, если такая память будет создана, всё содержание библиотеки Конгресса США уместится

на одном диске диаметром 25 см. Для сравнения укажем, что для этого потребовалось бы 250 000 лазерных компакт-дисков.

В обычных условиях на перестроение всей концепции создания процессоров и микросхем ушло бы лет 50. Однако у человечества нет такого запаса времени. Скорейшая необходимость в переходе на новые концепции схемотехники обусловлена тем, что кремниевые технологии уже практически исчерпали себя и создавать что-то принципиально новое, более инновационное, на имеющейся технологической базе уже практически невозможно.

С другой стороны, по данным социологических исследований, проведенных в 2005 г., лишь 13,9 % населения мира имеют доступ к сети Интернет. Отсутствие возможности использования информационных ресурсов и технологий большинством жителей Земли отрицательно сказывается на уровне образования, межкультурных коммуникациях и росте экономического благосостояния. Использование нанотехнологий позволит решить эту проблему за счет значительного снижения цены и повышения качества элементов памяти, мониторов, процессоров, элементов на солнечных батареях, встроенных информационных систем и т.д.

Известно, что все многослойные нанотрубки — полупроводники. В декабре 2005 г. было опубликовано официальное сообщение Международной ассоциации производителей полупроводников (*International Technology Roadmap for Semiconductors*) от имени Международного комитета производителей. В сообщении говорится о начале перехода к посткремниевой эре в схемотехнике. Производители из США, Европы, Японии, Кореи и Тайваня планируют в ближайшее время разработать и представить объединенный план перехода на новую технологию. В ближайшие 10...15 лет может начаться массовый переход с кремния (основного материала в производстве полупроводниковых устройств) на углеродные нанотрубки.

Так, фирма “Fujitsu” уже предложила практически пригодные радиаторы для охлаждения мощных процессоров, используя достижения нанотехнологий. Известный производитель жестких магнитных дисков, компания “Seagate” запатентовала технологию повышения плотности записи при помощи использования нанотрубок в качестве смазочного материала.

Дело в том, что плотность записи можно повысить и путем сокращения зазора между считывающе-записывающими головками и самой магнитной поверхностью-носителем. “Seagate” предлагает ввести головки практически в полный контакт с магнитной поверхностью, например диском, разделив их тончайшим слоем смазочного матери-

ОСНОВЫ ПРИКЛАДНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

ала на основе нанотрубок. Специальный лазер будет подогревать ту часть пластины, где работает считывающая головка, что позволит повысить точность ориентации магнитных частиц. Предполагается, что таким образом можно будет создавать достаточно компактные и недорогие накопители информации емкостью несколько тысяч терабайт.

Американская компания “Nantero” представила новый тип памяти для компьютера, в котором также используются нанотехнологии. Эту разновидность памяти компания назвала «памятью с произвольным доступом, основанной на нанотрубках и не требующей постоянного питания» (*NRAM — Nanotube-based / Nonvolatile RAM*).

Новые чипы будут не только более емкими по сравнению со ставшей традиционной флэш-памятью, но и более быстрыми и намного более долговечными. Для организации массового производства новых чипов “Nantero” сотрудничает с американской компанией “LSI Logic”, известным производителем микросхем и полупроводниковых устройств. Ее представитель отметил, что первые промышленные образцы *NRAM* должны появиться в ближайшее время.

В мире с каждым днем производится всё больше информации, и необходим рост вычислительных мощностей — такой, который предусмотрен первым законом Гордона Мура (основателя корпорации “Intel”). Он еще в 1964 г. заявил, что если тенденция появления через каждые 18...24 месяцев новых, вдвое более мощных микросхем будет сохраняться, то общая мощность вычислительных устройств экспоненциально возрастет на протяжении относительно короткого промежутка времени. Поскольку по сегодняшний день этот закон не нарушается, то есть все основания предполагать, что и в ближайшее время его положение не изменится.

На сегодняшний день мировой лидер в производстве чипов, компания “Intel” планирует представить 65-нанометровую технологию, которая позволит изготавливать самые малые в мире транзисторы, однако даже она еще очень далека от подлинных нанотехнологий.

В 2007 г. фирма “Intel” планирует выпустить интегральную схему 20 ГГц, состоящую из 1 млрд. транзисторов, которая позволит с легкостью решать сложные задачи обработки голосовых команд и языкового перевода. Современные процессоры состоят более чем из миллиарда транзисторов, но первые образцы наноустройств сразу же смогут увеличить это число примерно в 1000 раз. Цель будущего десятилетия — создать процессор, имеющий более 1 триллиона транзисторов. Соотношение производительности этого процессора и аналогичного показателя такого процессора, как *Pentium 4*, будет примерно анало-

гично производительности современного компьютера по сравнению с первыми ЭВМ на электронных лампах.

В апреле 2007 г. в США поступили в продажу компьютеры с емкостью жесткого диска в 1 Тб (10^{12} байт). На нем можно разместить информацию, равнозначную 50 млрд. печатных страниц (на производство такого количества бумаги необходимо было бы переработать около 50 тыс. деревьев), 380 часов (около 16 суток) видеоматериала в формате *DVD*, миллион фотографий в высоком разрешении или около 250 тыс. музыкальных файлов (от полутора до двух лет непрерывного прослушивания).

Вероятно, наиболее быстрые и производительные компьютеры будущего будут использовать именно наноэлектронную технологию, возможно, они будут использовать спинтронику или фотонику. Однако не исключено, что самые малые компьютеры будут созданы на совершенно другой элементной базе. Дрекслер предполагает, что такой базой может стать наномеханика. Он предложил механические конструкции для основных компонентов нанокomпьютера — ячеек памяти, логических байтов. Основными их элементами являютсядвигаемые и выдвигаемые стержни, взаимно запирающие движение друг друга.

При ширине стержня в несколько атомных размеров (например, при использовании углеродных нанотрубок) компьютер, эквивалентный современному с 1 млн. транзисторов, может иметь объем в $0,01 \text{ мкм}^3$, компьютер с памятью в 1 Тб — объем в 1 мкм^3 . Как и в случае с наноэлектроникой, быстродействие наномеханического компьютера будет определяться возможностью отвода теплоты. Расчёты Дрекслера показывают, что при температуре окружающей среды около 300 К на один Ватт рассеиваемой мощности такой компьютер будет осуществлять приблизительно 10^{16} операций в секунду. При мощности 100 нВт (предполагается, что такую мощность сможет без специального охлаждения рассеять упомянутый выше компьютер с объемом $0,01 \text{ мкм}^3$) будет обеспечиваться производительность 10^9 операций в секунду, что примерно эквивалентно мощному современному настольному компьютеру.

Миниатюризация компонентной базы вычислительной техники и увеличение тактовой частоты представляют собой магистральное направление развития нанотехнологий. К настоящему времени доказана работоспособность ряда активных компонентов — транзисторов, диодов, ячеек памяти, состоящих из нанотрубок, нескольких молекул или даже из единственной молекулы. Передача сигнала может осуществляться одним электроном. Пока не решены проблемы, связанные со сборкой таких компонент в единую систему, соединения их нанопро-

fili

pili

li

ii'i'

fili'l

li'l'

fili'l'

водами. Тем не менее, можно не сомневаться, что решение этих проблем — вопрос времени. Если эти показатели будут достигнуты, то этого будет вполне достаточно, чтобы оснастить бортовым компьютером микронного размера наноустройство, например, медицинского назначения.

Однако уже в настоящее время первые разработки в области наноскопических датчиков успешно применяются в военных целях. Новые поколения сенсорных массивов и аналитического программного обеспечения создадут новые возможности для внедрения в чужие базы данных и перехвата нужной информации. Испытанные американцами во время военной кампании в Афганистане микроскопические датчики, «*Smart Dust*» («умная пыль»), похожие на пушинки миллиметровых размеров, показали высокую эффективность. Их новизна заключается в том, что сигналы большого количества разнородных элементарных датчиков принимаются и анализируются централизованно, а сами датчики очень дешевы в производстве, так как являются массовым продуктом.

Микроскопические частички «*Smart Dust*» разработала и изготовила группа исследователей под руководством профессора химии и биохимии М. Сэйлора из Калифорнийского университета в Сан-Диего. Сэйлор заявил: «Эти пылинки — ключ к разработке роботов размером с песчинку. В будущем можно будет создать миниатюрные устройства, передвигающиеся в крошечных средах, вроде вен или артерий, к определённым целям, обнаруживать там химические или биологические составы и передавать информацию о них во внешний мир. Такие устройства могли бы быть использованы для контроля чистоты питьевой или морской воды, обнаружения опасных химических или биологических агентов в воздухе и даже нахождения и уничтожения повреждённых клеток в организме человека».

Создание «умной пыли» — это результат электрохимического процесса механической обработки и химических модификаций. Вначале берется кремниевый чип, из которого гравировкой химикатами получается пористая фотонная структура. Затем эта структура модифицируется, чтобы получилось цветное двустороннее зеркало — красного цвета с одной, зеленого цвета — с другой стороны (рис. 36). Стороны пористой зеркальной поверхности ученые наделяют практически противоположными свойствами. Одна сторона — гидрофоб, т.е. водоотталкивающая, но «любящая» маслянистые вещества, другая — гидрофил (привлекательная для воды). После того как зеркальный чип разрушается ультразвуком, от него остаются микроскопические частички диаметром с человеческий волос. Каждая из них теперь является крошечным датчиком, и поэтому получилось семейство самооргани-

зующихся сенсоров. При появлении влаги пылинки «гидрофильной» красной стороной поворачиваются к воде, а зеленой «гидрофобной» стороной — к воздуху. Когда же появляется маслянистое (нерастворимое в воде) вещество, частички окружают каплю, прижимаясь к ней «гидрофобной» стороной. Ввиду того, что стороны разноцветные, по окраске можно определить, что происходит в этой «пыльной» среде. По словам М. Сэйлора, частицы могут быть запрограммированы на миллионы всевозможных реакций, что дает возможность обнаружить присутствие тысяч химических веществ одновременно.

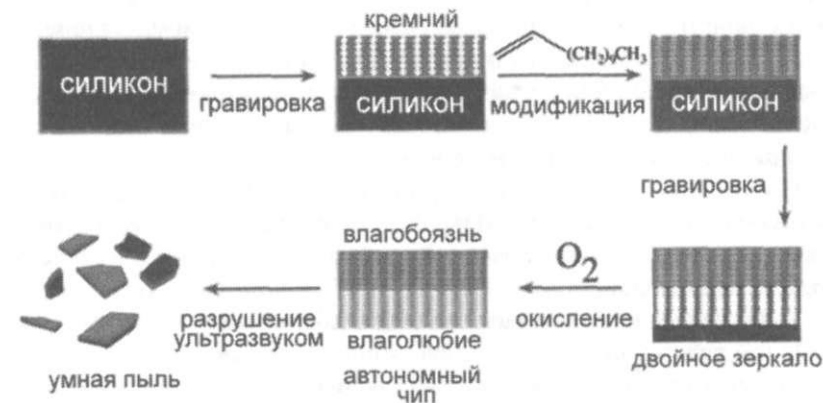


Рис. 36. Схема изготовления и работы «умной пыли»

Длины волн света или цвета, отраженного от поверхностей пылинок, после того как поры отреагируют на химический или биологический агент — это своего рода штрих-код. Каждая частичка слишком мала, чтобы по ее цвету определить изменения, однако совокупность из сотен или тысяч пылинок уже достаточно заметна для лазера даже на расстоянии 20 м. В университете Сан-Диего поставили цель разглядеть изменения с расстояния в километр. Работу над «пылинками» профессор Сэйлор с коллегами ведет несколько лет. В 2002 г. они представили частички с односторонней зеркальной поверхностью. Финансовую поддержку ученым оказывает Национальный научный фонд США и озабоченные борьбой с терроризмом военные в лице Управления научных исследований ВВС и агентства Пентагона по передовым оборонным разработкам «*DARPA*».

Важным достижением в области эволюционных нанотехнологий следует признать работы ученых из университета Брауна и Бостонско-

го колледжа с молекулами ДНК. По сообщению *physorg.com*, они сумели использовать возможности кодирования информации, которыми обладает молекула ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота), для производства проводящих микроволокон из окиси цинка. Применение молекулы ДНК в качестве «сборочного устройства» и собственно строительного материала нанотехнологий также обусловлена тем, что фосфат в ее составе несет отрицательный заряд. Нановолокна из оксида цинка формировались на поверхности углеродных нанотрубок. Таким образом, впервые уникальные свойства ДНК были использованы для создания наноматериала с заданными свойствами. Уникальность свойств этих наноструктур состоит в том, что они могут генерировать и обнаруживать свет, а при приложении механического усилия производить электроэнергию. Оптические и электрические свойства нановолокон могут быть использованы во многих технологиях — от медицинской диагностики до сенсоров.

По мнению доктора А. Лазарека (*Lazareck*) из университета Брауна, использование молекул ДНК для создания наноматериалов является первым шагом в применении биологических объектов в качестве средств производства.

В ходе эксперимента молекулам ДНК была обеспечена среда для их обычной работы по «производству» деталей наноконструкций. Создание такой химической среды, молекулярный дизайн и использование соответствующей «механики» — светочувствительных белков или вирусных «моторов» — все эти методы могут быть использованы для создания сверхминиатюрных приборов и материалов. При этом впервые в мировой практике группа д-ра Лазарека использовала ДНК в качестве «инструкции» для систем «самосборки» наноэлементов.

На основе одинаковых по размерам нанотрубок были произведены унифицированные структуры, состоящие из миллиардов таких элементов, равномерно распределенных на поверхности пленки из окиси алюминия. На концах нанотрубок и были помещены фрагменты ДНК, несущие информацию в виде последовательности 15 «букв» генетического кода. Эти фрагменты специфически комплементарны ленте из других 15 кодонов (триплетов), соединенных с наночастицами золота и играющих роль «сборочных устройств». Создание нановолокон завершилось после введения в химическую среду арсенида цинка и ее последующего нагревания до 600°C. В результате образовались волокна из окиси цинка длиной порядка 100...200 нм.

В настоящее время установлено, что наночастицы из золота или полупроводников можно прикрепить практически к любым биоло-

гическим молекулам, чтобы затем с помощью электронных приборов контролировать их поведение. «Это можно делать на расстоянии, обратимо и точно, — заявляет Шугуан Чжан, заместитель директора Центра биомедицинской инженерии Массачусетского технологического института, один из авторов исследования. — Это пригодится для того, чтобы как следует разобраться в тонкостях взаимодействия между молекулами».

Инициатором таких работ был квантовый физик Дж. Якобсон. Он начал заниматься биологией, чтобы создавать машины нанометрового размера, орудуя отдельными атомами и молекулами. Ученый поставил сложную цель, поскольку до сих пор инженеры с большим трудом делают компьютерные чипы меньше 30 нм. Вместе с тем в живом организме очень много более компактных работающих систем: любая живая клетка — это своего рода био завод с источниками энергии, чертежами клеточного хозяйства, средствами производства и утилизации.

Якобсон и его коллеги из Центра биомедицинской инженерии прикрепили к молекуле ДНК особую радиоантенну, собранную из примерно сотни атомов металла. При облучении радиоволнами с определенной длиной волны молекула переходила в новое состояние.

Управление биомолекулами с помощью радиосигналов — самое современное направление исследований, способное произвести революцию и в методах исследования живого мира, и в биотехнологиях. Можно будет во всех деталях изучать поведение отдельных живых молекул, не травмируя близлежащие клетки. Чжан приводит такое сравнение: «Можно разговаривать с человеком из толпы через громкоговоритель, а можно по мобильному телефону».

На основании этого можно считать технологию «умной пыли» первым звеном в разработке и использовании электронных эволюционных нанотехнологий, а применение ДНК для создания наноматериалов — первым шагом в использовании биологических молекул в качестве средств производства.

ГЛАВА 9. «ЛОТОС-ЭФФЕКТ» И САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ ПОКРЫТИЯ

В середине 1970-х гг. профессора ботаники Боннского университета (ФРГ) В. Бартхлотт и К. Найнхус (*Neinhuis*) обнаружили, что листья и цветки некоторых растений почти не загрязняются, а также тот факт, что этот феномен протекает в их наноструктурированных поверхностных областях. Впоследствии это явление ими было запатентовано и названо в честь наиболее яркого представителя таких растений «лотос-эффектом» (*Lotus-effect*[®]).

Издревле цветок лотоса считается в буддизме символом незапятнанной чистоты: как известно листья и нежно розовые цветки лотоса распускаются из грязной тины водоемов безупречно чистыми (рис. 37).

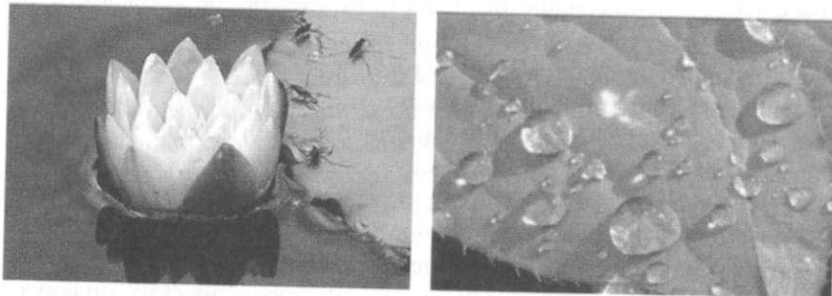


Рис. 37. Цветок лотоса (*Nelumbo nucifera*) и капли влаги на несмазываемой поверхности листа

Этот феномен самоочистки детально исследовался и позволил открыть удивительные возможности природы защищаться не только от грязи, но также и от различных микроорганизмов. Данный эффект наблюдается не только у лотоса, но и на многих других листьях растений, таких как капуста, камыш, водосбор, тюльпан, а также у животных (крылья стрекоз и бабочек). Они наделены природой свойством

защиты от различных загрязнений, в большей степени неорганического происхождения (пыль, сажа), а также биологического происхождения (споры грибов, микробов, водоросли и т.д.).

С использованием электронных микроскопов учеными было обнаружено, что поверхности листьев, цветков и побегов покрыты тонкой внеклеточной мембраной — поверхностным слоем. Эпидермис листьев и цветков некоторых растений выделяет воскоподобное вещество кутина, представляющего собой смесь высших жирных кислот и их эфиров. Жиры и жироподобные вещества, входящие в состав липидов — природных органических соединений, являются одним из основных компонентов биологических мембран. Липиды участвуют в обмене между растениями и окружающей средой (рис. 38).

Взаимодействия между твердыми телами и окружающей средой происходят почти исключительно в поверхностных (пограничных) слоях (межфазовой зоне), что справедливо также и для этих биологических систем. Биологические поверхности, созданные за миллионы лет в результате эволюции, являются максимально оптимизированными, мультифункциональными системами. Они обеспечивают механическую стабильность, терморегулирование, контроль водно-солевого обмена, газовое регулирование и т.д. Постоянное загрязнение листьев растений нарушает в них многие биологические процессы.

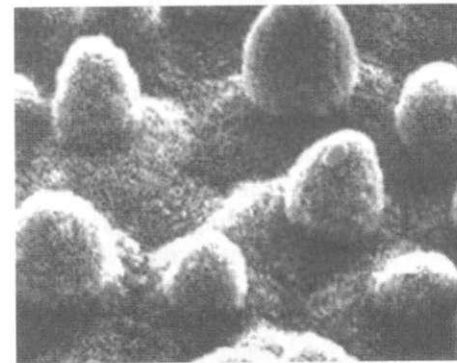


Рис. 38. Поверхность листа лотоса под электронным микроскопом

Лотос-эффект не является каким-то случайным феноменом, а возник в результате эволюции и вызван необходимостью выживания растений. Наряду с неорганическими загрязнениями, отрицательно воздействующими на живую ткань (происходит более высокий нагрев под солнечным облучением, проявляется действие кислоты и др.), большую опасность для растений представляют органические формы

в виде спор грибов, бактерий или водорослей. Лотос-эффект предотвращает появление патогенных субстанций на таких поверхностях: споры легко смываются при каждом дожде, а при отсутствии дождя нет и влаги для прорастания спор.

На оптимизированных поверхностях (например, цветке лотоса) проявляются супергидрофобные качества, такие, что, например, мед и даже клей на водной основе не прилипают, а полностью стекают с такой поверхности.

Степень увлажнения твердого тела описывается с помощью контактного угла α , входящего в формулу

$$\sigma_{т-г} - \sigma_{т-ж} = \sigma_{ж-г} \cdot \cos \alpha,$$

где $\sigma_{т-г}$ — напряжение на межфазной границе «твердое тело — газ» (МПа);
 $\sigma_{т-ж}$ — напряжение в межфазной границе «твердое тело — жидкость» (МПа);
 $\sigma_{ж-г}$ — напряжение в межфазной границе «жидкость — газ» (МПа).

Контактный нулевой угол обеспечивает полное увлажнение, это значит, что капля воды стремится растянуться к состоянию мономолекулярной пленки на поверхности твердого тела. Контактный угол в 180° указывает на совершенную несмачиваемость, так как капля касается поверхности в только одной точке. Материалы с высоким напряжением граничных поверхностей увлажняются лучше, чем даже, например, тефлон — материал с одним из самых низких напряжений граничных поверхностей. Поведение воды на поверхности зависит от состояния поверхности. Если относительно гладкая поверхность достаточно увлажняемая, то самоочистка еще более улучшается (рис. 39).

Попавшая на поверхность листа капля воды удаляет с него частицу загрязнений. При этом частицы загрязнений не проникают во внутреннюю часть капли, а равномерно распределяются по ее поверхности. Замечено, что гидрофобная субстанция удаляется каплями воды с гидрофобной поверхности. При рассмотрении условий протекания эффекта лотоса на наноскопическом уровне механизм этого явления становится более понятным.

Можно представить себе массажную щетку, на зубьях которой лежит клочок бумаги, изображающий частицу загрязнений. Пятно «грязи» расположено только на самых вершинах зубьев, не соприкасаясь с поверхностью щетки (рис. 40, справа). Сила прилипания грязи обусловлена площадью поверхности взаимного контакта. Если бы поверхность была гладкой или имела макрорельеф, как на рис. 40, слева, то площадь контакта оказалась бы значительной и грязь удерживалась бы достаточно прочно. Однако из-за острых концов зубьев площадь контакта минимальна, и грязь как бы «висит на ножке». То же проис-

ходит и с каплей воды. Она не может «растечься» по остриям, и поэтому стремится свернуться в шарик (рис. 40, справа).

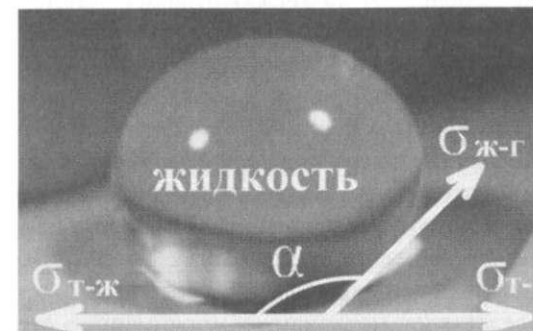


Рис. 39. Капля жидкости на супергидрофобной поверхности (капля касается листа только в нескольких точках и стягивается за счет поверхностного натяжения к шару и при самых незначительных углах наклона она свободно скатывается)

Аналогичное явление происходит и с грязью на восковых кристалликах, покрывающих листья лотоса. Поверхность соприкосновения загрязнений с поверхностью листа также крайне незначительна. При этом силы сцепления между каплями воды и частицей загрязнения оказываются значительно более высокими, чем между этой же частицей и восковым слоем листа.

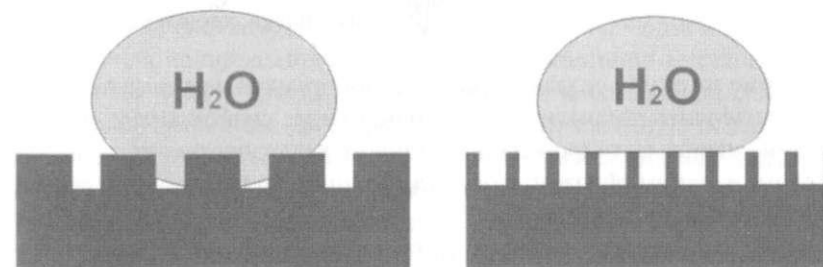


Рис. 40. Положение капли воды на макро (слева) и наноповерхности (справа)

У пятна загрязнения имеются две возможности: либо продолжать неустойчиво балансировать на шипах, либо «слиться» с гладкой ров-

ной поверхностью движущейся водной капли, вследствие чего частицы загрязнений притягиваются к поверхности водной капли и легко смываются даже небольшим количеством воды. Капли воды, обволаоченные повстречавшимися на пути хлопьями грязи, скатываются вниз, оставляя за собой чистую сухую поверхность.

Так как лотос-эффект основан исключительно на физико-химических явлениях и свойствах растений и не привязан только к живой системе, то самоочищающиеся поверхности можно технически воспроизвести для всевозможных самоочищающихся материалов и покрытий. Именно поэтому в последнее время проводятся интенсивные исследования по разработке и производству устойчивых к загрязнению и самоочищающихся поверхностей и покрытий.

На рис. 41 представлен механизм «самоочищения» стекла автомобиля, обработанного специальными нанополиролями. Поверхность модифицирована таким образом, что капля воды катится по ней, собирая грязь, тогда, как на гладкой поверхности, наоборот, капля воды, сползая, оставляет грязь на месте.

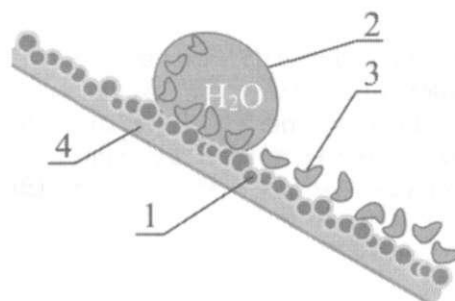


Рис. 41. Схема реализации «лотос-эффекта»:

1 — нанопокрывтие; 2 — капля жидкости (воды); 3 — загрязнение; 4 — поверхность (стекло, краска, керамика и т.д.)

Кроме того, уже создано несколько материалов, которые позволяют производить покрытия, обладающие также свойствами и «маслобоязни» наряду с «гидробоязнью». Они не увлажняются ни водой, ни маслом, и, таким образом, могут квалифицироваться как ультрафобные материалы и покрытия.

« Один из секторов практических достижений нанотехнологий — получение прочных и стойких материалов, обладающих самоочищающимися свойствами, для лакокрасочных покрытий автомобилей и другой транспортной техники, фасадных красок, зеркал, керамики, текстиля и ряда других целей (рис. 42).

Так, в 1999 г. немецкая компания «Nanogate Technologies GmbH» из г. Саарбрюккен победила в конкурсе на разработку самоочищающегося

ся покрытия для керамики — «WunderGlass», объявленном концерном «Duravit AG». На выставке CEVISAMA-2000 в Испании был показан еще один продукт — покрытие для плитки «Sekcid», разработанное фирмой в результате стратегического партнерства с испанским концерном «Torrecid S.A.» — одним из мировых лидеров в сфере производства фритты (керамических сплавов) и глазурей для керамической промышленности. В настоящее время идет работа над продуктом «Cleartec» для душевых кабин фирмы «Duscholux GmbH».

В последнее время нанотехнологии постепенно приходят и в машиностроение, в частности автомобилестроение и автохимию. Так, автомобильный концерн «БМВ» разработал на базе нанопорошков самоочищающиеся автомобильные поверхности, а на автомобилях «Ауди» такие порошки уже применяют для создания прочных зеркал и отражателей, стойких к царапинам.

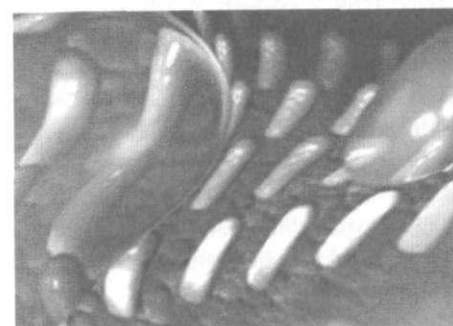


Рис. 42. Капля жидкости на наноповерхности эмали

Немецкая фирма «Дуалес Систем Дойчланд АГ» одной из первых представила на проходившей в Ганновере всемирной выставке «ЭКСПО-2000» новую краску для автомобилей, обладающую самоочищающимся эффектом. Для мойки сильно загрязненную поверхность машины достаточно полить водой. Американская фирма «Дженерал Моторс» также объявила о намерении использовать подобные материалы для наружной отделки автомобилей.

Легковые автомобили «Мерседес-Бенц» с лакокрасочным покрытием на основе нанотехнологии отмечены наградой на специализированной выставке «Automechanika» как «самые легкомоющиеся автомобили 2004 года». Новый прозрачный лак обеспечивает высокую и длительную прочность покрытия, а также образцовую сохранность моделей этих автомобилей, что высоко ценится на вторичном рынке подержанных автомобилей. В структуру нового прозрачного лака

включены микроскопические керамические частицы, созданные на основе нанотехнологии, которые в процессе высушивания в лакокрасочном цехе отвердевают, образуя на поверхности лакового покрытия чрезвычайно плотную сетчатую структуру. Благодаря этому в три раза повышается прочность лака и обеспечивается более интенсивный и долговечный блеск покрытия. Автомобили «Мерседес-Бенц» являются первыми в мире автомобилями, в серийную комплектацию которых входит покрытие из прозрачного лака на основе нанотехнологии. Оно применяется как для покрытий типа «металлик», так и для обычных лакокрасочных покрытий.

В ассортименте окрасочных материалов немецкой фирмы «Аллигатор» появился инновационный материал, разработанный на основе применения нанотехнологии — фасадная силикатная краска «Кизелит-Фузьон» с уникальными характеристиками. Она была впервые представлена на лакокрасочной выставке в Кельне в апреле 2005 г. Материал с наноструктурой обеспечивает высокую адгезию покрытия не только к минеральным типам подложек, но и к органическим основаниям. Благодаря сверхмалым размерам частиц достигается также высокая прочность и стойкость покрытия к внешним воздействиям, в том числе к мокрому истиранию (класс I согласно EN 13300). Комбинация пигментов-наполнителей в сочетании с микроструктурной поверхностью является решающей для фотокаталитического действия краски — грязь на окрашенной поверхности распадается благодаря воздействию света. Сочетание новой микроструктуры и светостойких пигментов обеспечивает как высокую насыщенность цвета, так и устойчивость покрытия к ультрафиолетовому излучению в целом, что позволяет фасаду зданий и сооружений долгое время сохранять первозданный внешний вид. Коэффициент влагопоглощения этой краски, равный 0,09 кг/м²час, гарантирует защиту от дождя. Данная характеристика очень востребована в российских климатических условиях. Коэффициент паропроницаемости краски равен 0,001 м, что практически невозможно измерить. Подобное значение обеспечивает максимальную степень «дыхания» стен, полностью поддерживая естественный режим по влажности стен здания.

Вследствие высокой проникающей способности к диоксиду углерода, которая крайне необходима для процессов карбонизации извести, обеспечивается беспрепятственное упрочнение и сохранение известковых штукатурок и старых кладочных растворов.

На основе биохимического метода создана технология синтеза наночастиц серебра, стабильных в растворах и в адсорбированном

состоянии. Наночастицы серебра обладают широким спектром антимикробного (биоцидного) действия, что позволяет создавать широкую номенклатуру продукции с высокой бактерицидной и вирулицидной активностью. Наночастицы серебра могут использоваться для модификации традиционных и создания новых материалов, дезинфицирующих и моющих средств, косметической продукции при незначительном изменении технологического процесса существующего производства.

Наночастицы серебра синтезируются в водном и органическом растворах, наносятся на поверхность и вводятся в структуру материалов, придавая им антимикробные свойства. Антимикробное действие лакокрасочных покрытий с наночастицами серебра подтверждено при натурных испытаниях. Организовано мелкосерийное производство растворов наночастиц серебра в лабораторных условиях, налажен выпуск биоцидных лакокрасочных материалов (на основе пентафталевых эмалей и вододисперсионных красок) и зубной пасты. Антимикробные краски с наночастицами серебра по сравнению с аналогичной продукцией с добавками производных полигексаметиленгуанидина (ПГМГ) безопаснее и дешевле в производстве, поэтому в настоящее время краски с включением наночастиц серебра часто применяются для создания высокого бактерицидного эффекта.

Одним из примеров использования нанотехнологий является также разработка новых окрашивающих материалов для поездов, которая призвана защитить поверхности вагонов от рисования и нанесения надписей, делая их поверхность настолько гладкой, что никакие другие краски не могут на ней закрепиться.

Во многих случаях фасадные краски должны быть эластичными, чтобы перекрывать, например, трещины штукатурки на критических подложках. Эластичность, однако, всегда предполагает также адгезию в определенном объеме, поэтому в таких случаях усиленное загрязнение заранее запрограммировано. Чтобы противодействовать этому, после многолетних практических испытаний фирмой «Caparol» было разработано новое, устойчивое к загрязнению, защитное покрытие «Silamur».

«Silamur» является водным, чисто силикатным продуктом, действие которого основано на минерализации окрашенной поверхности. После высыхания материала возникает микропористый слой мельчайших кварцевых частиц, диаметр которых порядка миллионных долей миллиметра. С такой микроструктурой материал относится к так называемым микроскопическим поверхностным покрытиям. Они

- 112 -

Так, проект *"Lucky Bee"* российско-американской компании «Лаборатория триботехнологии» по разработке косметики для автомобиля на основе нанотехнологий (в том числе с использованием «эффекта лотоса») представляет собой одновременно и исследовательский проект, и эксперимент в области химического дизайна и дизайна упаковки.



113-

Проект “*Lucky Bee*” является выражением новых социальных, экологических и технических тенденций. В свете этих тенденций «уход за автомобилем» становится чем-то большим, нежели просто процессом удаления загрязнений и полировки автомобиля. Он становится скорее процессом создания нового ощущения чистоты, прозрачности и внутренней свободы.

Моющие и полирующие средства компании являются «дружелюбными» для окружающей среды. Не случайно продукция фирмы неоднократно удостоивалась высоких международных наград. Так, на Сеульской международной выставке изобретений “*SIIF-2004*” в Корее продукция марок “*Fenot*” и “*Lucky Bee*” отмечена золотой наградой за использование наноматериалов в производстве продукции для обслуживания автомобилей.

В Нюрнберге (Германия) на Всемирной выставке изобретений “*IENA-2004*” автополироли “*Lucky Bee*” отмечены серебряной наградой.

На Международном салоне изобретений, новой техники и товаров в Женеве (Швейцария) в 2005 г. компания получила золотую награду за использование наноматериалов в моющих средствах и полиролях для ухода за автомобилями.

В Москве на XII Московской промышленной выставке компания награждена золотой медалью «Лучшая отечественная продукция 2006 г.» за автомобильную нанополироль “*Lucky Bee*”.

В настоящее время компания «Лаборатория триботехнологии» приступила к выпуску новых нанопрепаратов автокосметики с использованием «эффекта лотоса», таких как «антидождь — нанозащита стекла» и «антигрязь — нанозащита шин».

ГЛАВА 10. «ЭФФЕКТ БЕЗЫЗНОСНОСТИ» И ТЕХНОЛОГИИ НА ЕГО ОСНОВЕ

Относительно недавно считалось, что трение в подвижных соединениях только разрушительный процесс, приводящий к отказу узла или машины в целом и в связи с этим к огромным материальным затратам. Открытие избирательного переноса (ИП) при трении, или так называемого «эффекта безызносности», сделанное советскими учеными Д.Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским в 1956 г., позволило изменить сложившееся представление о механизме изнашивания и трения.

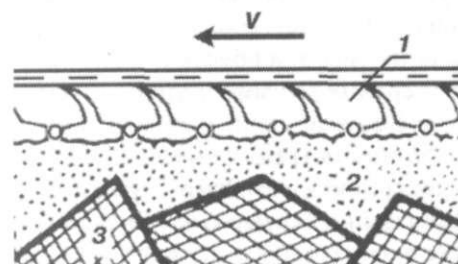


Рис. 44. Структура сервоитной пленки (по Д.Н. Гаркунову):

1 — полимерная серфинг-пленка; 2 — медная пленка; 3 — медьсодержащий материал

Ими было обнаружено неизвестное ранее явление самопроизвольного образования тонкой пленки меди в парах трения бронза—сталь деталей самолетов в условиях смазывания их спиртоглицериновой средой и консистентной смазкой ЦИАТИМ-201 (рис. 44). Особенностью эффекта было то, что пленка покрывала не только бронзовую деталь, но и сопряженную с ней стальную поверхность. При этом образовавшаяся тончайшая медная пленка снижала износ и уменьшала силу трения в соединении в 10 и более раз.

В дальнейшем при анализе условий работы и трущихся поверхностей деталей поршневого компрессора бытового холодильника было обнаружено аналогичное явление в паре трения сталь—сталь. В данном случае это являлось следствием растворения масло-фреоновой

смесью медных трубок охладителя, находящихся на удалении от зоны трения (рис. 45).

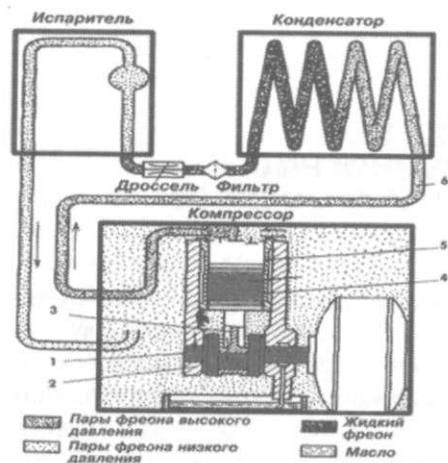


Рис. 45. Реализация «эффекта безызносности» в бытовом холодильнике:

1 — коленчатый вал; 2 — подшипник; 3 — шатун; 4 — поршень; 5 — гильза цилиндра компрессора; 6 — медные трубки охладителя (темным цветом выделены зоны образования сервоитной пленки)

Сущность ИП, согласно обнаруженного явления, заключается в том, «... что при трении медных сплавов о сталь в условиях граничной смазки, исключающей окисление меди, происходит явление избирательного переноса меди из твердого раствора медного сплава на сталь и обратного ее переноса со стали на медный сплав, сопровождающееся уменьшением коэффициента трения до жидкостного и приводящее к значительному снижению износа пары трения...». Это явление первоначально было названо атомарным переносом. Позднее, в 1968 г. явление ИП было определено как «... вид фрикционного взаимодействия, характеризуемый в основном молекулярной составляющей силы трения. ИП возникает в результате протекания на поверхности контактирующих тел химических и физических процессов, приводящих к образованию самоорганизующихся систем автокомпенсации износа и снижения коэффициента трения. Для этого явления наиболее характерно образование защитной (сервоитной) пленки, в которой реализуется особый механизм деформации, протекающий без накопления дефектов, свойственных усталостным процессам». Название «сервоитная» (пленка) происходит от латинского *servo vitte* — спасти жизнь, что подразумевает предотвращение трущихся поверхностей от изнашивания.

Обнаружив необычное явление, но не имея в то время необходимого инструментального оборудования, ученые в полной мере не смогли

объяснить физическую сущность процесса и разработать теоретические аспекты прогнозирования условий возникновения и протекания эффекта безызносности.

Проведенные в последнее время исследования указывают, что реальная толщина такой пленки не превышает $1000 \text{ \AA}$ (100 нм), т.е. с полной уверенностью можно отнести данное явление к проявлению нелинейных эффектов в наномире. Это на первый взгляд незначительное уточнение позволяет объяснить многие процессы избирательного переноса при трении с позиций современной наноауки и практически реализовать эффект безызносности трущихся поверхностей (не только медьсодержащих) с использованием последних достижений нанотехнологий.

Исследования с позиций вакансионно-дислокационного механизма сдвига при ИП, проведенные к.т.н. А.А. Поляковым (Институт машиноведения РАН), позволили вплотную подойти к сути процесса. Он писал: «Избирательный перенос — это вид трения, осуществляемый в основном как внутреннее трение в спонтанно возникающей металлической пленке, которая образуется на поверхностях трения при определенных сочетаниях конструкционных и смазочных материалов. Эта пленка повышает износостойкость поверхностей на два порядка и снижает силы трения на один порядок по сравнению с аналогичными условиями трения при граничной смазке.

Для нее характерен нелинейный режим взаимодействия вакансий и дислокаций, т.е. вакансионно-дислокационный механизм сдвига, задаваемый повышенной концентрацией вакансий при избирательном растворении упрочненных участков в процессе трения... Дислокации переходят на другой уровень взаимодействия с кристаллической решеткой металла с существенно меньшей затратой энергии, что сопровождается релаксацией напряжений».

В отношении процессов, протекающих в смазочном материале при ИП, наиболее ценны работы д.т.н., проф. А. С. Кужарова (Донской государственный технический университет), проведенные на стыке трибологии, трибохимии и координационной химии. Им изучено влияние трения на протекание трибокоординации и обратное ее влияние на условия функционирования, самоорганизации, параметры трения и износостойкость фрикционных систем. Исследования были объединены в новое направление теоретических исследований — координационную трибохимию. А.С. Кужаровым впервые изучены кинетические закономерности трибокоординации, т.е. трибохимических реакций активных компонентов смазки с поверхностью трущегося

металла. Выявлено влияние внешних условий на скорость и механизм трибохимических реакций комплексообразования, таких частиц, как мицеллы и кластеры плакирующего материала.

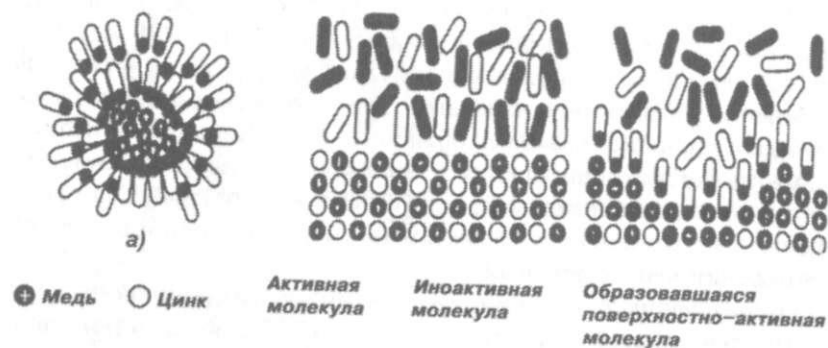


Рис. 46. Коллоидные структуры на поверхности трения при избирательном переносе: а — мицелла

Основные результаты исследований в данном направлении описаны следующим образом: «... На поверхности сервоитной пленки за счет трибокоординации образуется граничный слой комплексных соединений, непосредственно связанный с поверхностью трения (рис. 46). Этот слой обеспечивает легкое скольжение и уменьшение коэффициента трения в режиме безызносности за счет своих стереохимических особенностей и подвижности, что проявляется в серфинг-эффекте при реализации ИП. Помимо продуктов трибокоординации, в структуре граничного слоя находят место не только активные компоненты смазочного материала (СМ), но и смазочной основы (растворителя) и окружающей среды. При этом в процессе трения протекает весь комплекс явлений, обуславливающих трибохимические превращения непосредственно СМ, а также химическую модификацию поверхности контакта, в результате чего образуется набор образований от простейших неорганических соединений металлов через комплексные соединения до трибополимеров. Такие соединения, а также коллоидные образования в СМ, получающиеся в результате диспергирования металла в процессе приработки и в ходе трибополимеризации, составляют набор веществ, определяющих структуру граничного слоя при трении в режиме безызносности».

Обращаясь за примерами к живой природе, можно обнаружить, что подобные соединения, обладающие практически полной бе-

зызносностью, уже давно существуют. Суставы живых организмов миллионы, а может быть и миллиарды лет действуют (работают) на принципах, к которым современная наука только приближается, создавая так называемые «интеллектуальные» самонастраивающиеся подвижные соединения.

Следует отметить, что простейшие схемы сустава живого существа и пары трения бронза—сталь в условиях ИП достаточно близки. В суставе также работают два мягких хряща, покрывающих костную ткань и разделенных полимерной, можно сказать, «сервоитной» пленкой. В качестве смазывающей среды выступает синовиальная жидкость (рис. 47).



Рис. 47. Схема работы сустава живого существа:

1 — синовиальная жидкость; 2 — костная ткань; 3 — оболочка сустава; 4 — хрящ с полимерной пленкой

В конце концов, стало понятно, почему компрессоры холодильных установок десятилетиями работают в тяжелейших условиях пуска—останова без отказов и, следовательно, без ремонта, да и практически без какого-либо технического обслуживания: в них образуется определенная самоорганизующаяся система, которая сама регулирует процессы износа и регенерации трущихся поверхностей.

Для теоретического объяснения восстановления трущихся соединений в процессе их непрерывной и длительной эксплуатации наиболее важен механизм образования сервоитной пленки. Выявлено, что она может проявляться двумя путями. Первый характеризуется предварительным схватыванием и «намазыванием» медного сплава на поверхность стали с последующим обогащением сопряженных поверхностей трения медью вследствие избирательного растворения медного сплава и «намазанного» слоя с образованием квазижидкой пленки меди на обеих поверхностях трения. Второй объясняется коррозией медного сплава и последующим атомарным переносом. В период намазывания коэффициент трения повышается, а затем по мере выделения меди постепенно стабилизируется. Во втором случае коэффициент трения сразу же начинает уменьшаться, следовательно, схватывания не происходит.

Выше отмечалось, что образование сервоитных пленок может происходить в соединениях, не содержащих медных или других плас-

тичных сплавов (например, цинка, олова, серебра, золота, палладия и др.). Для этого необходимые компоненты должны быть введены в смазочный материал или другие рабочие жидкости, например, в топливо, промывочные и охлаждающие жидкости.

Одним из главных факторов, указывающим на наличие одновременного протекания при трении трибокоординации и трибовосстановительного распада и приводящим к самоорганизации фрикционной системы (пары трения), является автоколебание концентрации медьсодержащих продуктов в смазочном материале, т.е. наличие определенной эволюции (развития) процессов в зоне контакта трущихся поверхностей.

В природе существуют фундаментальные явления, процессы, механизмы (на нано-, микро- и макроуровнях), связанные с физикой, химией, энергетикой поверхностей материалов, веществ, частиц. В результате исследований ученых трение теперь представляется не только как разрушительное явление природы — оно в определенных условиях может быть реализовано как самоорганизующийся созидательный процесс, позволяющий разработать новые, ранее не известные методы восстановления деталей и технического сервиса машин. К ним, в частности, относятся технология финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО) и методы ускоренной приработки (обкатки) деталей машин и оборудования, безразборное восстановление агрегатов и узлов техники при непрерывной работе и др.

ГЛАВА 11. ФИНИШНАЯ АНТИФРИКЦИОННАЯ БЕЗАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА (ФАБО)

Важнейшее значение для получения высокой износостойкости трущихся поверхностей имеет вид их окончательной (финишной) абразивной обработки, при которой уменьшается шероховатость (путем тонкого шлифования, плосковершинного хонингования, суперфиниширования, полирования и т.д.).

Необходимы металлические конструкционные материалы, поверхности которых обладали бы одновременно высокими прочностными, антифрикционными и антикоррозионными свойствами. Такие поверхности могут быть получены путем нанесения специальных наноструктурированных покрытий.

В промышленности широко применяется метод фрикционного (с помощью трения) нанесения медьсодержащих покрытий — финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО). Покрытия толщиной от 50 до 500 нм из пластичных металлов наносятся в присутствии специальной технологической среды на трущиеся поверхности деталей — коренные и шатунные шейки коленчатого вала, гильзы цилиндров, реборды и поверхности качения вагонных колесных пар, различного вида штоки, пальцы, резьбовые соединения и т.д.

ФАБО применяется в целях снижения интенсивности изнашивания, повышения задиростойкости трущихся поверхностей и интенсификации процессов образования защитных пленок в период приработки после изготовления или ремонта изделия. Впервые данный метод нанесения покрытий (фрикционное латунирование) предложен Д. Н. Гаркуновым и В. Н. Лозовским.

Основные способы ФАБО рядом авторов условно делятся на две группы:

1. Фрикционно-механическое нанесение металлических покрытий инструментом из содержащего медь сплава (фрикционное латунирование, бронзирование или меднение); фрикционно-химическое

нанесение покрытий в металлоплакирующих средах, содержащих в своем составе различные поверхностно-активные вещества и соли металлов, способные к восстановлению на обрабатываемых поверхностях при воздействии роликов, дисков, брусков, щеток, тампонов и т.д. из неметаллического инструмента); фрикционное нанесение покрытий из пластичных сплавов в металлоплакирующих средах.

2. Нанесение слоистых твердосмазочных покрытий в виде графита, дисульфида молибдена и других соединений контактным намазыванием различными методами.

К разновидностям ФАБО относятся:

- химико-механическое нанесение покрытий (Россия);
- нанесение покрытий трением с применением щеток (ФРГ);
- натирание поверхности латунию (Россия);
- электростатическое нанесение покрытий трением (Швейцария);
- механическое нанесение латунных покрытий трением (механическое латунирование) в среде глицерина (ФРГ, Россия);
- химико-механическое латунирование с применением медьсодержащего вспомогательного материала (ФРГ)
- и ряд других.

При двух последних методах упрочнение поверхностных слоев объединено с нанесением покрытий трением. Использование ФАБО имеет следующие достоинства:

- небольшие затраты расходных материалов и электроэнергии;
- стабильно высокое качество покрытия, в том числе и при некоторых отклонениях условий нанесения покрытий от оптимальных;
- автоматизация процесса;
- экологическая безопасность;
- высокая экономическая эффективность
- и ряд других.

Принцип обоих этих способов латунирования состоит в том, что натирающий латунный элемент (стержень или трубка), вращаясь относительно своей продольной оси, при относительно малом усилии нажатия и в присутствии вспомогательного рабочего материала (например, глицерина) натирает слой латуни на подлежащую покрытию стальную или чугунную поверхность. В результате одновременно происходит упрочнение поверхностной области основного материала на глубину 70...80 мкм вследствие высокого давления в месте линейного контакта.

Как уже отмечалось, во всех методах нанесения происходит в присутствии специальных технологических сред. Практически во всех технологических средах используется глицерин, который в результате

трибодеструкции (распада под действием энергии трения) на поверхностях контактирующих тел (деталь—инструмент) окисляется, превращаясь в глицериновый альдегид, акролеин, формальдегид, глицериновую кислоту и другие продукты с меньшей, чем у глицерина, молекулярной массой.

При фрикционно-химическом нанесении покрытий в металлоплакирующих средах используются различные соли пластичных металлов, например, дихлорид меди. В процессе обработки происходит гидролиз солей с образованием кислот:



Образовавшаяся соляная кислота способствует удалению оксидных пленок, а на обрабатываемой поверхности в результате взаимодействия с оксидами железа образуются защитные слои из хлоридов железа. Происходит восстановление продуктов коррозии и растворение активных металлов и их соединений. Взаимодействие продуктов превращения глицерина и других органических веществ, содержащихся в технологических средах, приводит также к образованию высокомолекулярных соединений и полимеров трения.

Таким образом, при ФАБО на обрабатываемой поверхности формируются равномерные антифрикционные покрытия из пластичных металлов и полимерных цепей. В процессе эксплуатации под действием поверхностно-активных веществ, содержащихся в моторном масле, происходит избирательное растворение нанесенного материала с образованием тонких медных покрытий, по своим физико-механическим и триботехническим свойствам близких к сервовитной пленке, характерной для эффекта безызносности. Исследования структуры сервовитной пленки показывают, что, несмотря на свои минимальные размеры, она включает нанокластеры и нанофазы пластичных цветных металлов.

Одной из проблем повышения надежности и ресурса двигателей внутреннего сгорания является повышение износостойкости гильз цилиндров. Особенно актуальна она для высокофорсированных дизелей с турбонаддувом, имеющих высокие рабочие параметры. В этих двигателях ужесточаются требования к прочностным и триботехническим свойствам поверхностей трения.

Для повышения износостойкости и износостойкости соединения поршневое кольцо—гильза цилиндра высокофорсированных дизелей применяют различные защитные и приработочные покрытия. При нанесении пластичного металлического покрытия на детали трущихся-

ся соединений прочность покрытия на срез оказывается меньше, чем в металле подложки. За счет этого удается снизить коэффициент трения и интенсивность изнашивания поверхности с покрытием из-за отсутствия (или уменьшения) схватывания и глубинного разрушения металла, что особенно существенно при высоких нагрузках и скоростях скольжения.

Для фрикционно-механического нанесения медьсодержащих покрытий на поверхности трения гильз цилиндров и других деталей втулочного типа разработаны специальные приспособления, полуавтоматы, автоматы и станки. Так, на рис. 48 приведена схема фрикционного латунирования втулки. Приспособление с латунным пруток крепят в борштанге, установленной в резцедержателе токарного станка. В процессе латунирования латунный пруток прижимается к поверхности втулки с усилием, соответствующим давлению 70 МПа, и перемещается вдоль втулки с подачей 0,2 мм/об. Втулка, закрепленная в патроне токарного станка, вращается с окружной скоростью 0,3 м/с. Среда, состоящая из глицерина и активатора, подается в зону латунирования обычной капельницей.

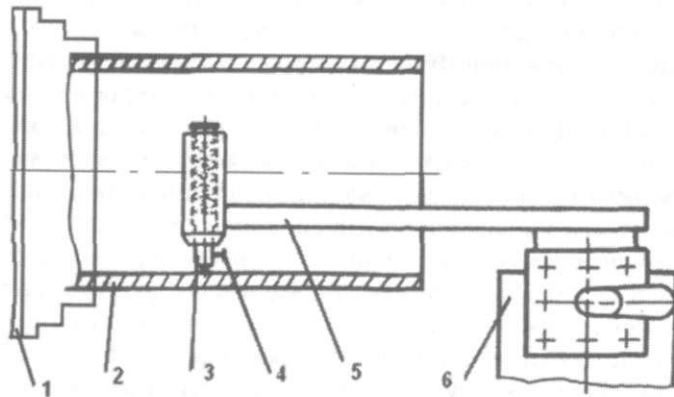


Рис. 48. Схема фрикционного латунирования втулки:

1 — токарный патрон; 2 — втулка; 3 — латунный пруток; 4 — приспособление; 5 — борштанга; 6 — держатель токарного станка

Режим фрикционной обработки прутовым инструментом следующий: окружная скорость поверхности детали 0,15...0,3 м/с; давление прижатия прутка 102...150 МПа; продольная подача прутка 0,1...0,2 мм/об; число рабочих ходов 1...2.

Рассмотренные устройства для фрикционного нанесения покрытий имеют существенные недостатки: низкую производительность, нарушение равномерности покрытия и, следовательно, возрастание шероховатости поверхности. Для преодоления этих недостатков разработан ряд устройств для фрикционно-механического нанесения покрытий.

С целью повышения производительности в Кировоградском институте сельскохозяйственного машиностроения разработано устройство для фрикционно-химического нанесения покрытий, содержащее механизм вращения и натирающий узел, рабочая поверхность которого выполнена с чехлом из упруго-пористого материала. Натирающий узел выполнен в виде колодок, установленных шарнирно с возможностью перемещения за счет сил инерции (рис. 49).

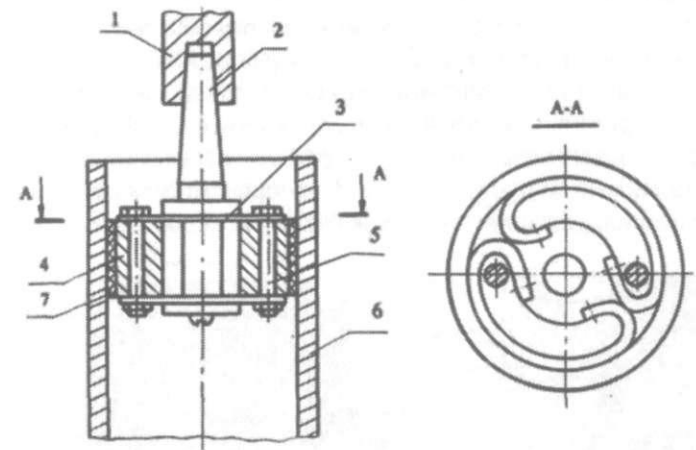


Рис. 49. Схема устройства для латунирования гильз цилиндров:

1 — механизм вращения; 2 — приводной вал; 3 — диск; 4 — натирающий инструмент; 5 — ось; 6 — поверхность обрабатываемой детали; 7 — чехол

Устройство содержит механизм вращения 1 (им может служить шпиндель радиально-сверлильного станка); приводной вал 2, соединенный жестко с дисками 3, между которыми установлен натирающий узел, выполненный в виде колодок 4 с осями 5, при этом один конец колодки 4 повторяет поверхность обрабатываемой детали 6. На колодки 4 устанавливаются чехлы 7 из упруго-пористого материала (например, войлока, фетра, асбеста и др.).

Крепление колодки 4 на оси 5 обеспечивает равномерное прижатие к обрабатываемой поверхности под действием сил инерции, возникающих при вращении.

Обрабатываемая деталь 6 устанавливается на столе (на рис. не показан). Устройство вводят до соприкосновения натирающего узла с рабочими поверхностями детали 6, включают механизм вращения, а затем механизм продольной подачи.

В зоне натирания имеется активная технологическая среда и упруго-пористый материал, выполняющий роль абразива, поэтому происходит удаление окисной пленки с поверхности детали, и она покрывается плотным, прочно сцепленным с основным материалом металлом из раствора в виде сплошной пленки. Скорость нанесения покрытия 4...6 м/с, шероховатость не изменяется, производительность повышается в 2...3 раза.

Для повышения производительности процесса латунирования и упрощения конструкции инструмента разработано устройство на базе серийной хонинговальной головки (рис. 50), предназначенное для нанесения покрытий на внутренние поверхности деталей. Корпус 1 имеет три радиальных паза, равномерно расположенных по окружности, с размещенными в них колодками 3, которые могут перемещаться в радиальном направлении. Для разжимания колодок служит коничес-

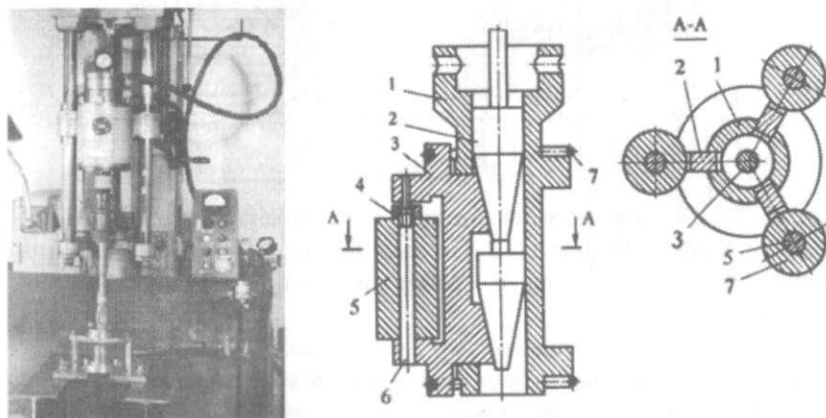


Рис. 50. Устройство для латунирования гильз цилиндров на вертикально-хонинговальном станке:

1 — корпус устройства; 2 — конический шток; 3 — колодка; 4 — гайка; 5 — натирающие элементы; 6 — ось; 7 — кольцевая пружина

кий шток 3. Обратный отжим колодок и фиксация их от выпадения в свободном состоянии осуществляется кольцевыми пружинами 7. На колодках с помощью осей 6 и гаек 4 установлены натирающие элементы 5, изготовленные из материала наносимого покрытия и имеющие форму цилиндрических роликов. Ось 6 может свободно вращаться в отверстиях колодок 3.

За рубежом наибольшее применение технологии ФАБО получили в бывшей ГДР. Работы в данном направлении велись под руководством д.т.н., проф. Г. Польцера в Высшей технической школе г. Цвиккау. В настоящее время в ФРГ на ряде предприятий применяют механическое фрикционное латунирование с использованием технически чистого глицерина и химико-механическое латунирование в присутствии вспомогательного материала *FPT 1*.

Для ФАБО гильз цилиндров наиболее часто применяются устройства на базе хонинговальных станков, на которых вместо хонинговальных брусков устанавливаются медьсодержащие пластины. Также есть конструкции, использующие кинематику расточных станков. В этих конструкциях вместо расточных резцов устанавливают латунные прутки. Наибольшую универсализацию применил д.т.н., проф. Г. Польцер, разработав и внедрив ряд приспособлений и полуавтоматов для ФАБО деталей втулочного типа (рис. 51, 52).

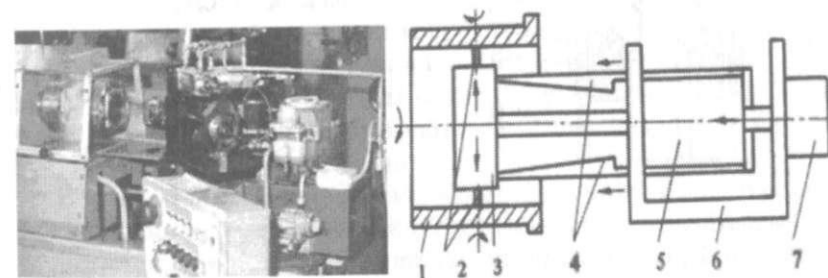


Рис. 51. Внешний вид и принципиальная схема полуавтомата для фрикционного латунирования цилиндров двигателя вращающимся штифтом:

1 — гильза цилиндра; 2 — натирающие штифты; 3 — головка; 4 — клин (шпонка) для создания нагрузки; 5 — двигатель; 6 — оправка; 7 — пневматический цилиндр

Принцип работы полуавтомата, представленного на рис. 54, следующий. Приспособление с помощью штифта присоединяется к хонин-

говальному станку. От пневматической системы станка к штоку 2 прикладывается нагрузка, под действием которой колодки 3 разжимаются, а натирающие элементы 5 прижимаются с рассчитанным усилием к обрабатываемой детали. Устройство совершает одновременно вращательное и возвратно-поступательное движения, как при хонинговании гильз. В результате возвратно-поступательного движения происходит скольжение натирающих элементов 5 и перенос материала покрытия на поверхность детали. Поскольку в процессе работы натирающие элементы постоянно обкатываются по поверхности детали, они изнашиваются равномерно и не утрачивают цилиндрической формы.

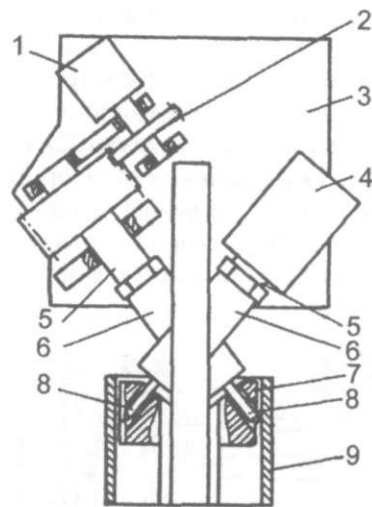


Рис. 52. Приспособление МВ-З3А (Германия) для фрикционного латунирования гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания:

1 — электродвигатель; 2 — зубчатая передача; 3 — основная плита; 4 — гидроцилиндр; 5 — вал привода; 6 — нагрузочное устройство; 7 — рабочая головка; 8 — рабочий стержень; 9 — гильза цилиндра

Покрытие наносится за 10...20 двойных возвратно-поступательных ходов. При нанесении покрытия из латуни Л63 на поверхность гильзы цилиндров двигателя КамАЗ-740 получено увеличение производительности в 6...10 раз по сравнению с использованием устройств с прутковым материалом.

Рассмотренные способы ФАБО натираем прутковым материалом имеют определенные недостатки: низкая производительность процесса, неравномерность покрытия по толщине, наличие больших нагрузок на инструмент и, как следствие, возникновение вибраций и шумов, интенсивное выделение теплоты в зоне трения.

Многие исследования, проведенные в России и Германии, выявили высокую эффективность технологий фрикционного латунирования

гильз цилиндров ДВС. Так, исследование износа в разных радиальных плоскостях цилиндра 2-тактного карбюраторного двигателя в верхней мертвой точке после 100 тыс. км пробега (рис. 53) позволило установить, что фрикционное латунирование в среде *FPT 1* обеспечивает снижение износа в наиболее нагруженной стороне выпуска в два и более раза.

Одним из факторов, сдерживающих широкое применение технологий фрикционного латунирования коленчатых валов, являлось отсутствие надежных высокоэффективных приспособлений. Особенно остро эта проблема стояла в отношении обработки шеек коленчатых валов ДВС.



Рис. 53. Радиальное распределение износа (в мкм) цилиндра 2-тактного карбюраторного двигателя в верхней мертвой точке после 100 тыс. км пробега (по данным Г. Польцера): 1...8 — сечения цилиндра

На рис. 54 представлена схема обработки инструментом с резиновым покрытием. Инструмент 3 жестко закреплен на станке и приводится во вращение электродвигателем с гибким приводом. Смазочная среда в жидком или полужидком состоянии подается от насоса через сопло 1 в зону между резиновым кольцом 2 и инструментом 3. Инструмент прижимается к поверхности вращающейся детали 4. В качестве смазочной жидкости используется смесь глицерина и олеата меди.

Из известных конструкций для ФАБО шеек коленчатых валов наибольший интерес представляет конструкция, получившее наименование Д.91. На рис. 55 представлена схема данного устройства. Обработка поверхности достигается при возвратно-поступательном перемещении в автоматическом режиме и применении натирающих инструментов из латуни Л63 в виде пластин трапециевидальной формы. Устройство

содержит корпус 1, щеки 2 с пазами для ограничения угла поворота натирающих инструментов и со сферическими углублениями под державки 3 в виде цилиндров, один торец которых выполнен с пазом, а другой — со сферической поверхностью и глухим отверстием с резьбой, натирающие инструменты 4 в виде пластин трапецеидальной формы, фиксаторы 5, винты 6, подшипники скольжения 7 в виде фторопластовых втулок, регулировочный винт 8, гайку 9, пружину 10 и тампон 11.

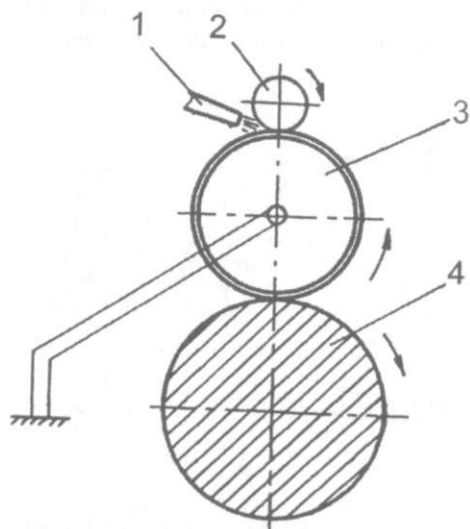


Рис. 54. Нанесение покрытий натирающим инструментом в металлоплакирующих средах: 1 — сопло для подачи металлоплакирующей среды; 2 — прижимной ролик; 3 — неметаллический обрабатывающий инструмент (ролик); 4 — обрабатываемая деталь

Устройство может применяться в сочетании с любыми механизмами, способными удерживать и вращать обрабатываемую деталь, например, токарно-винторезным или шлифовальным станком, полировальным и притирочным автоматом и т.д. Для фрикционно-механического нанесения покрытий коленчатый вал 12 устанавливается в механизм вращения (на рис. 55 не показан). В державки 3 устанавливаются натирающие инструменты 4 и крепятся фиксаторами 5. Затем державки натирающих инструментов (в сборе) устанавливаются в сферические углубления щек 2 и закрепляются через подшипники скольжения 7, винтами 6. Тампон 11 пропитывается технологической жидкостью (например, *FPT 1*). Осуществляется наладка устройства путем установки натирающих инструментов 4 в крайнее положение до упора в пазах щек 2. Щеки 2 приводятся в соприкосновение с поверхностью обрабатываемой шейки коленчатого вала. Вращением гайки 9 по регулировочному винту 8 осуществляется сжатие пружины

10 на необходимую величину для прижатия натирающих инструментов 4 к поверхности шейки 2 с определенным усилием.

При вращении детали происходит натираение ее поверхности. Расположение натирающих инструментов 4 под углом к оси обрабатываемой детали 12 обеспечивает перемещение устройства относительно обрабатываемой поверхности. При соприкосновении кромок натирающих инструментов 4 с галтелью торца перемещение прекращается, производится обработка поверхности галтели коленчатого вала и последующий разворот натирающих инструментов 4 вместе с державкой 3 в шарнирном соединении со щекой 2 до упора в противоположном выступе паза щеки. В результате автоматической переустановки натирающих инструментов 4 осуществляется движение устройства в обратном направлении до соприкосновения с противоположным торцом обрабатываемой шейки коленчатого вала.

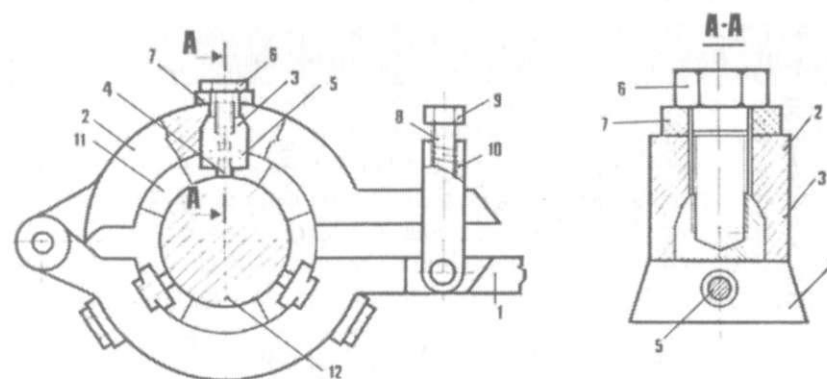


Рис. 55. Схема устройства Д.91 для ФАБО коленчатых валов:

1 — корпус; 2 — щеки; 3 — державки; 4 — натирающие инструменты; 5 — фиксатор; 6 — винты; 7 — подшипник скольжения; 8 — регулировочный винт; 9 — гайка; 10 — пружина; 11 — тампон; 12 — деталь

При продолжении обработки поверхности шейки указанный цикл движения повторяется. Возвратно-поступательное движение устройства в автоматическом режиме осуществляется до достижения необходимой толщины и качества покрытия, после чего механизм вращения обрабатываемой детали выключается. Примерные режимы обработки шеек коленчатых валов различными медьсодержащими материалами представлены в табл. 6.

Проведенные лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания показали высокую эффективность латунирования шеек ко-

ленчатых валов в процессе капитального ремонта дизельных двигателей на мотороремонтных предприятиях России.

Проведенный комплекс физико-химических исследований поверхностей трения (микротвердости, предела выносливости, химического состава и т.д.), указал на существенное повышение механических свойств деталей, обработанных методом ФАБО. Так, на основании сравнительных лабораторных испытаний на выносливость на машине МИУ-600 образцов с фрикционным покрытием из латуни Л63, полученных в среде СФП-3, и образцов без покрытия установлено, что предел выносливости латунированных стальных образцов равен 550 МПа, тогда как необработанных образцов – 520 МПа.

Таблица 6. Режимы обработки шеек коленчатого вала

Материал		Режим обработки				
обрабатываемой поверхности	наносимого покрытия	Окружная скорость, м/с	Продольная подача, мм/об	Давление прижатия, МПа	Число рабочих ходов	Технологическая среда
Сталь 45	Медь	0,15	0,2	80...100	3 – 4	СФП-2,
	Бронза	0,20	0,2	60...80	3 – 4	СФП-
	Латунь	0,20	0,2	40...70	3 – 4	3

Проведенные стендовые испытания по ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» двигателей СМД-62 (мощностью 180 кВт) с гильзами цилиндров и шейками коленчатого вала, обработанными методом ФАБО в среде СФП-3, обеспечивают повышение эффективной мощности на 8...12 кВт за счет снижения механических потерь на трение и повышения качества приработки деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма; повышение давления масла в главной магистрали двигателя при номинальной частоте коленчатого вала на 25...30%, что указывает на более качественную приработку вкладышей коленчатого вала; обеспечивают снижение износа деталей соединения в среднем в два раза; снижение

содержания продуктов износа (железа) в пробах масла, определенного методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на модернизированном анализаторе «БАРС-3», на 50% и более.

В ходе эксплуатационных испытаний двигателей, прошедших капитальный ремонт с применением технологии ФАБО гильз цилиндров, коренных и шатунных шеек коленчатых валов, в хозяйствах Московской и Липецкой областей получены следующие результаты по сравнению с типовой технологией ремонта: снижение средней интенсивности падения давления масла в главной магистрали трех дизелей на номинальной частоте вращения коленчатого вала в зависимости от наработки на 12,5%, уменьшение содержания продуктов износа (железа) в пробах масла из картеров двигателей на 34,7%; снижение расхода топлива на 5...10%; что составляет экономию 0,85...2,6 т топлива в год на один двигатель; уменьшение расхода моторного масла в 1,7 раза, увеличение межремонтного ресурса в 1,23 раза (с 2200 до 2700 моточ.). Вместе с тем, проводившиеся в Восточной Германии с 1978 по 1990 гг. фундаментальные и прикладные исследования позволили установить, что эффект, достигаемый при использовании смазочных материалов с присадками в двигателях с фрикционным латунированием деталей, оказывается ниже, чем при использовании чистых минеральных смазочных материалов, поэтому разработанную технологию целесообразно применять главным образом в тех случаях, когда детали выполнены из низколегированных сталей, а двигатели эксплуатируются при применении низкокачественных смазочных материалов.

Возможность нанесения нанопокровов методом ФАБО на стальные и чугунные детали в перспективе позволит осуществить замену деталей из цветных сплавов на стальные и чугунные детали с покрытием.

ГЛАВА 12. НАНОПРИСАДКИ К ТОПЛИВУ

Благодаря работам российских ученых и специалистов возникло и успешно развивается самостоятельное научно-техническое направление — безразборный технический сервис машин и механизмов, под которым подразумевается комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на проведение ряда операций технического обслуживания и ремонта узлов и механизмов без проведения разборочно-сборочных операций. Безразборный сервис может включать операции обкатки, диагностики, профилактики, автохимического тюнинга, очистки и восстановления как отдельных трущихся соединений и агрегатов, так и машин и механизмов в целом.

В условиях недостатка финансовых средств у большинства населения, определенного дефицита доступных качественных топливно-смазочных материалов проблема поддержания в работоспособном состоянии практически всей отечественной и подержанной импортной техники в какой-то степени может быть возможна за счет применения специальных ремонтно-эксплуатационных препаратов и технологий безразборного сервиса, в том числе на основе наноматериалов и нанотехнологий.

Так называемая «подкапотная автохимия» как отрасль химической промышленности зародилась в США в середине прошлого столетия, когда в розничную продажу в 1942 г. в Чикаго впервые поступила присадка к моторному маслу, разработанная и изготовленная компанией «CD-2» по заказу автомобильного концерна «Дженерал Моторс». Однако долгое время ведущие производители смазочных материалов, особенно моторных и трансмиссионных масел, крайне негативно отзывались о применении дополнительных присадок к их продукции.

В конце XX в. в автохимическую промышленность пришли ученые и практики из фирм-разработчиков и производителей препаратов, получаемых с применением высоких технологий, которые ранее работали в военной и космической промышленности. Ими были созданы

методы и средства для безразборного ремонта трущихся соединений автомобиля, так называемые технологии «*Smart-self technology*», что можно перевести как «интеллектуальные (умные) технологии самовосстановления».

В связи с бурным развитием в последнее время технологий производства различных наноматериалов, они находят всё большее применение в различных препаратах автохимии, таких как ремонтно-эксплуатационные добавки к топливу и смазочным материалам. По имеющимся данным, в США затраты на производство присадок, используемых в топливно-смазочных материалах, с 1960-х гг. возросли с 250 млн. долл. до более чем в 1 млрд. долл., т.е. почти в пять раз.

В классическом понимании процесс восстановления детали, соединения или машины в целом подразумевает проведение технических и технологических мероприятий, направленных на изменение либо их геометрических размеров до номинальных или ремонтных, либо восстановление работоспособности до нормативных показателей. Однако проводить ремонтные работы имеет смысл даже в том случае, если ставится задача лишь частичного выполнения этих требований.

Применение ремонтно-восстановительных препаратов определяется техническим состоянием автомобиля. При этом необходимость того или иного воздействия оценивается на основании результатов технической диагностики. По результатам диагностирования назначаются либо профилактические препараты «мягкого» действия, либо препараты, обеспечивающие более интенсивное воздействие на трущиеся соединения и агрегаты автомобиля.

Следует отметить, что иногда необходимость применения ремонтно-эксплуатационных препаратов обусловлена и рядом других вынужденных причин, например, участием в соревнованиях, пробеге или каких-то других нестандартных испытаниях.

Ремонтно-восстановительные препараты для моторных топлив на основе нанотехнологий, добавляемые к топливу, в основном применяются для повышения эксплуатационных и экологических качеств бензинов и дизельных топлив, а также для профилактической очистки систем подачи топлива (карбюраторов, инжекторов, форсунок, топливопроводов), впускных клапанов двигателей, систем выпуска отработанных газов (каталитических нейтрализаторов). Мероприятия, направленные на повышение этих свойств, объединены в понятия химмотология и автохимический тюнинг топлива или двигателя.

Графическое изображение необходимости и технической эффективности автохимической тюнинговой обработки показано на рис. 56.

Необходимость проведения тюнинговой обработки чаще всего продиктована не столько низкими свойствами применяемого топлива или состоянием двигателя, а в большей степени указанными выше возможными вынужденными причинами; особыми условиями эксплуатации (преобладающим скоростным движением в условиях города); желанием повысить мощность двигателя при спортивном стиле езды и т.д. Удлинение или сохранение межремонтного ресурса двигателя и автомобиля в целом в этих случаях чаще всего является не обязательным или вообще не рассматриваемым требованием, поэтому показанием к такой обработке чаще является не техническое состояние двигателя или автомобиля в целом, а субъективный фактор. В связи с этим автохимический тюнинг осуществляется задолго до наступления состояния, характеризующегося положением $W_{отк}$ — показателем отказа (состояния, при котором объект становится неработоспособным).

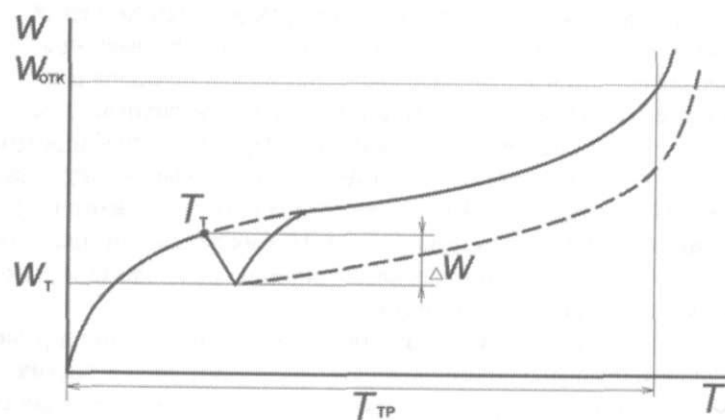


Рис. 56. Графическая иллюстрация автохимического тюнинга автомобиля:

W_T — показатели объекта после одноразового автохимического тюнинга; ΔW — эффективность автохимического тюнинга; T_T — (точка) проведения операций автохимического тюнинга; $T_{тр}$ — межремонтный ресурс двигателя после автохимического тюнинга

Так к.т.н. А. Ю. Шабанов (Санкт-Петербургский государственный политехнический университет) в книге «Очерки современной автохимии. Мифы или реальность?» пишет, что «...как показывает наш опыт, простым химическим антифрикционным тюнингом двигателя можно

получить результат, сравнимый по величине с эффектом от использования каких-либо стандартных общепринятых процедур спортивной доводки двигателя — доработки каналов головки блока цилиндров, замены фаз газораспределения и т.д. Антифрикционная доработка двигателя, проводимая параллельно с классическим тюнингом, работает на снижение механических потерь в двигателе».

Одно из основных показателей качества топлива — его удельная теплота сгорания, которая у любого углеводородного топлива не превышает 44 МДж/кг (10,5 тыс. ккал/кг). Для повышения других показателей качества топлива применяются различные добавки, которые в основном направлены на повышение октанового (октан-корректоры) и цетанового (цетан-корректоры) чисел, снижение токсичности и дымности выхлопных газов, частично — на ослабление процесса коррозии.

В результате длительных исследований установлено, что повышение эксплуатационных свойств различных топлив может быть достигнуто путем применения различных металлосодержащих добавок, при этом большое значение имеет дисперсность вводимых частиц металла: чем они меньше, тем эффективнее их применение, что открывает большие перспективы в применении металлических наноматериалов в качестве добавок к различным видам топлива. Полезный эффект достигается также при применении в составе добавок современных моющих компонентов, химических нанокатализаторов и регуляторов горения топлива. Чаще используют многокомпонентные композиции, при этом каждый выполняет свою функцию. Так, для повышения эффективности сгорания дизельных топлив можно использовать многокомпонентную композицию, в состав которой входят в качестве одного из компонентов соли магния, кальция, марганца, меди или алюминия, в качестве другого — различные поверхностно-активные вещества, а в качестве третьего — стабилизирующие и солюбилизующие (растворяющие) компоненты, которые способствуют хорошей растворимости композиции в дизельном топливе.

Для металлосодержащих присадок, используемых в различных топливах для дизельных и карбюраторных двигателей, подбираются соответствующие растворители-гели, которые обеспечивают полное смешение компонентов.

Часто для улучшения процессов воспламенения и удельной теплоты сгорания применяются различные металлосодержащие добавки, например, соли железа, в частности, ферроцен — железоорганическое соединение, в молекуле которого атом железа связан сразу со всеми атомами углерода, хорошо растворимое в органических растворите-

лях, термически стабильное. Регулирование процесса горения соединениями ферроцена основано на образовании каталитически активных частиц при разложении структуры ферроцена, что способствует дополнительному разветвлению цепных реакций горения и окислению молекул топлива атомарным кислородом.

Однако применение этих железосодержащих антидетонационных добавок к бензинам ограничивается концентрацией, соответствующей содержанию железа не более 37 мг/л. Более высокие концентрации приводят к износу деталей двигателя, снижению работоспособности свечей зажигания, поскольку на электродах свечей образуются соединения оксидов железа — токопроводящего материала.

Известны также марганцевые соединения, применяющиеся для этих целей, отложения от них менее стойки и могут быть удалены обыкновенными очистителями.

Среди различных присадок к дизельным топливам определяющее значение имеют такие, которые способствуют окислению топлива и его самовоспламеняемости при оптимальном цетановом числе, что оказывает существенное влияние на пусковые свойства дизеля.

Замена углерода элементами с более высокой удельной теплотой сгорания позволяет получать топливо со значительно лучшими энергетическими характеристиками. Особое место занимают работы в области металлического топлива. (Такое топливо применяется в ракетных двигателях; так, основными горючими элементами в жидкостных ракетных двигателях является углерод, водород, металлы — алюминий, магний, бор, бериллий и др., а также соединения этих элементов. — *Прим. ред.*). Исследования, проведенные в США, показали, что автомобиль с двигателем, работающим на топливе с металлическими частицами, может развивать мощность в три раза большую, чем современный бензиновый двигатель.

Дэвид Бич, руководитель группы химии материалов в Национальной лаборатории Окриджа (США), объясняет, что, подобно водороду, металлическое топливо — источник экологически чистой энергии. Однако, в отличие от водорода, металлические топлива, например железо или алюминий, обладают более высокой удельной теплотой сгорания. Эти топлива могут храниться и транспортироваться при температуре и давлении окружающей среды, и могут быть эффективно использованы в двигателе без значительных затрат на водородные топливные элементы.

Большие частицы металла не воспламеняются до тех пор, пока не будут нагреты до точки кипения металла, при которой металлический пар воспламеняется с образованием металлических оксидов. К сожалению, этот процесс приводит к очень высоким температурам

сгорания, загрязнению внутренних поверхностей камеры сгорания и образованию большого количества оксидов азота. Металл в виде наночастиц сгорает значительно быстрее и полнее при более низких температурах без стадии газового горения.

Д. Бич отмечает, что газы от металлических топлив, отработавшие в газотурбинном двигателе или двигателе Стирлинга, являются экологически очень чистыми: кислород берется из воздуха и в результате получается почти чистый азот. Еще лучшим источником энергии может быть бор, если бы его наночастицы можно получать по разумной стоимости.

Бор и углерод — соседи по таблице Менделеева, оба элемента — неметаллы, мало отличаются размеры их атомов и ионов. Главное следствие этого сходства — быстрое развитие химии бороводородов, которая, по мнению многих ученых, может со временем стать «новой органикой». Напомним, что просто «органика», органическая химия — это по существу химия углеводов и их производных.

Удельная теплота сгорания бора (59,4 МДж/кг, или 14170 ккал/кг) почти вдвое больше, чем углерода (32,7 МДж/кг, или 7870 ккал/кг). При замене углеводородных топлив бороводородными в воздушно-реактивных двигателях при заданной дальности полета самолета можно уменьшить его габариты, увеличить полезную нагрузку и сократить разбег при взлете.

В типичном твердом топливе для ракетно-прямоточных двигателей содержится до 50% бора; столь высокое содержание металла обеспечивает получение максимально объемного импульса. (Следует отметить, что к недостаткам бороводородного топлива относятся высокая токсичность и химическая активность, а также легкая воспламеняемость к воздуху. — *Прим. ред.*).

Удовлетворение постоянно возрастающих экологических требований к автомобилю требует резкого сокращения эмиссии оксидов азота в отработавших газах двигателя. Стандарт «Евро-4» для коммерческих автомобилей вступил в силу в октябре 2005 г., он требует снижения содержания оксидов азота на 30%, а содержания твердых частиц — на 80% по сравнению с предыдущим стандартом «Евро-3». В 2008 г. предполагается ввести еще жесткий стандарт «Евро-5».

Присадки, которые содержат свинец, обладают наивысшей токсичностью, причем их токсичность возрастает с ростом эффективности. К недостаткам медьсодержащих присадок следует отнести их склонность к образованию отложений в двигателях, поскольку их производные окисляют компоненты топлива и загрязняют оксидами агрегаты топливной системы.

Для снижения содержания несгоревших твердых частиц в отработавших газах предлагается в дизельное топливо добавлять соли марганца в сочетании с солями меди, а для улучшения процесса горения добавлять соли марганца, меди, свинца, кобальта, цинка, церия, никеля, а также поверхностно-активные вещества и парафины.

В качестве антидымных присадок часто применяются производные ферроцена. Так, предлагается в качестве антидымной присадки состав из 2% (по массе) ферроцетана и эфира с жирными кислотами $C_{10} - C_{20}$ в количестве 50% (по массе), а также 48% олеиновой кислоты. Эту композицию вводят в дизельные топлива в количестве 0,02...2% (по массе).

Использование в дизельных топливах в качестве антидымных присадок соединений, содержащих ионы-комплексобразователи кобальта, церия, титана, железа, меди, никеля в концентрации 0,2% позволяет снизить содержание сажи в отработанных газах с 3,24 до 2,2 г/кг, т.е. на 38%. Эти соединения уменьшают также содержание оксидов азота с 29,6 до 16...24 г/кг. Значительному снижению эмиссии частиц сажи с отработавшими газами способствует введение в дизельное топливо соединений меди, никеля, церия в концентрации 0,025—0,18 г/л вместе с жидкими углеводородами в количестве 0,8...13 мл/л. Имеются предложения использовать бифункциональную присадку к топливу, которая уменьшает коррозию и снижает сажеобразование в отработавших газах. Она содержит соли железа, марганца, меди с алифатическими сульфокислотами $C_{12} - C_{30}$, соли кальция и бария с алифатическими и ароматическими кислотами.

Таким образом, наиболее распространенным и эффективным способом снижения содержания твердых частиц в выхлопных газах, образующихся при работе дизельных двигателей, является использование композиционных антидымных присадок, содержащих ионы марганца и меди с карбоновыми и дикарбоновыми кислотами.

Антидымная добавка типа "Fenom Diesel Smoke Free" к дизельному топливу производства компании «Лаборатория триботехнологии» снижает дымообразование путем выжигания сажи и продуктов химического недожога в камере сгорания до окончания сгорания основной массы топлива и начала процесса расширения рабочей смеси. Она способствует снижению эмиссии дыма с отработавшими газами дизеля и уменьшению загрязнения окружающей среды канцерогенными полициклическими ароматическими углеводородами; снижению образования нагара в камере сгорания и закоксовывания поршневых колец; снижению расхода топлива; предотвращению коррозии деталей топливной аппаратуры.

Среди металлосодержащих присадок к топливу, обладающих противодымным эффектом, главное место принадлежит солям органических кислот. Несмотря на то, что к настоящему времени опробованы почти все известные соли, однозначного мнения по поводу того, какие кислоты наиболее эффективны, пока нет. В некоторых случаях утверждается, что органическая часть соединения оказывает влияние на снижение дымности и вредных выбросов, что определяющим является природа используемого металла. Однако определенного ответа на вопрос, какой металл наиболее предпочтителен, пока не существует. Исследуются в основном композиционные присадки, которые состоят из солей различных металлов. Установлено, что чем выше содержание металла, т.е. зольность, тем выше эффективность противодымных присадок к топливу.

Предложен механизм действия антидымных присадок к дизельным топливам, согласно которому все металлосодержащие присадки действуют в соответствии с ионным механизмом, поскольку при горении в пламени происходит интенсивная ионизация металлов. При этом ионы металлов, как в ламинарном, так и в диффузионном пламени снижают скорость зародышеобразования частиц сажи и ее коагуляции. В результате этого либо уменьшается количество образовавшейся сажи, либо значительно снижается размер частиц, что способствует более полному их выгоранию. Этот механизм наиболее характерен для металлов 1-й группы периодической системы, но проявляется также и для пластичных металлов, таких как медь, свинец, олово, никель.

Одним из путей уменьшения вредных выбросов в отработавших газах автомобиля является использование принципов нанотехнологии, т.е. введение в моторное топливо наноразмерных частиц оксида церия. Соответствующая технология ("Fuel Borne Nanocatalyst") разработана английской фирмой "Oxonica" при Оксфордском университете. Специалисты фирмы создали добавку к топливу "Envirox", представляющую собой наноразмерные частицы оксида церия в органической основе. Находясь в составе топлива, эти частицы обеспечивают более полное сгорание углеводородов и уменьшение вредных выбросов. Рабочая концентрация оксида церия в топливе — 5 миллионных долей на литр, т.е. на железнодорожную цистерну топлива достаточно 150...200 г нанопорошка. Эффект от применения добавки "Envirox" — экономия топлива до 10...15% и резкое снижение выбросов оксидов азота. Филиппинская топливная компания ("Independent Philippine Petroleum Co.") уже с марта 2005 г. производит и реализует экологически чистое топливо "Diesel Premium Plus".

Аналогичные работы по исследованию каталитических свойств наночастиц оксидов церия и ширкония ведутся в Брукгейвенской на-

циональной лаборатории Управления энергетических исследований и разработок США. Последние результаты исследований были представлены в марте 2006 г. на очередном Национальном семинаре Американского химического общества, было показано, что наночастицы оксидов, попадая на поверхность каталитического конвертера, действуют как буфер, поддерживающий каталитическую эффективность на одном и том же уровне независимо от режимов работы двигателя.

Ряд европейских производителей (в том числе компании «Даймлер-Крайслер», «БАСФ», «Ивеко», «Рено», «Вольво») выступили с совместным заявлением об участии в проекте *SCR* (разработке селективной каталитической очистки выхлопных газов — *Selective Catalytic Reduction*). Вероятно для соответствия строгим нормам стандарта «Евро-4» будет использована именно технология *SCR*, хотя для этого потребуются модернизация всей автозаправочной инфраструктуры мира.

В технологии *SCR* с реагентом «AdBlue» (рис. 57) идеально сочетаются экологические требования и экономичность. Очевидно, она выбрана производителями среди представленных на рынке конкурирующих систем, поскольку решает одновременно несколько задач:

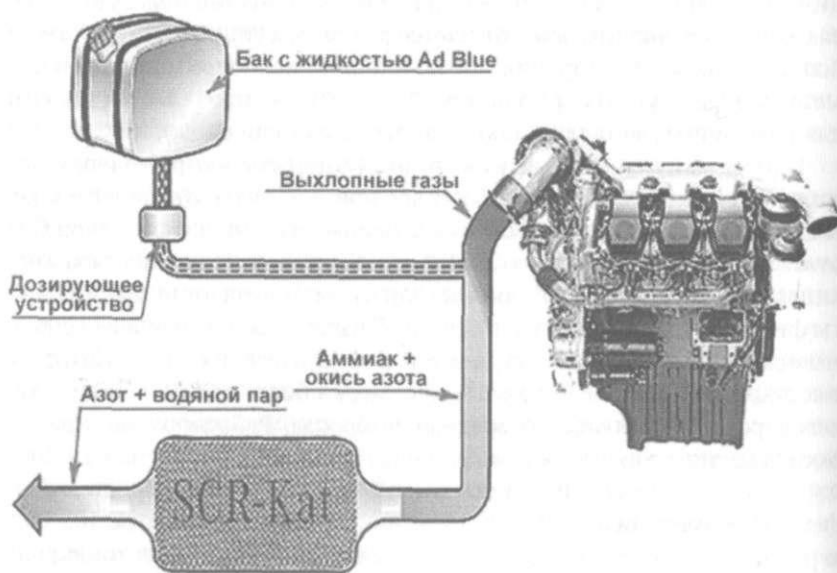


Рис. 57. Схема применения технологии *SCR* с реагентом «AdBlue» на бензиновом двигателе

может быть применена в рамках всей Европы, поскольку сочетается с дизельными топливами разного качества;

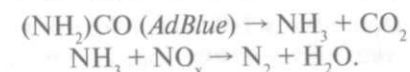
не требует специального обслуживания и рассчитана на весь срок службы автомобиля;

никак не сказывается на интервалах между техобслуживанием и заменой масла;

обеспечивает снижение расхода топлива на 2...5% по сравнению с аналогичными автомобилями, соответствующими стандарту «Евро-3»;

увеличивает дальность пробега автомобиля при условии, что он оборудован баком для «AdBlue» соответствующей емкости.

Реагент «AdBlue» — это жидкость, необходимая для использования технологии *SCR*. Он представляет собой высококачественный, стандартизованный раствор мочевины на водной основе, который заправляется в специальный бак и не доставляет никаких дополнительных проблем водителю. Сама технология проста: «AdBlue» автоматически подмешивается к горячему потоку отработавших газов, в котором содержатся ядовитые окислы азота, а катализатор *SCR* преобразует эту смесь в безвредный азот и водяной пар по реакции:



Известные предприятия автомобильной, химической и нефтяной промышленности активно подключаются к новой перспективной деятельности. Так, нефтяные компании «OMV» (Австрия) и «Total» (Франция) интенсивно разрабатывают стратегию внедрения системы *SCR* и участвуют в заключительных испытаниях. Прочие нефтяные предприятия также ведут интенсивные переговоры с представителями химической и автомобильной промышленности по этому направлению.

Реагент «AdBlue» уже производится в шести странах Европы. Его выпускают ведущие европейские производители карбамида, которые совместно с партнёрами по реализации организуют широкую сеть заправочных станций в Европе.

Специалисты российско-американской компании «Лаборатория триботехнологии» предложили новый оригинальный путь снижения эмиссии вредных примесей в отработавших газах. По их предложению полезный эффект достигается за счет использования растворимых в моторных топливах производных мочевины вместе с наноразмерными частицами диоксида церия. Новая технология, которая получила название «Urea & NanoCatalyst in Fuel», не предусматривает внесения изменений в

конструкцию топливной аппаратуры двигателя внутреннего сгорания и изменений в способе заправки топливом на автозаправочных станциях.

Фирмой разработан также специальный препарат «FaberOx» — дисперсия нанокапсулированного диоксида церия в органическом растворе производных мочевины, который добавляется непосредственно в топливо любого типа. На основе этих разработок получены и поставлены на рынок автохимии специальные препараты. Среди них — нанотюнинг-добавка «Fenom Street Racing» к бензину (рис. 58), которая способствует увеличению мощности, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, очищает топливную систему, стабилизирует работу двигателя. Эффект достигается за счет действия органических и неорганических нанокомпонентов добавки, повышающих эффективность горения топлива и его моющие качества.

Ужесточение требований к цетановому числу (ЦЧ) дизельных топлив (51 единица по европейскому стандарту EN 590 «Топливо дизельное автомобильное» и 53 единицы с 2005 г.), привело к увеличению спроса на цетаноповышающие добавки (присадки), которые используются в составе многофункциональных пакетов присадок к топливам. ЦЧ дизельного топлива характеризует воспламеняемость и кинетику горения топлива в дизеле. При низком ЦЧ (менее 40) продолжительность периода задержки воспламенения велика, горение происходит интенсивнее, давление в камере сгорания нарастает быстрее, что приводит к «стуку», повышенному износу и снижению ресурса двигателя.



Рис. 58. Топливные нанопрепараты фирмы «Лаборатория триботехнологии»

Цетаноповышающие добавки к дизельному топливу используются для улучшения воспламеняемости топлив в камере сгорания, сниже-

ния расхода топлива и токсичности отработавших газов дизеля. Поэтому «Лаборатория триботехнологии» выпустила цетаноповышающую добавку «Fenom Cetane-Number Booster».

Препараты, разработанные компанией «Лаборатория триботехнологии» с использованием достижений нанотехнологии, такие как «Fenom Nano Tuning», «Fenom Street Racing» и «Fenom Cetane-Number Booster» (рис. 58) к бензину и дизельному топливу (для «тюнинга топлива») способствуют улучшению эксплуатационных свойств топлив. Полезный эффект достигается за счет применения в составе добавок химических нанокатализаторов и регуляторов горения топлива (табл. 7).

Как видно, среднюю компрессию (К) в цилиндрах двигателя можно повысить более чем на 35%, что существенно сказывается на повышении всех технических характеристик двигателя — мощности, приемистости, экономичности, уменьшении содержания вредных выбросов в отработавших газах и т.д.

Повышение эффективности рабочего процесса двигателя подтверждается общим снижением удельного расхода топлива, составившего в зависимости от режима обработки от 2 до 5% по отношению к показателям до применения препарата.

Эффективность мероприятий автохимического тюнинга может оказаться совершенно непредсказуемой, поскольку зависит от начального технического состояния автомобиля, применяемого препарата и технологии введения добавок, качества проведения ремонтно-восстановительных работ и ряда других причин.

Таблица 7. Результаты автохимического тюнинга отечественной автомобильной техники

Марка автомобиля	Пробег, тыс. км.	Компрессия, МПа		Эффект, $[(K_n - K_d) / K_d] \cdot 100\%$
		до обработки	после обработки	
BA3–2110	40	1,08	1,16	7,4
BA3–21051	87	1,00	1,16	16,0
BA3–21063	110	1,09	1,29	18,4
CeA3–1111	48	1,25	1,49	19,2
CeA3–1111	123	1,10	1,50	36,4

Примечание: K_d — средняя компрессия в цилиндрах до применения препарата; K_n — средняя компрессия в цилиндрах после применения препарата

На основании этих и других разработок в области нанотехнологий фирма «Лаборатория триботехнологии» также выпустила на рынок первую в мире товарную линию автохимии — наноочистители. Так, наноочиститель инжекторов бензинового двигателя *“Fenom Injector Nanocleaner”* предназначен для очистки инжекторной системы подачи топлива от нагара и отложений, удаления губчатых образований с впускных клапанов, нагара со стенок камеры сгорания и очистки свечей зажигания. Он способствует легкому запуску и хорошей приемистости двигателя; снижению износа и защите от коррозии деталей; более полному и «чистому» горению бензина — снижению его расхода и уменьшению токсичности выхлопа.

Наноочиститель форсунок дизеля *“Fenom Diesel Injector Nanocleaner”* служит для очистки распылителей форсунок, камеры сгорания от нагара и углеродистых отложений, очистки топливной аппаратуры. Он также способствует: легкому запуску; восстановлению распыла топлива, мощности и динамики дизеля; снижению износа и защите от коррозии деталей топливного насоса высокого давления и форсунок дизельного двигателя; более полному и «чистому» горению топлива, снижению его расхода и уменьшению токсичности и дымности выхлопных газов.

Оба препарата совместимы с нейтрализаторами отработавших газов. Эффект от их введения достигается за счет действия высокоэффективных моющих компонентов, модификатора трения, нанокатализатора горения.

Наноочиститель каталитического нейтрализатора выхлопных газов *“Fenom catalytic converter nanocleaner”* создан для очистки и восстановления каталитической активности нейтрализаторов выхлопных газов бензиновых двигателей, очистки электродов кислородного датчика (лямбда-зонда). Он способствует повышению приемистости двигателя, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, увеличению срока службы нейтрализатора.

Нейтрализаторам противопоказаны некачественное топливо, попавшие в камеру сгорания масло или антифриз, несгоревшая топливная смесь, засорение. Эффект достигается за счет действия химических регуляторов горения, уменьшающих засорение каналов нейтрализатора, и наноконпонентов (наночастиц металлов), восполняющих каталитическую активность нейтрализатора.

В целом, все нанокаталитические добавки (присадки) к бензину и дизельному топливу очищают детали, каналы топливных систем, нейтрализаторы выхлопных газов, повышают энерго-экономические показатели двигателей за счет применения современных моющих компонентов, химических нанокатализаторов и регуляторов горения топлива.

ГЛАВА 13. НАНОДОБАВКИ К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Главным фактором, обеспечивающим длительный срок эффективной службы автомобильной техники, является не только высокое качество эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, но и качество применяемых топливно-смазочных материалов (ТСМ) и других препаратов автохимии, в том числе ремонтно-эксплуатационных препаратов (РЭП), а также технологий их применения. Изначально различные препараты как добавки к ТСМ были созданы для повышения их противоизносных, антифрикционных свойств, экономических и экологических свойств, т.е. для профилактики износа и поддержания техники в работоспособном состоянии. Большинство из них и сейчас выпускается для этих целей.

Выполнение постоянно возрастающих экологических требований к автомобилю требует применения моторных масел нового состава. Перед производителями моторных масел поставлена сложная задача. Содержание присадок в маслах должно быть резко снижено, а их противоизносные свойства и сроки бесшумной работы должны оставаться на достигнутом уровне. Сульфатная зольность новых масел, характеризующая содержание моющих присадок, не должна превышать 1%; содержание серы и фосфора (активных элементов противоизносных и антиокислительных присадок) должно быть менее 0,25 и 0,07%, соответственно.

В традиционный пакет масляных присадок входят следующие присадки: антиокислительные, вязкостные, депрессорные, моющие и диспергирующие, противозадирные, антипенные, а также модификаторы трения, ингибиторы коррозии и эмульгаторы.

Основное их назначение — обеспечение гидродинамического режима трения в широком диапазоне нагрузок, т.е. обеспечение максимальной прочности защитной масляной пленки и недопущение ее разрыва. Так, если в зоне контакта возникает режим граничного трения, то в действие вступают противозадирные присадки, химически взаимодействуя с ме-

таллом, при этом в паре трения возникают соединения железа с фосфором, серой, галогенами, обладающие низким усилием сдвига.

Однако многие современные масла не в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям. Для частичного решения этих проблем в настоящее время применяются специальные масляные ремонтно-эксплуатационные препараты, которые по составу, физико-химическим процессам их взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых защитных пленок, а также механизму функционирования в процессе дальнейшей эксплуатации автомобиля подразделяются на три основные группы: реметаллизанты (металлоплакирующие соединения), полимерсодержащие препараты и геомодификаторы. К восстановителям (в основном по критерию повышения технико-экономических показателей обработанной техники) следует условно отнести также кондиционеры поверхности, слоистые добавки-модификаторы и нанопрепараты. Достаточно часто выпускаются РЭП комплексного действия, например реметаллизант вместе с кондиционером металла, полимерсодержащим модификатором и слоистой добавкой. Встречаются препараты, разработчики которых заявляют о содержании в них практически всех известных ремонтно-восстановительных компонентов: тефлона, керамики, молибдена, а также некоторых полимерных и поверхностно-активных веществ.

Все препараты различаются по способам применения (введения в трущиеся соединения). Большинство составов вводят в моторные и трансмиссионные масла, топливо или пластичные смазки. Некоторые из них подают через систему питания (впускной трубопровод) в виде аэрозолей и добавок к топливу и топливно-воздушным смесям (так называемая «специальная обработка»). Имеются препараты, которые подаются непосредственно в зону трения, например, в цилиндропоршневую группу, ступицу колеса и т.д.

Практически все фирмы, производящие препараты подкапотной автохимии, выпускают также добавки к трансмиссионным маслам и пластичные смазки-восстановители.

Согласно современным исследованиям, нефтепродукты, моторные и трансмиссионные масла не являются молекулярными растворами, а представляют собой многокомпонентную смесь, проявляющую свойства дисперсных сред. Процессы, протекающие в смазочных маслах, хорошо описываются коллоидной и нанохимией, что позволяет разрабатывать новые механизмы улучшения эксплуатационных свойств автомобильных моторных и трансмиссионных масел.

Одним из путей создания нетрадиционных присадок является использование принципов и материалов нанотехнологии, а именно,

создание устойчивых дисперсий наноразмерных частиц в моторных и трансмиссионных маслах. Предполагается, что можно использовать нанобъекты в моторном масле в концентрации 10...15 миллионов долей на 1 кг, резко повышая противоизносные свойства смазочного масла. Полученный результат был доложен компанией «Лаборатория триботехнологии» на Всемирном трибологическом конгрессе в Вашингтоне в 2005 г. Этот эффект можно объяснить следующим:

1) наличием в 1 кг масла наноразмерных частиц в количестве 10^{14} ... 10^{15} единиц, которые резко повышают антиокислительную стабильность масла вследствие прерывания радикально-цепного механизма его окисления на поверхностях наночастиц;

2) проявлением эффекта сгущения масла при сильном механическом воздействии в зоне трения.

На основе самосгущающейся жидкости (*Shear Thickening Fluid, STF*) в научно-исследовательской лаборатории армии США создали новую нательную броню для солдат. *STF* имеет достаточно сложный состав, однако сам принцип работы достаточно прост. В жидкости (полиэтиленгликоль) расположена взвесь наноразмерных частиц, которые образуют с полиэтиленгликолем суспензию, обладающую рядом уникальных физических свойств, в частности — сгущающуюся при сильном механическом воздействии.

Когда материал погружают в *STF*, кремниевые наночастицы поглощаются волокнами ткани. В обычном режиме ткань сохраняет гибкость, но когда материал встречается с внезапным напряжением, вроде попадания пули, частицы нанокремния автоматически создают дополнительное сопротивление. При сдвиговом течении коллоидных суспензий (в нашем случае *STF*), в условиях увеличения скорости сдвига возможен резкий рост вязкости суспензии, что может повредить оборудование, например, для переработки сырья, и стимулировать кардинальные изменения в микроструктуре суспензии за счет агрегирования частиц. При ударной нагрузке на полимерную наносистему происходит диссипация энергии удара, которая расходуется на образование гидрокластеров (*hydroclusters*), препятствующих разрыву пленки полимерной наносистемы (рис. 59).

На этом принципе и работает «жидкий бронежилет». В настоящее время новинка находится в стадии разработки, однако, учитывая бюджет американской армии, можно рассчитывать на получение практических результатов уже в ближайшем будущем. Ученые отмечают высокую устойчивость *STF* к изменению температуры окружающей среды, а также нетоксичность применяемых в суспензии веществ.

С другой стороны, такое поведение суспензии может быть использовано в амортизационных устройствах различных конструкций, в которых возможно ограничение максимальной скорости потока суспензии за счет нелинейного изменения вязкости.

Компания «Лаборатория триботехнологии» разработала дисперсионную среду для наночастиц, которая может быть применена для повышения противозадирных свойств смазочных материалов. В качестве дисперсионной среды использовались сложные полиэфиры. Молекулы полиэфира обладают особой двойной гребнеобразной структурой, в которой сложноэфирные и углеводородные группы располагаются в боковых цепях, а основная цепь полимера построена только из атомов углерода. Полученная дисперсия наночастиц кремния в полиэфире в концентрации 1 мг/мл была устойчивой к оседанию.

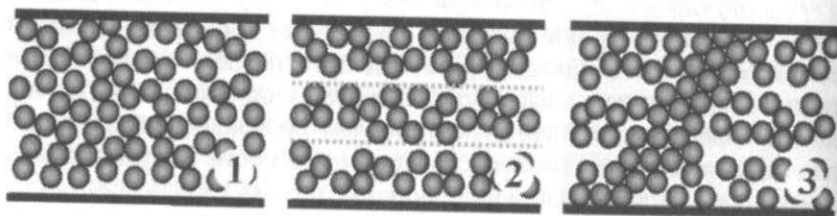


Рис. 59. Механизм образования гидрокластеров в полимерной наносистеме STF;

1 — равновесное состояние; 2 — невысокая деформация; 3 — ударное воздействие

Исследования дисперсий наночастиц кремния, диоксида церия, наноалмаза в полиэфирах дали следующие результаты:

по нанокремнию (0,1% по составу) — 84% частиц с диаметром 44 нм, 16% частиц с диаметром 14 нм;

по оксиду церия (0,26%) — 23% частиц с диаметром 42 нм, 77% частиц с диаметром 12 нм.

по наноалмазу (0,05%) — 91% частиц с диаметром 4 нм, 9% частиц с диаметром 30 нм.

Так, наиболее известны специальные приработочные составы на основе наноалмазов — «*Lubrifilm Diamond Run*» (фирмы «*Actex S.A.*», Швейцария) и «*Fenom Nanodiamond Green Run*» («Лаборатория триботехнологии», Россия), они уменьшают время обкатки и оптимизируют качество трущихся соединений, улучшают работу двигателя, эко-

номят топливо и масло, а также способствуют уменьшению вредных выбросов и облегчают запуск двигателя.

Проведение обкатки (приработки) двигателей и элементов трансмиссии обусловлено наличием дефектов изготовления и сборки деталей и узлов, приводящих к схватыванию и возможному появлению задира поверхностей трения, а также необходимостью выявления возможных скрытых дефектов изготовления.

Приработкой (по ГОСТ 23.002-78) называется изменение геометрии поверхностей трения и физико-механических свойств поверхностных слоев материалов в начальный период трения, проявляющееся при постоянных внешних условиях и заключающееся в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Приработку деталей производят на машиностроительных и ремонтных предприятиях в процессе стендовой обкатки, а также в хозяйствах-потребителях в период эксплуатационной обкатки.

Обкатка — заключительная технологическая операция изготовления или ремонта двигателя, качественное проведение которой позволяет уменьшить отказы в период эксплуатации и повысить ресурс. Так, например, для дизельного двигателя продолжительность обкатки составляет 30...40 моточ. и около 5000 км пробега для автомобиля. Проведение столь длительной обкатки не может быть оправдано экономически и не представляется технически необходимым фактором. Развитие машиностроения указывает на необходимость ускорения этого процесса и сокращения его в обозримом будущем до 2...3 минут, необходимых для контроля работоспособности изделия и выявления возможных скрытых дефектов.

Следует также отметить, что практически любая разборка трущихся соединений приводит к необходимости проведения операций обкатки (приработки) вновь собранного узла с потерей части межремонтного ресурса на приработочный износ.

Из протекания кривой межремонтного цикла (рис. 60) можно заключить, что применение приработочных препаратов позволяет сократить продолжительность этапа приработки с T_n до T_{n0} и продлить зону установившегося режима изнашивания (межремонтного ресурса) с T_p до T_{p0} . Увеличение межремонтного ресурса в зависимости от условий эксплуатации может составлять до 50% и особенно заметно для дизельных двигателей.

Приработочная добавка в масло «*Lubrifilm Diamond Motor Run-In*» предназначена для новых 4-тактных бензиновых и дизельных двигателей, а также для двигателей после капитального ремонта.

Входящие в состав добавки “Fenom Nanodiamond Green Run” нанодIAMазы (диаметром 4...6 нм), структурируют масляную пленку, увеличивают ее динамическую прочность, действуют на кристаллическую решетку поверхности металла, упрочняя ее, формируют новые поверхности трения, уменьшая граничное трение и износ (особенно при больших нагрузках и дефиците смазочного материала).

Приработочный состав “Fenom Nanodiamond Green Run” для двигателя и трансмиссии предназначен для ускорения и улучшения качества приработки поверхностей в соединении шейки коленчатого вала и вкладыша, деталей газораспределительного механизма, а также деталей механических трансмиссий в случае их замены при ремонте. Он совместим со всеми типами моторных и трансмиссионных масел, не влияет на периодичность смены масла и не требует его досрочной замены. Состав не содержит абразивных и иных металлических наполнителей, применяемых для ускорения приработки, безопасен для каталитических нейтрализаторов, обеспечивает быстрое и эффективное достижение равновесной шероховатости, минимизирующей трение и износ в период длительной эксплуатации машин.

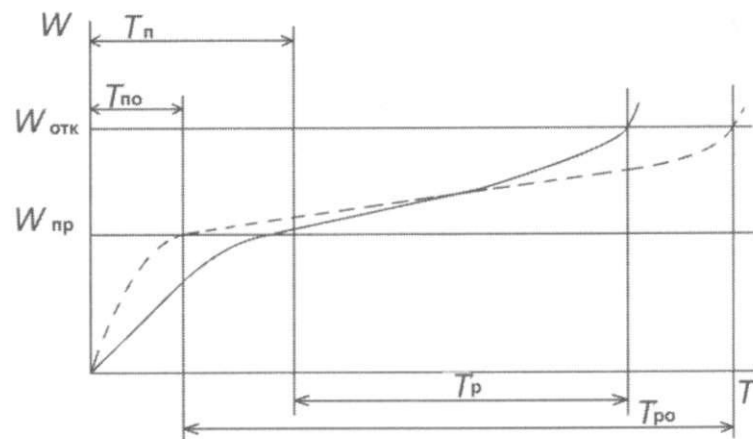


Рис. 60. Межремонтный цикл эксплуатации техники с применением приработочных материалов:

$W_{пр}$ — показатели завершения приработки объекта; $T_{п}$ — продолжительность приработки без применения обкаточных препаратов; $T_{по}$ — продолжительность приработки с применением обкаточных препаратов; T_p — межремонтный ресурс объекта с обкаткой без применения обкаточных препаратов; $T_{ро}$ — межремонтный ресурс объекта с обкаткой на обкаточных препаратах

Приработочные составы типа “Green Run” реализуют трибохимический, безабразивный механизм приработки металлических поверхностей трения новой или отремонтированной техники. Препараты способствуют снятию в приповерхностном слое металла механических напряжений, снижают приработочные износы, ускоряют приработку, реализуют равновесную шероховатость поверхностей. Результатом является повышение износостойкости, снижение механических потерь, улучшение эксплуатационных качеств агрегатов техники.

Приработочные присадки и обкаточные технологии давно применяются на мотороремонтных и машиностроительных заводах, однако в розничной торговле любительских препаратов не так уж и много. В основном в качестве приработочных материалов фирмами, как правило, предлагается использовать препараты, предназначенные для повышения антифрикционных и противозадирных свойств поверхностей трения.

Для объектов отечественной техники стендовая и эксплуатационная обкатка заложена в технологическую документацию на их изготовление на автозаводах и на ремонт на соответствующих предприятиях, поскольку ресурс капитально отремонтированной техники в настоящее время в России не превышает 45...50% от ресурса новой техники.

В последнее время ремонтно-эксплуатационные препараты на основе наноматериалов и нанотехнологий находят всё более широкое применение для восстановления работоспособности двигателей внутреннего сгорания.

Работоспособным называют состояние изделия, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Если хотя бы один из названных параметров не соответствует требованиям нормативно-технической документации, то изделие считают неработоспособным.

Переход от работоспособного состояния в неработоспособное происходит после наступления события, которое, согласно ГОСТ 27.002-83, называют отказом. Отказ деталей и рабочих органов машин при нормальных условиях эксплуатации происходит вследствие различных видов физического износа: усталостных разрушений, деформации материалов, механического износа или повреждений, коррозии, эрозии, кавитации, старения материала и т.д.

Отказы могут быть очевидными (безусловными); к ним относятся, например, «заклинивание» двигателя, потеря работоспособности шины хотя бы одного колеса автомобиля, утечка топлива или смазоч-

ного материала и др. Ко второй группе причин относятся параметрические отказы, при которых падает мощность двигателя, увеличивается расход топлива и моторного масла, уменьшается давление в системе смазки и другие.

С использованием ремонтно-эксплуатационных препаратов и технологий безразборного восстановления имеется возможность практически полного устранения параметрических отказов, а также большого количества очевидных.

Целесообразность и эффективность безразборного восстановления мы можем показать с помощью графической интерпретации межремонтного цикла техники, двигателя или автомобиля в обычных условиях эксплуатации и с применением ремонтно-эксплуатационных препаратов (рис. 61).

На основе технологии нанодисперсий компания «Лаборатория триботехнологии» выпустила на рынок первую в мире товарную линию автохимии — профилактические, защитные и ремонтно-восстановительные составы на основе синтетических соединений и наноконпонентов.

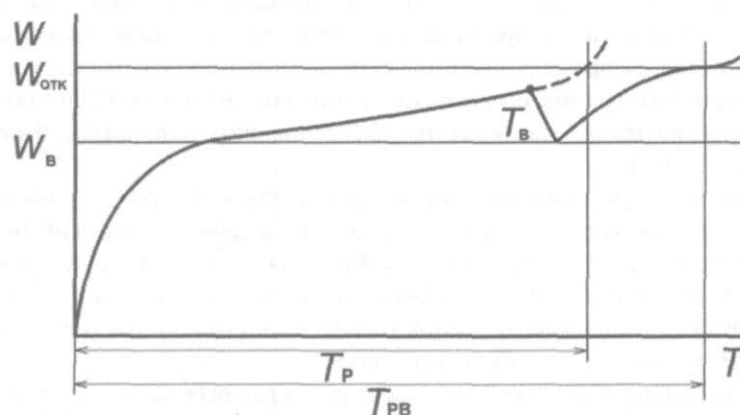


Рис. 61 — Межремонтный цикл эксплуатации техники в условиях применения ремонтно-восстановительных технологий

$W_в$ — показатели объекта после безразборного восстановления; $T_в$ — (точка) проведения операций безразборного восстановления; T_p — межремонтный ресурс объекта в обычных условиях эксплуатации; T_{pv} — повышение межремонтного ресурса объекта за счет применения технологий безразборного восстановления

Нанотехнология позволила создать такие химические структуры, которые запрограммированы на удаление загрязнений и защиту трущихся поверхностей, а также на их самовосстановление.

В настоящее время известны несколько групп ремонтно-эксплуатационных препаратов к смазочным материалам, разработанных на основе нанотехнологий, основные из них также производятся компанией «Лаборатория триботехнологии». К ним относятся следующие четыре группы препаратов (рис. 62).

1. Кондиционеры металла — “Fenom Metal Conditioner/ NanoConditioner” в результате трибохимических реакций (образования, распада и восстановления в зоне трения соединений металла с активными молекулами продукта “Fenom®”) образуют защитные граничные слои (20–40 нм). Защитный слой приобретает пластичные и упругие свойства, антифрикционные качества и одновременно стойкость к высоким нагрузкам.

2. Рекондиционеры — “Old Chap Reconditioner” наряду с образованием подобных защитных слоев дополнительно способствуют повышению несущей способности (прочности) масляной пленки. Полимолекулярная система препарата, включающая наноразмерные комплексы (кластеры) органических веществ, структурирует граничную масляную пленку и увеличивает адгезию масла к металлу.

3. Защитные присадки “Renom Engine / Gear NanoGuard” реализуют нанотехнологию защиты двигателя и трансмиссии, повышают ресурс и улучшают эксплуатационные показатели двигателей и агрегатов трансмиссии автомобилей. Они содержат современные наноконпоненты (наночастицы) — “NanoJell-C®”, “NanoJell-Mo®”, формирующие защитную пленку (твердую наноструктурную смазку), эффективно снижающую износ деталей и трение.



Рис. 62. Масляные нанопрепараты производства фирмы «Лаборатория триботехнологии»

4. Восстановительные присадки “Renom Engine / Transmission” – маслорастворимые металлоорганические соединения. Реализуют трибохимический («ионный») механизм металлоплакирования поверхностей трения за счет образования (восстановления) на поверхности металлосодержащей, наноструктурированной защитной пленки. Присадки способствуют «лечению» микродефектов поверхностей трения, восстановлению их работоспособности.

В качестве средств для безразборного восстановления работоспособности двигателя или автомобиля в целом могут быть в той или иной мере использованы любые из выше представленных ремонтно-восстановительных препаратов.

Известно, что определенные группы восстановителей вследствие особенностей функционирования могут проявлять свои наилучшие качества в одних условиях, быть менее эффективными в других, а иногда могут быть бесполезными и даже вредными. Поэтому следует отметить некоторые общие требования к применению ремонтно-эксплуатационных препаратов.

1. Одним из элементов безразборного сервиса транспортных средств является диагностирование, которое включает определение технического состояния машины, выявление скрытых неисправностей в ее агрегатах и системах без их разборки. На основании полученных результатов выбираются тот или иной способ воздействия, т.е. применяется та или иная ремонтно-восстановительная технология.

Могут применяться стационарные, передвижные, переносные и портативные средства диагностирования. Стационарные средства диагностирования предназначены для контроля большого числа параметров (до 150 и более) на станциях технического контроля (СТО), ремонтных предприятиях и мастерских хозяйств.

Наиболее простой способ определения технического состояния цилиндропоршневой группы (ЦПГ) двигателя – с помощью компрессометра по давлению, развиваемому в цилиндре в конце такта сжатия.

2. Перед введением любых восстановителей в смазочные материалы необходимо проверить состояние уплотнений ремонтируемого агрегата.

Главным условием длительной и надежной работы этих узлов является исправное состояние уплотнительных устройств и различных защитных кожухов. Наличие значительных потерь масла (течи) может привести к выносу части компонентов восстановителя и снижению ожидаемых результатов воздействия. Попадание влаги в большинство металлоплакирующих и молибденсодержащих материалов приводит не только к значительному ухудшению их смазочных свойств, но и к по-

вышению коррозионных процессов в трущихся соединениях, что наиболее нежелательно в различных подшипниковых узлах ходовой части автомобиля. В связи с этим неисправные уплотнения, защитные кожухи и чехлы следует обязательно заменить исправными или новыми.

3. Необходимо провести очистку (промывку) системы смазки двигателя, картера коробки передач и распределительных коробок, мостов и т.д.

В качестве очищающего препарата можно использовать добавку “Fenom NanoFlush” к моторному маслу, предназначенную для усиления моюще-диспергирующих свойств масла, подлежащего замене. Добавка обеспечивает удаление отложений продуктов окисления масла и частиц износа из каналов системы смазки с поверхностей внутренних деталей двигателей, способствует повышению подвижности поршневых колец, нормализации работы гидрокомпенсаторов, улучшению теплоотвода и циркуляции масла в двигателе. Полезный эффект достигается за счет применения в составе добавок поверхностно-активных веществ, растворяющих органические и неорганические отложения и преобразующих их в наноконплексы. Наноконплексы не осаждаются на внутренних поверхностях двигателя и полностью выводятся при смене моторного масла.

При подготовке к введению консистентных смазок-восстановителей необходимо тщательно очистить заправочные полости от остатков старой смазки, которая может содержать абразивный материал, частицы износа и влагу.

4. Следует заменить воздушный, топливный и масляный фильтры на новые, а затем заправить свежее моторное масло до нижнего уровня, оставив часть на приготовление композиции с восстановителем и последующий долив.

Если после контрольного пробега 500...1000 км масло стало черным (за исключением случаев применения слоистых материалов), желательно повторить очистку систем двигателя, тем более что промывочные жидкости после фильтрации, отстаивания в течение 7...10 дней и удаления осадка могут применяться еще 3–4 раза.

5. Температура препаратов перед введением должна быть не ниже +20°C для обеспечения полного их удаления из упаковки и легкости введения. Категорически запрещается их подогрев на открытом огне, электроплитке и т.д.

6. Непосредственно перед введением емкость с препаратом необходимо тщательно встряхивать в течение 2...3 мин.

7. Полученную композицию смазочного масла и препарата следует тщательно перемешивать в течение 3...4 мин и только затем вводить в двигатель, картер или заправочную полость.

8. После введения следует запустить двигатель, осуществить контрольный пробег на 10...15 км или оставить двигатель работающим не менее чем на 30 мин.

При применении различных восстановителей в механических коробках передач для более равномерного нанесения покрытия на контактные поверхности зубчатых колес необходимо в период обработки выполнять движение автомобиля задним ходом на расстояние не менее 250–300 м.

Ресурсные и противоизносные нанопрепараты для моторных и трансмиссионных масел содержат в своем составе активные функциональные наноматериалы, наночастицы, формирующие на поверхностях трения защитные граничные слои, твердые смазки, препятствующие износу деталей.

9. Автомобиль с обработанными узлами необходимо эксплуатировать для достижения более высоких технико-экономических показателей (табл. 7). Следует иметь в виду, что при длительном хранении компоненты восстановителей могут расслоиться, отложиться не в том месте, полученные покрытия могут подвергнуться коррозии и т.д.

10. Не рекомендуется использовать любые препараты, уменьшающие трение, в автоматических коробках передач.

11. Не следует увеличивать рекомендуемую изготовителем дозировку вводимых препаратов, что может привести к противоположным результатам.

Операции безразборного восстановления ДВС наиболее целесообразно проводить на станциях технического обслуживания автомобилей (СТОА), где специалисты контролируют процесс обработки с полным диагностированием двигателя и выдают гарантию правильного применения препарата, что наиболее важно для геомодификатов на основе компонентов минерального и искусственного происхождения. Однако ввиду достаточной простоты обработку можно проводить как в автотранспортном предприятии, так и в гараже (автостоянке) и даже в пути.

Чаше всего непосредственно после обработки скоростные характеристики (выбег, разгон и др.) сразу оказываются лучше на 10...25% (табл. 8). При дальнейшей эксплуатации продолжается восстановление изношенных поверхностей трения и других технико-экономических характеристик агрегата. Техничко-экономические показатели увеличиваются до пробега 1,5...5 тыс. км, остаются почти неизменными до пробега около 15 тыс. км, а затем начинают постепенно снижаться, частично сохраняясь до 30...50 тыс. км, по некоторым данным — до 80 тыс. км пробега (рис. 63).

Таблица 8. Результаты безразборного восстановления работоспособности отечественной автомобильной техники

Марка автомобиля	Пробег, тыс. км.	Компрессия, МПа		Эффект, $[(K_d - K_n) / K_d] \cdot 100\%$
		до обработки	после обработки	
ВАЗ – 2102	216	0,59	0,64	8,5
ЗиЛ – 130	93	0,78	0,85	8,9
ВАЗ – 21081	117	0,87	0,95	9,2
ВАЗ – 2104	162	0,83	0,91	9,6
ВАЗ – 21093	100	0,96	1,10	11,5
ВАЗ – 21073	126	0,96	1,10	14,6
ГАЗ – 31029	190	0,65	0,81	15,8
ГАЗ – 24	156	0,69	0,84	21,4
ВАЗ – 21063	120	0,76	0,99	30,3
ЗиЛ – 131	153	0,50	0,75	50,0

Примечание: K_d — средняя компрессия в цилиндрах до применения препарата; K_n — средняя компрессия в цилиндрах после применения препарата

Поэтому в качестве заключительной рекомендации по данному разделу следует посоветовать автомобилистам, как автолюбителям, так и профессионалам, на всякий случай иметь в своем арсенале (аварийном комплекте) один или несколько различных ремонтно-эксплуатационных препаратов. Пусть такие препараты не всегда смогут надежно и на длительный срок восстановить технические характеристики вашего двигателя или автомобиля в целом, но запустить двигатель с минимальными затратами и опасениями за его дальнейшую работоспособность и добраться до ближайшего автосервиса, вернуться на базу или домой — они несомненно помогут.

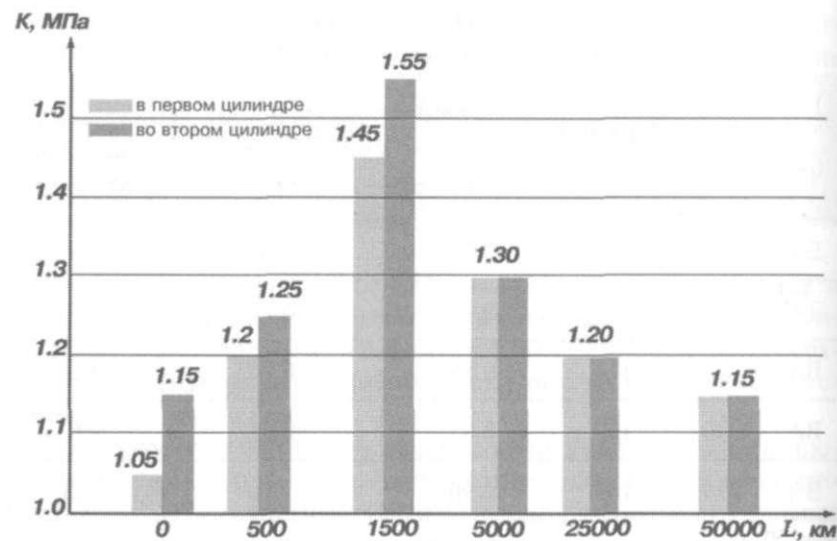


Рис. 63. Изменение компрессии (K, МПа) в цилиндрах обработанного автомобиля СеАЗ-1111 в зависимости от пробега (L, км)

ГЛАВА 14. ЗАЩИТА ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Проведенные в странах Европы социологические исследования указывают, что развитие нанотехнологий существенно сдерживается отсутствием высококвалифицированных специалистов в этой области и определенным опасением общественности, в том числе научной, возможными негативными последствиями влияния наноиндустрии на человека и окружающую среду. Многие специальные медицинские исследования выявили, что наночастицы с размерами, позволяющими им достигать наиболее чувствительных тканей легких, вызывают воспаление. Так, Дж. Джеймс из Космического центра им. Джонсона НАСА в Хьюстоне и его коллеги вводили наночастицы в дыхательные пути мышей и затем наблюдали за ними в течение трех месяцев. Несмотря на то, что фуллерены не вызвали явных повреждений тканей, углеродные нанотрубки повлияли на работу легких и вызвали смерть нескольких животных.

Как отмечает научное издание *"Science Daily"*, установлено, что даже воздух, окружающий нас, часто содержит частицы, которые вредны для здоровья человека. Особенно разрушительны для ДНК частицы, находящиеся в воздухе метро, считает Ханна Карлссон из Каролинского института (Швеция). Она полагает, что частицы, содержащиеся в воздухе стоковой подземки, оказывают на ДНК человека более сильное воздействие, нежели частицы, содержащиеся в автомобильных выхлопах. Исследование показало, что воздух в метро содержит частицы железа, которые образуются вследствие трения колес о рельсы. Наибольший вред человеческому организму они наносят при попадании в легкие, когда свободные радикалы образуются в клетках организма. Свободные радикалы – это быстро движущиеся молекулы, которые как раз и наносят наибольший вред человеческой ДНК. При этом, как отмечает ученый, повреждение клетки, нанесенное радикалами, может быть устранено самой клеткой, однако если оно остается «невылеченным», это увеличивает риск заболевания раком.

Другие частицы, которые были обнаружены в ходе исследования, возникают в результате трения автомобильных шин об асфальт и приводят к различным воспалительным заболеваниям человеческого организма.

Нанотехнологии несут в себе ряд реальных и потенциальных опасностей. Так в 2002 г. американское Агентство по защите окружающей среды (EPA), НАСА и международная неправительственная группа по защите прав человека в технологическую эру (ETC Group) по результатам совместного исследования заявили, что вдыхание нанотрубок (на сегодня базового строительного наноматериала), которому случайно подверглась группа астронавтов, привело к заболеванию легких. Такие углеродные трубки весьма похожи по негативному воздействию на обычную сажу. Кроме того, частицы наноустройств легко могут проникать в клетки через поры их стенок и накапливаться в органах. Последствия такого «зашлаковывания» пока неясны, но вряд ли они будут позитивными.

Другая группа американских ученых во главе с П. Симеоновой (Simeonova) из Западной Виргинии (США) исследовала повреждения митохондриальной ДНК в тканях сердца и аорты. Опыты на мышах показали, что ДНК была значительно повреждена, появились признаки развития атеросклероза.

В то же время показано, что эти молекулы крайне опасны для мембран клеток. Так, например, эпителиальные клетки человека и клетки печени были разрушены наполовину через 48 часов при выдерживании их в сильно разбавленном (до 20 частей на миллиард) растворе фуллеренов. Проведенные затем дополнительные химические исследования указали возможный путь предотвращения потенциального токсического действия этих молекул. Было доказано, что чем больше гидроксильных групп связано с молекулами фуллеренов, тем менее токсичными они становятся (до 10 млн. раз). Проблема заключается в том, что модифицированные фуллерены могут восстановить токсичность, например, под действием ультрафиолетовых лучей, разрушающих гидроксигруппы. Пристальному вниманию исследователей подвергаются такие молекулы нанотехнологий, как диоксид титана, широко используемый в косметологии.

Многие исследователи уверены, что наночастицы опасны для людей, поскольку для их производства часто используются изначально токсичные вещества. Определенную озабоченность также вызывают проблемы утилизации продуктов синтеза, в связи с чем необходимо контролировать промышленные выбросы и отходы.

Поэтому при работе с наноматериалами рекомендуется использовать специальные средства защиты органов дыхания и рук. Учитывая высокую проникающую способность наночастиц, это является достаточно проблематичной задачей, например, кожные покровы целесообразно защищать специальными кремами, создающими буферные слои на поверхности.

Однако некоторые известные эксперты и ученые отмечают более глобальную потенциальную опасность нанотехнологий. Так, «отец нанотехнологий» Эрик Дрекслер, почетный председатель американского Института предвидения (Foresight Nanotech Institute – ведущая нанотехнологическая организация США, финансирующая исследования и активно занимающаяся пропагандой данного направления), почти 20 лет назад выдвинул катастрофический сценарий «серой слизи» (*“grey goo problem”*), который предполагает превращение поверхности планеты и всего живого на ней в единый слой однородной липкой пыли или слизи, в случае если самокопирующиеся нанороботы, способные брать вещество из окружающей среды, выйдут из-под контроля. Этой точки зрения придерживался также Билл Джой, один из основателей корпорации *“Sun Microsystems”*, который неоднократно высказывался об опасности развития нанотехнологий.

С другой стороны, если работу самокопирующихся роботов удастся контролировать, то они окажутся идеальным оружием, что вызывает повышенный интерес армейских кругов. В любом случае из-за того, что функционирование всех устройств микромира носит вероятностный характер, всегда возможны непредсказуемые мутации наноавтоматов под влиянием непредсказуемых внешних воздействий, приводящие к отказу от выполнения заданной программы и разрушительному поведению.

Пока гипотеза «серой слизи» не выдерживает критики: ведь для автосборки нанороботу нужны пальцы-манипуляторы, современные аналоги которых (микроэлементы модифицированных атомных микроскопов) значительно превосходят размеры атомов, что в принципе не позволяет создавать автономные сборщики наноразмеров. Кроме того, такие манипуляторы весьма несовершенны: в них внедряются посторонние атомы, и пока неясно, можно ли исключить все эти побочные эффекты, как подобные роботы смогут получать необходимую энергию и будет ли она рассеиваться в результате масштабных молекулярных преобразований. На данный момент гипотеза «серой слизи» (в том виде, в каком она сформулирована) противоречит законам термодинамики. (Примечательно также, что в настоящее время Э. Дрекслер опроверг собственный сценарий, считая его невероят-

ным. — Прим. ред.). Впрочем, теоретическая возможность создания автосборщиков остается, и то, что кажется совершенно нереальным сегодня, завтра вполне может стать обыденностью. Показательно, что в 2003 г. один из призов Института молекулярного производства (ИММ), работа которого финансируется Институтом предвидения, был присужден за теоретические разработки по созданию стражей, способных контролировать деятельность авторепликаторов.

Более вероятно гипотеза «зеленой слизи» (*“green goo problem”*). Ученые предупреждают, что существует реальная возможность создания разрушительных вирусов и бактерий, которые, быстро размножаясь, просто уничтожат всю жизнь на планете, разобрав белковые структуры на отдельные молекулы. В технологическом плане эта задача проще — вирусы могут пользоваться строительным материалом и готовыми энергоресурсами клеток. Так, в 2002 г. группа американских ученых заявила, что создала искусственным методом поливирус, потратив на эту работу более трех лет. В ноябре 2003 г. появилось сообщение о том, что ученые Института альтернативных биологических источников энергии собрали за 14 дней точную живую копию вируса *“PhiX”* (Фикс) из коммерчески доступных материалов. *“PhiX”* известен тем, что стал первым земным существом, генетический код которого был расшифрован в 1978 г. Его геном состоит из 5386 элементов, которые ученые состыковывали вручную.

В будущем ученые намерены сконструировать подобным образом искусственную бактерию и попытаться автоматизировать технологию сборки ДНК, чтобы в дальнейшем создавать более сложные живые организмы. Данный проект вызвал неодобрительные комментарии представителей ЦРУ, опасющихся, что технологии разработки вирусов могут оказаться доступными странам, поддерживающим глобальный терроризм.

С идеей создания нанороботов (которые по прогнозам должны появиться через 10...15 лет) также был не согласен открыватель фуллеренов Ричард Смолли.

На одной из первых ежегодных Форсайтовских конференций, проводимых с 1989 г., по инициативе Э. Дрекслера было принято обращение к ученым и правительствам всего мира не производить наноразработки в военных целях. Однако необходимость получения средств на научные исследования привела к развитию нанопрограмм для средств вооружения, а также изделий двойного назначения, главным образом в США. По имеющимся данным, некоторые такие разработки уже находятся на вооружении армии этой страны.

Хочется надеяться, что знаменитый закон робототехники, сформулированный американским фантастом Айзеком Азимовым: «Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред. Робот должен повиноваться командам человека, если эти команды не противоречат Первому Закону» — будет такой же неотъемлемой частью программ создания и применения и нанороботов.

Касаясь важнейшей проблемы защиты человека и окружающей среды, следует рассматривать не только возможные негативные последствия, но и ту пользу, которую нанотехнологии могут принести окружающей среде и здоровью человека.

Согласно исследованиям, проведенным Институтом предвидения в 2005 г., в использование нанотехнологий позволит в будущем решить ряд наиболее значимых для человечества проблем. Так, одной из важнейших проблем является обеспечение мировых энергетических потребностей. Согласно прогнозам, спрос на электроэнергию к 2025 г. вырастет на 50%. В настоящее время около 1,6 млрд. чел. не обеспечены электроэнергией, а у 2,4 млрд. единственными источниками энергии и тепла являются сельскохозяйственные отходы и растительные материалы. Использование ископаемого топлива растет и может удвоиться в ближайшее время. С учетом имеющихся запасов природного топлива эта проблема будет с каждым годом только усложняться.

Предполагается, что нанотехнологии позволят решить энергетические проблемы посредством применения более эффективного освещения, топливных элементов, водородных аккумуляторов, солнечных элементов, распределения источников энергии и децентрализации производства и хранения энергии за счет качественного обновления электроэнергетической системы.

Не менее актуальна проблема обеспечения человечества достаточным количеством питьевой воды. Запасы пресной воды, пригодной для использования, составляют всего 3%, из которых только 1% используется населением Земли. В настоящий момент 1,1 млрд. чел. не имеет возможности использовать чистую пресную воду. Принимая во внимание текущие объемы потребления воды, рост населения и развитие промышленности, к 2050 г. две трети населения Земли будут испытывать недостаток пригодной для употребления пресной воды.

Следует ожидать, что нанотехнологии позволят найти решение этой проблемы за счет использования, в частности, недорогой децентрализованной системы очистки и опреснения воды, систем отделения

загрязняющих веществ на молекулярном уровне и систем фильтрации нового поколения.

Одной из важнейших задач остается улучшение здоровья и продолжительности жизни. В настоящее время средняя продолжительность жизни в Европе составляет 74 года у мужчин и 80 лет у женщин. Эти показатели могут быть значительно выше при условии применения прогрессивных средств против старения организма.

За последние 20 лет было выявлено не менее 30 инфекционных заболеваний (СПИД, вирус Эбола и др.), смертность от которых составляет 30% от общего числа смертей во всем мире.

Ежегодно только в США диагностируется 1,5 млн. новых случаев онкологических заболеваний. Смертность от них в мире составляет не менее 500 тыс. человек в год. Согласно прогнозам, к 2020 г. количество онкобольных в мире может возрасти на 50% и составить 15 млн. в год.

Австралийская фирма "pSivida" изобрела новый способ точной дозированной поставки лекарства к раковой опухоли. Препарат *BrachySil* вводится в опухоль. Он содержит лекарство, убивающее раковые клетки. Однако самое сложное в подобных способах терапии — точная дозировка и постепенное (в течение многих дней) введение лекарства непосредственно в организм. В противном случае эффект может быть обратным желаемому. *BrachySil* — это комплекс кремниевых высокопористых (размер пор — 10 атомов) наночастиц. В его порах и помещается действующий препарат, а также определенное количество изотопа фосфора-32 (период полураспада 14 дней). Фосфор служит для регулирования разложения кремния, во время которого в опухоль и выпускается препарат. Вся технология базируется на том любопытном факте, что кремний в форме частиц нанометрового масштаба, в отличие от более крупных фрагментов, полностью перерабатывается организмом человека так же, как кремниевая кислота, содержащаяся в пище.

Ожидается, что применение этих и других нанотехнологий в области медицины будет способствовать появлению недорогих и оперативных методов диагностики заболеваний на раннем этапе, новых способов разработки и применения лекарственных препаратов, возможности восстановления поврежденной структуры ДНК.

Важнейшей проблемой является повышение урожайности в сельском хозяйстве. Согласно статистике, численность населения мира в настоящее время составляет около 6,5 млрд. чел. и к 2050 г. достигнет 8,9 млрд., что вызовет существенное увеличение потребления продуктов питания.

Предполагается, что применение нанотехнологий позволит изменить технику возделывания земель за счет использования наносенсоров, нанопестицидов и системы децентрализованной очистки воды. Нанотехнологии сделают возможным лечение растений на геномном уровне, позволят создать высокоурожайные сорта, особо стойкие к неблагоприятным экологическим условиям.

Нанотехнологии в сельском хозяйстве могут быть успешно применены для оптической расшифровки белково-липидно-витаминно-хлорофильного комплекса в растениеводстве (табл. 9), а также для создания биосовместимых материалов; перестройки, облагораживания и восстановления тканей; создания неотторгаемых организмом искусственных тканей и сенсоров (молекулярно-клеточная организация) в животноводстве и т.д.

Таблица 9. Идентификация сортовых нанопризнаков методами оптической флуоресценции и отражения

Объекты распознавания	Спектр воздействия, нм	Спектр регистрации, нм
Белковые структуры	260...295	310...380
Липиды и витамины	310...325	380...500
Пигменты и хлоропласты	430...465	600...800
Крахмал	380...720 1690...2200	380...720 1690, 1930, 2200
Болезни корневой клубней и неорганические объекты	700...2000	720, 910, 980, 1100, 1200, 1440, 1750
Израстание столонов	430...450	640, 683
Динамика накопления урожая	280...300	468, 520
Зрелость, заживляемость, сохранность и всхожесть корневой клубней	430...450	640, 678, 730
Продуктивность семян растений	430...450	640, 678, 730

Как видно, развитие nanoиндустрии может заключать в себе как разрушительные глобальные последствия, так и неоспоримые, в некоторых случаях даже безальтернативные возможности для качественного изменения человеческой жизни и окружающей среды.

ГЛАВА 15. НАНОТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*«Чтоб все знали — и бизнес, — что если он сегодня не пойдет
в нанотехнологии..., он пропустит всё на свете.
И будет в лучшем случае в телогрейке работать на скважине...,
которыми будут управлять наши друзья и партнеры»*
Михаил Фрадков, премьер-министр Российской Федерации

Нанотехнология обещает большие возможности при разработке новых материалов, совершенствовании связи, развитии биотехнологии, микроэлектроники, энергетики и вооружений. Среди наиболее вероятных научных прорывов эксперты называют увеличение производительности компьютеров, восстановление человеческих органов с использованием вновь созданной ткани, получение новых материалов, созданных напрямую из заданных атомов и молекул, и появление новых открытий в химии и физике, способных оказать революционное воздействие на развитие цивилизации.

В своих работах Э. Дрекслер и его последователи оценивали параметры в основном механических устройств, которые они могли бы иметь при приближении размера компонентов к молекулярному масштабу. Это обусловлено не тем, что они недооценивали важность электрических, оптических и других эффектов, а тем, что механические конструкции гораздо проще и достовернее масштабируются. При этом разумеется, осознается, что электрические и другие эффекты могут дать значительные дополнительные возможности.

Произведя соответствующее масштабирование, Дрекслер получил следующие численные оценки различных эффектов:

- позиционирование реагирующих молекул — с точностью около 0,1 нм;
- механосинтез — с производительностью около 10⁶ операций в секунду на устройство;
- молекулярная сборка объекта массой 1 кг — ориентировочно за 10⁴ с;
- работа наномеханического устройства — с частотой до 10⁹ Гц.

логический затвор — объемом около 10–26 м³ (10⁻⁸ j³), с частотой переключения менее 0,1 нс и рассеиваемой теплотой 10–21 Дж.

компьютеры — с производительностью до 10¹⁶ опер/с/Вт; компактные вычислительные системы на 10¹⁵ млн. команд в секунду.

Возможно молекулярное производство макроскопических объектов. Оценки показывают, что устройство массой около 60 кг («настолярная нанофабрика») сможет с молекулярной точностью изготавливать объект объемом около 1 л и массой около 4 кг примерно за три часа. Это позволило бы за два дня изготовить вторую такую же нанофабрику; удвоение их количеств каждые два дня позволило бы за два месяца обеспечить собственной нанофабрикой каждого жителя Земли.

Согласно прогнозам Министерства торговли Великобритании, в 2015 г. спрос на нанотехнологии составит уже не менее 1 трлн. долл. год, а численность специалистов, занятых в данной отрасли, вырастет до 2 млн. человек.

По прогнозам американской ассоциации “National Science Foundation” объем рынка товаров и услуг в мире с использованием нанотехнологий может в ближайшие 10...15 лет вырасти до 1 трлн. долл.:

в промышленности материалы с высокими заданными характеристиками, которые не могут быть созданы традиционным способом, могут занять рынок объемом 340 млрд. долл. в ближайшие 10 лет;

в полупроводниковой промышленности объем рынка нанотехнологичной продукции может достигнуть 300 млрд. долл. в ближайшие 10...15 лет;

в сфере здравоохранения использование нанотехнологий может позволить помочь увеличить продолжительность жизни, улучшить ее качество и расширить физические возможности человека;

в фармацевтической отрасли около половины всей продукции будет зависеть от нанотехнологий. Объем продукции с использованием нанотехнологий составит более 180 млрд. долл. в ближайшие 10...15 лет;

в химической промышленности наноструктурные катализаторы уже применяются при производстве бензина и в других химических процессах, причем рост рынка составляет приблизительно до 100 млрд. долл. По прогнозам экспертов, рынок таких товаров растет на 10% в год;

в транспорте применение нанотехнологий и наноматериалов позволит создавать более легкие, быстрые, надежные и безопасные автомобили. Рынок только авиакосмических изделий может достичь 70 млрд. долл. к 2010 г.;

в сельском хозяйстве и в сфере защиты окружающей среды применение нанотехнологий может увеличить урожайность сельскохозяйс-

твенных культур, обеспечить более экономичные способы фильтрации воды и позволит ускорить развитие возобновляемых источников энергии, таких как высокоэффективное преобразование солнечной энергии. Это позволит снизить загрязнение окружающей среды и экономить значительные ресурсы.

Выше (см. главу 2) указаны некоторые шаги, которые предпринимает Россия для развития и интенсификации научно-исследовательских работ в области наноматериалов и нанотехнологий, в частности, упоминались Международная научно-практическая конференция «Нанотехнологии и информационные технологии — технологии XXI века» (май 2006 г.) и ряд других.

В декабре 2006 г. в Центре международной торговли в г. Москве прошла III Международная специализированная выставка нанотехнологий и материалов “NTMEX–2006” (декабрь 2006 г.). Выставка демонстрировала достижения предприятий и научных коллективов в области нанотехнологий и материалов, продвижения их на международный рынок, расширения выпуска высокотехнологичной продукции и принципиально новых функциональных материалов с уникальными потребительскими свойствами.

В последнее время пристальное внимание развитию исследований в этой области уделяется руководством страны. Правительство Российской Федерации распоряжением от 25.08.2006 г. № 1188-р (см. приложение 2) одобрило программу координации работ в стране в области нанотехнологий и наноматериалов (приложение 3). При этом Министерству образования и науки поручено обеспечить реализацию программы совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и организациями, а также ежегодно, начиная с 2007 г. во II-м квартале года представлять доклад в правительство о ходе и результатах реализации программы.

Указано, что ускоренное развитие исследований в области нанотехнологий и наноматериалов должно обеспечить реализацию стратегических приоритетов страны, изложенных в «Основах политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу».

В заключение приведем оптимистический прогноз писателя-фантаста Артура Кларка, предсказания которого сбываются одно за другим: «2040 год: будет усовершенствован “универсальный репликатор”, основанный на нанотехнологиях; может быть создан объект любой сложности при наличии сырья и информационной матрицы. Бриллианты и деликатесная еда могут быть сделаны в буквальном смысле слова из грязи. В результате за ненадобностью исчезнут промышленность и сельское хозяйство, а вместе с ними и недавнее изобретение человеческой цивилизации — работа. После чего последует взрывное развитие искусств, развлечений, образования».

лианты и деликатесная еда могут быть сделаны в буквальном смысле слова из грязи. В результате за ненадобностью исчезнут промышленность и сельское хозяйство, а вместе с ними и недавнее изобретение человеческой цивилизации — работа. После чего последует взрывное развитие искусств, развлечений, образования».

Список литературы

1. Абрамян А. А., Афанасьев М. М., Беклемишев В. И., Солодовников В. А., Махонин И. И. Биосовместимые наноматериалы // Наноиндустрия. — 2007. — № 1. — С. 34–36.
2. Альтман Ю. Военные нанотехнологии. — М.: Техносфера, 2006. — 416 с.
3. Балабанов В. И., Беклемишев В. И., Махонин И. И. Разработка и исследование металлоорганических ремонтно-восстановительных присадок // Трение, износ, смазка (электронный ресурс). — 2003. — № 17.
4. Балабанов В. И., Беклемишев В. И., Махонин И. И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах. Теория и практика эффективной эксплуатации и ремонта машин. Пособие для автомобилистов — М.: Изумруд, 2004. — 192 с.
5. Балабанов В. И., Беклемишев В. И., Махонин И. И., Филиппов К. В., Летов А. Ф. Влияние металлоорганических присадок RENOM на поверхности трения и показатели автомобильной техники // Вестник машиностроения. — 2004. — № 10. — С. 51–55.
6. Балабанов В. И., Беклемишев В. И., Махонин И. И., Филиппов В. К. Ремонтно-восстановительные препараты для техники // Сельский механизатор. — 2005. — № 11. — С. 40–41.
7. Балабанов В. И., Ищенко С. А., Беклемишев В. И. Триботехнология в техническом сервисе машин. — М.: Изумруд. — 2005. — 180 с.
8. Балабанов В. И., Филиппов В. К. Нанопрепараты для повышения ресурса автомобилей // Новые и подержанные автомобили. — 2006. — № 15. — С. 18–20.
9. Балабанов В. И., Ищенко С. А., Беклемишев В. И., Гамидов А. Г., Махонин И. И., Филиппов К. В. Безразборный сервис автомобиля (обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление). М.: Известия, — 2007. — 272 с.
10. Беклемишев В. И., Летов А. Ф., Махонин И. И., Филиппов К. В. Объекты нанохимии и их влияние на трение и износ // Нанотехнологии и их влияние на трение, износ и усталость в машинах: Тр. междунар. конф. — М., 2004.
11. Беклемишев В. И., Махонин И. И., Филиппов В. К., Балабанов В. И. Разработка ресурсосберегающей автохимии и современных масел с применением эффективных компонентов и наноматериалов // Материалы Международной научно-практической школы-конференции «Славянтрибо-7а», Рыбинск, РГТА, — 2006. — Т.3. — С. 21–27.
12. Беклемишев В. И., Махонин И. И., Филиппов В. К., Летов А. Ф., Балабанов В. И. Химия безразборного сервиса машин и механизмов. Кондиционеры металла // Строительные и дорожные машины. — 2006. — № 6. С. 26–28.
13. Беклемишев В. И., Махонин И. И., Летов А. Ф., Филиппов В. К., Балабанов В. И. Безразборный сервис автомобильной техники (ресурсосберегающие препараты химии и нанотехнологии) // Авторемонт. — 2006. — № 6. — С. 10–14.
14. Бинниг Г., Рорер Г. Сканирующая туннельная микроскопия — от рождения к юности. Нобелевские лекции по физике — 1996 // УФН. — 1988. — Т. 154, вып. 2. — С. 261.
15. Бородин И. Ф. Нанoeлектротехнология в сельском хозяйстве // Науч.-техн. прогресс в АПК России. — М.: Россельхозакадемия, 2000. — С. 467–475.
16. Бородин И. Ф. Нанотехнологии в сельском хозяйстве // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. — 2005. — № 10. — С. 2–5.
17. Бузник В. М., Фомин В. М., Алхимов А. П. и др. Металлополимерные нанокомпозиты (получение, свойства, применение). — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 260 с.
18. Валах М. Я., Джаган В. Н., Литвин П. М. и др. Компонентный состав и упругие напряжения в многослойных структурах с наноструктурами Si1-xGex // ФТТ. — 2004. — Т. 46, вып. 1. — С. 88–90.
19. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. — М.: Мир, 1989.
20. Гамов Г. А. Теория вылета альфа-частиц из ядра. — 1928.
21. Гольдманский В. И., Трахтенберг Л. И., Флеров В. Н. Туннельные явления в химической физике. — М.: Наука, 1986.
22. Горнев Е. С., Календин В. В., Новиков Ю. А. и др. Метрологическое обеспечение измерений в нанотехнологии // Изв. вузов. Матер. электрон. техники. — 2004. — № 2. — С. 55–59.
23. Губин С. П. Химия кластеров. — М.: Наука, 1987.
24. Гусев А. И., Ремпель А. А. Нанокристаллические материалы. — М.: Физматлит, 2000.
25. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — М.: Физматлит, 2005. — 416 с.
26. Демиденко В. С., Жоровков М. Ф., Зайцев Н. Л., Нечаев И. А. Модель регулярной наноструктуры // Изв. вузов. Физ. — 2003. — Т. 46, № 8. — С. 74–83.

27. Дураджи В. Н., Хазов С. П. Триботехнические исследования противозносных антифрикционных ремонтно-восстановительных составов. //www.tribo.ru. — 2004.
28. Дьячков П. Н. Углеродные нанотрубки. Материалы для компьютеров XXI века //Природа. — 2000. — С. 23.
29. Запис К. В., Джумалиев А. С., Ушаков Н. М., Кособудский И. Д. Медьсодержащие нанокомпозиты. Синтез и исследование состава // Письма в ЖТФ. — 2004. — Т. 30, вып. 11. — С. 89–94.
30. Казаченко В. П. Технологические методы формирования наноразмерных полимерных покрытий в вакууме //Нанотехника. — 2004. — № 1. — С. 48–54.
31. Календин В. В. Нанометрия: проблемы и решения // Автометрия. — 2004. — Т. 40, № 2. — С. 20–36.
32. Карабасов Ю. С., Аксенов А. А., Астахов М. В. Наноматериалы и нанотехнологии в МИСиС //Цветные металлы. — 2005. — № 9. — С. 6–9.
33. Карагузов В. И. Нанокриогенные технологии //Микросистемная техника. — 2004. — № 10. — С. 15–23.
34. Карагузов В. И., Карагузова Е. Е. Нанотехнологии в системах охлаждения //Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: Матер. 3 междунар. технол. конгр., Омск, 7–10 июня 2005 г. В 2 ч. — Омск: ОмГУ, 2005. — Ч. 1. — С. 217–218.
35. Киселев А. Н. Электронная микроскопия высокого разрешения некоторых типов наноструктур: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — М., 1995. — 24 с.
36. Киселев М. И. Разработка нанотехнологий в МГТУ им. Н.Э. Баумана //Конверсия в машиностроении. — 2002. — № 1 (50). — С. 67–70.
37. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию /Пер. с япон. — М.: БИНОМ, 2005. — 134 с.
38. Коваленко Л. В., Фолманис Г. Э., Вавилов Н. С. Биологически активные нанопорошки железа //Перспективные материалы. — 2005. — № 2. — С. 39–43.
39. Ковальчук М. В. Органические наноматериалы, наноструктуры и нанодиагностика //Вестник РАН. — 2003. — Т. 73, № 5. — С. 405–412.
40. Корниенко Е. В. Нанотехнология — возможность получения материалов с уникальными свойствами //Материаловедческие и технические проблемы современного автомобилестроения: Матер. науч.-практ. конф. — Вязьма: ВФ МГИУ, 2004. — С. 45–63.
41. Корнилов Д. А. Исследование свойств фуллеренов и нанотрубок методом молекулярной динамики: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — СПб., 2003. — 17 с.
42. Костиков В. И., Котосонов А. С., Шило Д. В. Сорбция водорода углеродными наноматериалами. Перспективы их применения на автотранспорте //Новые функциональные материалы и экология: Матер. науч.-практ. конф. материаловедч. обществ России, Звенигород, 26–29 нояб. 2002 г. — М., 2002. — С. 29–30.
43. Котенев В. А. Методы мультиплексной спектроскопии в исследовании многослойных наноструктур //Микроэлектроника. — 2004. — Т. 33, № 6. — С. 433–444.
44. Красинькова М. В., Паугурт А. П. О механизме образования фуллеренов и углеродных нанотрубок //Письма в ЖТФ. — 2005. — Т. 31, вып. 8. — С. 6–11.
45. Крестинин А. В. Однослойные углеродные нанотрубки: механизм образования и перспективы технологии производства на основе электродугового процесса //Рос. хим. журнал. — 2004. — Т. 48, № 5. — С. 21–27.
46. Криничная Е. П. Синтез и физико-химические свойства покрытий на основе углеродных наноструктур: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Чернологовка, 2003. — 24 с.
47. Крутиков В. А., Дидик А. А., Яковлев Г. И. и др. Композиционный материал с наноармированием //Альтернативная энергетика и экология. — 2005. — № 4 (24). — С. 36–41.
48. Крушенко Г. Г. Применение нанопорошков химических соединений для улучшения качества металлоизделий //Технология машиностроения. — 2002. — № 3 (15). — С. 3–6.
49. Кужаров А. А. Триботехнические свойства нанометричных кластеров меди: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, 2004. — 20 с.
50. Кулясова О. Б., Исламгалиев Р. К., Валиев Р. З. Об особенностях механических испытаний малых образцов из наноструктурных материалов //Физика металлов и металловедение. — 2005. — Т. 100, № 3. — С. 83–90.
51. Латыпов З. З., Галль Л. Н. Фуллерены и углеродные нанокластеры //Науч. приборостроение. — 2005. — Т. 15, № 2. — С. 82–87.
52. Лебедев П. Сканирующий зондовый микроскоп — взгляд в микромир //Инженер. — 2004, № 1. — С. 4–5.
53. Левина В. В. Наноразмерные материалы и возможности их использования //Приборы. — 2005. — № 7 (61). — С. 30–35.
54. Лисовенко Д. С., Городцов В. А. От графита (стержней, пластин, оболочек) к углеродным нанотрубкам. Упругие свойства. — М., 2004. — 67 с.

55. Лозовик Ю. Е., Попов А. М. Образование и рост углеродных наноструктур — фуллеренов, наночастиц нанотрубок и конусов // УФН. — 1997. — Т. 167, № 7. — С. 751–774.
56. Лукашин А. В. Современное состояние и перспективы развития нанотехнологий (7 Междунар. конф. по наукам наноразмерного состояния и нанотехнологиям NANO-7) // Хим. технология. — 2002. — № 12. — С. 43–45.
57. Лускинович П. Н., Иванов П. В., Волкова И. В. Нанотехнологии XXI века: Аналит. обзор. — М.: ВНИИЦ, 2001. — 20 с.
58. Лучинин В. В. Микро- и нанотехника — интеллектуальный потенциал государства // Индустрия. — 2001. — № 4. — С. 6–7.
59. Лучинин В. В. Введение в индустрию наносистем // Нано- и микросистемная техника. — 2005. — № 5. — С. 2–8.
60. Любченко В. Е., Митягин А. Ю., Поморцев Л. А. Алмаз — перспективный материал для наноэлектроники // Инж. физика. — 2003. — № 5. — С. 51–58.
61. Лякишев Н. П., Алымов М. И., Добаткин С. В. Наноматериалы конструкционного назначения // Конверсия в машиностроении. — 2002. — № 6 (55). — С. 125–130.
62. Малинецкий Г. Г., Митин Н. А., Науменко С. А. Нанобиология и синергетика. Проблемы и идеи. — М., 2005. — 31 с.
63. Мальцев А. Углеродные нанотрубки // Открытые системы. — 2003. — № 12 (92). — С. 16–17.
64. Мальцев П. П. От редакции [Основные даты развития микро- и наносистемной техники в Российской Федерации] // Нано- и микросистемная техника. — 2005. — № 1. — С. 2–4.
65. Мальцев П. П. О терминологии в области микро- и наносистемной техники // Нано- и микросистемная техника. — 2005. — № 9. — С. 2–5.
66. Мелихов И. В. Тенденции развития нанохимии // Рос. хим. журнал. — 2002. — Т. 46, № 5. — С. 7–14.
67. Мелихов И. В. Физикохимия наносистем: успехи и проблемы // Вестник РАН. — 2002. — Т. 72, № 10. — С. 900–904.
68. Меретуков М. А. и др. Кластеры, структуры и материалы наноразмера: инновационные и технические перспективы. — М.: Руда и металлы, 2005. — 128 с.
69. Митрофанов О. Нанотехнология — шаг за горизонт // Техника — молодежи. — 2001. — № 12. — С. 10–12.
70. Моделирование и проектирование приборов и систем микро- и наноэлектроники: Межвуз. сб. / Моск. гос. ин-т электрон. техники (техн. ун-т). — М., 1994. — 155 с.
71. Молотилев Б. В. Нанотехнологии — новое направление в прецизионной металлургии // Сталь. — 2005. — № 1. — С. 97–100.
72. Мы давно вдыхаем углеродные нанотрубки // Природа. — 2005. — № 10 (1082). — С. 83–84.
73. Мюллер Б. Технология, открывающая новую эпоху: нанотехника покоряет микрокосмос // Deutschland. — 1999. — № 3. — С. 49–51.
74. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам / Под ред. П. П. Мальцева. — М.: Техносфера, 2005. — 592 с.
75. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005 год / Под ред. П. П. Мальцева. — М.: Техносфера, 2006. — 152 с.
76. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике. — М.: Техносфера, 2005.
77. Поляков С. А., Хазов С. П. Нанотехника в трибологии // Нанотехника. — 2006. — № 1. — С. 42–51.
78. Поляков С. А. О взаимодействии явлений самоорганизации и безызносности при трении // Трение и износ. — 2006. — Т. 27, № 5. — С. 558–566.
79. Поляков С. А., Хазов С. П. Совершенствование составов для восстановления изношенных поверхностей на основе формирования самоорганизующихся наноструктурных пленок // Нанотехнологии — производству 2006: Тез. докл. конф. — Москва, 2006. — С. 97–99.
80. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. — 2-е изд. — М.: Техносфера, 2006. — 260 с.
81. Рывкина Н. Г., Яблоков М. Ю. Эллипсометрия: применение в нанотехнологии // Нанотехника. — 2006. — № 2. — С. 82–88.
82. Сергеев Г. Б. Нанохимия. — М.: Изд-во МГУ, 2003. — 228 с.
83. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. — М.: Комкнига, 2006. — 592 с.
84. Федоренко В. Ф. Применение нанотехнологий и наноматериалов в АПК // Наноэлектротехнологии в сельском хозяйстве: Матер. науч.-техн. семинара. — М., 2006. — С. 11–15.
85. Федоренко В. Ф. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: науч. аналит. обзор. — М.: ФГНУ «Росинформротех», 2007. — 96 с.
86. Barthlott W., Neinhuis C. The purity of sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces // Planta. — 1997. — 202. — P. 1–8.
87. Beklemyshev V. I., Aptekman A. G., Makhonin I. I., Letov A. F., Filippov K. V., Balabanov V. I. Nano-objects and their influence on properties

- of motor oils //World Tribology Congress III, Washington, D.C., USA, September 12–16, 2005.
88. Binnig G., Rohrer H., Gerber Ch., Weibel C. //Phys. Rev. Lett. – 1982. – V. 49. – P. 57.
 89. Drexler K. E. Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation //Proc. Natl. Acad. Soc. USA. – 1981. – № 78. – P. 5275–5278.
 90. Drexler K. E. Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology. – NY: Ancor Press, 1986. – Рус. пер. по ссылкам: <http://mikeai.nm.ru/russian/eoc/eoc.html> – http://www.fictionbook.ru/en/author/dreksler_yerik/mashiniy_sozdaniya/.
 91. Drexler K. E. Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation. – NY: John Wiley and Sons, 1992.
 92. Iijima S. //Nature. – 1991. – V. 354. – P. 56.
 93. Iijima S., Ichihashi T. //Nature. – 1993. – V. 363. – P. 603.
 94. Feynman R. P. There's Plenty of Room at the Bottom //Engineering and Science (California Institute of Technology). – 1960. – P. 22–36. (<http://nano.xerox.com/nanotech/feynman.html>). – Рус. пер. в журн.: Химия и жизнь. – 2002. – № 12. – Стр. 21–26.
 95. Freitas R. A. Nanomedicine. V. I. Basic Capabilities. – Austin: Landes Bioscience, 1999.
 96. Kroto H. W., Heath J. R., O'Brien S. C., Curl R. F., Smalley R. E. //Nature. – 1985. – V. 318. – P. 162.
 97. Kroto H. W. //Science. – 1988. – V. 242. – P. 1139.
 98. Merkle R. C. Molecular building blocks and development strategies for molecular nanotechnology //Nanotechnology. – 2000. – 11. – P. 89–99.
 99. Phoenix C. Design of a Primitive Nanofactory //Journal of Evolution and Technology. – 2003. – V. 13.
 100. Taniguchi N. On the Basic Concept of Nano-Technology //Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. – Tokyo, 1974. – Part II.

Рекомендуемые ссылки

- <http://nano.xerox.com/nanotech/feynman.html> – Статья: Feynman R. P. There's Plenty of Room at the Bottom.
- <http://mikeai.nm.ru/russian/eoc/eoc.html> – http://www.fictionbook.ru/en/author/dreksler_yerik/mashiniy_sozdaniya/ – Статья: Drexler K.E. Engines of Creation.
- <http://www.mems.isi.edu> – «Клирингхаус MEMC»: от новостей до устройства на работу в сфере MEMC, находится ряд интернет-адресов по МСТ и MEMC.
- <http://www.eurekaalert.org/context.php?context=nano&show=links> – CONNECTIONS, International Links.
- <http://www.nsf.gov/home/crssprgm/nano/international.htm> – CONNECTIONS, International Links.
- <http://www-tl.mit.edu/semisubway/> – International Links: Semiconductors.
- <http://www.tcen.ru/news.shtml> – MEMS-news.
- <http://www.ntmdt.ru> – Официальный сайт фирмы NT-MDT.
- <http://tima.imag.fr/Conferences/dtip> – Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS / MOEMS.
- <http://www.foresight.org/> – Сетевой ресурс основателя наноауки и технологии К.Э. Дрекслера.
- <http://www.nano.gov> – Американский правительственный сайт по нанотехнологии.
- http://e-library.ru/isi_info.asp – База данных научного цитирования (поиск по фамилии автора ссылки на все его публикации в реферируемых журналах).
- <http://www.nexus-mems.com/> – Европейская ассоциация в области нанотехнологий.

- <http://ep.espacenet.com/> – Европейская патентная база данных.
- <http://www.vdivde-it.de/mst> – Европейские новости по МСТ.
- <http://www.microsystems.ru> – Журнал «Нано- и микросистемная техника».
- <http://www.physorg.com> – Научные и технические новости.
- <http://www.gyro.ru> – ЗАО «Гирооптика».
- <http://www.technosphera.ru> – Издательский центр «Техносфера».
- <http://www.novtex.ru> – Издательство «Новые технологии».
- <http://www.immtek.uni-freiburg.de> – Институт по технологии микросистем.
- <http://www.ipmt-hpm.ac.ru/> – Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН.
- <http://www.nanonet.go.jp/english/calendar/> – Календарь конференций по нанонауке и технологии.
- <http://www.coventor.com> – Компания ЭлекТрейд-М совместно со своим партнером компанией Coventor представляет обзор современных программных продуктов компании Coventor, используемых для разработки микроэлектромеханических систем (MEMS).
- <http://www.trimmer.net> – Крупнейший источник информации по МСТ.
- <http://www.fea.ru> – Лаборатория «Вычислительной механики» Санкт-Петербургского гостехуниверситета.
- <http://www.mems.ru> – Лаборатория микротехнологий и микроэлектромеханических систем (МЭМС) Санкт-Петербургского гостехуниверситета.
- <http://www.elctronic tongue.com> – Лаборатория химических сенсоров Санкт-Петербургского госуниверситета.
- <http://www.nees.uni-bonn.de/bionik.htm> – Материалы по эффекту лотоса.
- <http://micromachine.narod.ru/dict.htm> – микроактиваторы. Кафедра «Интеллектуальные системы». БНТУ. Терминологический англо-русский словарь по МЭМС.
- <http://e-library.ru/defaultx.asp> – Научная библиотека, свободный доступ с компьютеров РАН.

- <http://www.mvs.tsure.ru> – Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем ТГРУ.
- <http://www.niifi.sura.ru> – Научно-исследовательский институт физических измерений.
- <http://www.piezo.rsu.ru/services/> – Научное, конструкторско-технологическое бюро «Пьезоприбор» Ростовского госуниверситета.
- <http://www.ncp-nanotech.ru> – Национальная контактная точка по нанотехнологиям и нанонаукам (НКТ «Нанотех»).
- <http://www.nanotech-now.com/> – Новости MEMS, NEMS, Nanoscale Materials, Molecular Manufacturing, Quantum Computing, Nanomedicine, Nanoelectronics, Nanotubes, Self Assembly, and Molecular Biology.
- <http://www.nanotechweb.org/> – Новости из области нанотехнологий.
- http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=2679 – Новости из области нанотехнологий.
- <http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/> – Новости нанонауки и нанотехнологии.
- <http://www.nanoelectronicsplanet.com/nanochannels/research> – Новости нанонауки и нанотехнологии.
- <http://www.delphion.com/> – Патентная база Delphion.
- <http://www.materialstoday.com/> – Сетевой журнал завтрашних технологий.
- <http://www.nanotube.ru> – Учебно-научный центр «Зондовая микроскопия и нанотехнология».
- <http://www.fvt.rsu.ru/fac.htm> – Факультет высоких технологий Ростовского госуниверситета.
- <http://kazus.ru> – Электронный портал KAZUS.
- www.oxonica.com – Сайт фирмы «Oxonica».
- www.luckybee.ru, www.nanoauto.ru, www.nanotuning.ru – ООО «Лаборатория триботехнологий».

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

УТВЕРЖДАЮ
Президент Российской Федерации
В. Путин
21 мая 2006 г.
Пр-842

Перечень критических технологий Российской Федерации

- Базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии.
- Биоинформационные технологии.
- Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии.
- Биомедицинские и ветеринарные технологии жизнеобеспечения и защиты человека и животных.
- Геномные и постгеномные технологии создания лекарственных средств.
- Клеточные технологии.
- Нанотехнологии и наноматериалы.
- Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.
- Технологии биоинженерии.
- Технологии водородной энергетики.
- Технологии мехатроники и создания микросистемной техники.
- Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы.

- Технологии новых и возобновляемых источников энергии.
- Технологии обеспечения защиты и жизнедеятельности населения и опасных объектов при угрозах террористических проявлений.
- Технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации.
- Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы.
- Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов.
- Технологии производства программного обеспечения.
- Технологии производства топлив и энергии из органического сырья.
- Технологии распределенных вычислений и систем.
- Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф.
- Технологии создания биосовместимых материалов.
- Технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления.
- Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов.
- Технологии создания и обработки кристаллических материалов.
- Технологии создания и обработки полимеров и эластомеров.
- Технологии создания и управления новыми видами транспортных систем.
- Технологии создания мембран и каталитических систем.
- Технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной и морской техники.
- Технологии создания электронной компонентной базы.
- Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии.
- Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем.
- Технологии экологически безопасного ресурсосберегающего производства и переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания.
- Технологии экологически безопасной разработки месторождений и добычи полезных ископаемых.

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Распоряжение
от 25 августа 2006 г. № 1188-р*

1. Одобрить прилагаемую Программу координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации.

2. Минобрнауки России:

обеспечить совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и организациями реализацию Программы координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации;

представлять ежегодно, начиная с 2007 года, во II квартале доклад в Правительство Российской Федерации о ходе и результатах реализации указанной Программы.

Председатель Правительства
Российской Федерации

М. Фрадков

Одобрена
распоряжением Правительства Российской Федерации
от 25 августа 2006 г. № 1188-р

*Программа
координации работ в области нанотехнологий
и наноматериалов в Российской Федерации*

I. Введение

Программа координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации (далее — Программа) разработана в соответствии с решением Правительства Российской Федерации и направлена на реализацию новых подходов к преобразованию российской промышленности.

Ускоренное развитие работ в области нанотехнологий и наноматериалов призвано обеспечить реализацию стратегических приоритетов Российской Федерации, изложенных в Основах политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу.

II. Основное назначение и принципы Программы

Основное назначение Программы — достижение целей, определенных Концепцией развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года.

Программа представляет собой комплекс мер, направленных на обеспечение координации работ по созданию и развитию научной, технической и технологической базы в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации, а также на объединение усилий федеральных органов исполнительной власти и организаций в интересах ускоренного формирования наноиндустрии в Российской Федерации, и является важнейшим организационным инструментом реализации указанной Концепции.

Основными принципами Программы являются:

системный подход к решению задач развития nanoиндустрии, включающий межотраслевую координацию работ федеральных органов исполнительной власти и организаций по реализации программ и проектов в этой области;

коллегиальность принятия решений, связанных с реализацией Программы, а также широкое использование независимой и межведомственной экспертизы в этих целях;

направление значительной части средств, выделяемых из федерального бюджета и бюджетов субъектов Российской Федерации, а также средств внебюджетных источников на решение приоритетных задач в области развития nanoиндустрии и создание системы контроля эффективности их расходования;

межведомственная открытость для обсуждения достигнутых результатов и эффективных механизмов организации работ.

Состав участников Программы формируется из федеральных органов исполнительной власти, научных организаций, субъектов инновационной системы, негосударственных организаций наукоемких высокотехнологичных отраслей экономики и других организаций.

Участники Программы самостоятельно реализуют исследовательские, образовательные, инфраструктурные или производственные проекты в области nanoиндустрии, а также согласовывают механизм обмена информацией о своей деятельности с учетом ограничений, установленных законодательством Российской Федерации.

III. Цель и задачи Программы

Целью Программы является достижение и поддержание паритета с развитыми странами мира в приоритетных направлениях науки и техники, ресурсо- и энергосбережении, создании экологически адаптированных современных промышленных производств, здравоохранении, производстве продуктов питания, качестве и уровне жизни населения, а также в обеспечении необходимого уровня обороноспособности и безопасности Российской Федерации за счет повышения координации и результативности работ в области нанотехнологий и наноматериалов.

Основными задачами Программы являются:

развитие высокотехнологичных секторов экономики на базе широкого внедрения нанотехнологий и наноматериалов, обеспечивающее повышение конкурентоспособности и расширение присутствия Российской Федерации на мировом рынке наукоемкой высокотехнологичной продукции;

повышение эффективности использования бюджетных и внебюджетных средств за счет согласованных действий участников Программы в области нанотехнологий и наноматериалов;

снижение уровня угроз террористических актов, техногенных катастроф и других факторов неблагоприятных внешних воздействий путем широкого внедрения специальной наносистемной техники;

совершенствование вооружения, военной и специальной техники на основе использования достижений в области нанотехнологий и наноматериалов;

профилактика, диагностика и лечение заболеваний путем внедрения в сферу здравоохранения методов, лекарственных средств и медицинской техники, полученных в результате использования достижений в области нанотехнологий и наноматериалов;

повышение уровня экологической безопасности и улучшение среды обитания за счет применения наносистемной техники для мониторинга и защиты окружающей среды.

Для достижения цели Программы предусматриваются:

определение приоритетных направлений развития нанотехнологий и наноматериалов, ресурсного обеспечения форм межведомственного взаимодействия;

учет, планирование и оптимизация расходующихся бюджетных средств в области нанотехнологий и наноматериалов;

формирование национальной нанотехнологической сети;

распределение компетенции по вопросам проведения исследований и разработок в области нанотехнологий и наноматериалов, распространение полученных результатов в отраслях экономики и стимулирование спроса на продукцию nanoиндустрии;

координация и совершенствование процедур трансфера нанотехнологий и наноматериалов;

совершенствование механизмов защиты интеллектуальной собственности при вовлечении ее в хозяйственный оборот.

Основными направлениями координации работ в рамках Программы являются:

создание и совершенствование исследовательской и инновационной инфраструктуры по развитию работ в области нанотехнологий и наноматериалов;

широкомасштабное развитие фундаментальных исследований по перспективным направлениям науки, определяющим прогресс в области нанотехнологий и наноматериалов, а также долгосрочная государственная поддержка прикладных исследований, нацеленных на коммерциализацию разработок;

развитие международного взаимовыгодного сотрудничества в области наноиндустрии;

подготовка, привлечение и закрепление кадров (прежде всего молодых специалистов) для использования в различных сферах деятельности в области нанотехнологий и наноматериалов, а также повышение их квалификации.

IV. Направления развития нанотехнологий и наноматериалов и мероприятия Программы

Перспективными направлениями развития нанотехнологий и наноматериалов являются:

создание научно-технологической и метрологической базы наноиндустрии;

разработка наноинженерии и наносистемной техники;

создание функциональных и конструкционных наноматериалов;

разработка нанобиотехнологии;

осуществление подготовки и переподготовки кадров для наноиндустрии.

Для реализации Программы утверждается план мероприятий, включающий следующие направления работ:

организация научно-технического прогноза в области нанотехнологий и наноматериалов, определение места Российской Федерации на мировом рынке продукции наноиндустрии;

определение и согласование приоритетов и компетенции участников Программы, в том числе по развитию инфраструктуры наноиндустрии;

согласование тематики научно-исследовательских и опытно-конс-

трукторских работ, по которой участниками Программы планируется выполнение или размещение заказа;

информирование участников Программы о направлениях, партнерах и результатах международного научно-технического сотрудничества в области нанотехнологий и наноматериалов;

обмен результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и деятельности в сфере коммерциализации технологий наноиндустрии, обеспечение трансфера разработанных технологий в промышленность, в том числе для обеспечения обороноспособности и национальной безопасности Российской Федерации;

инвентаризация научного, технического, технологического и производственного потенциала Российской Федерации в области нанотехнологий и наноматериалов;

определение показателей и индикаторов Программы.

План действий по стимулированию развития наноиндустрии в Российской Федерации представлен в приложении.

V. Система управления реализацией Программы

Руководителем Программы является Министр образования и науки Российской Федерации.

Координатором Программы является Министерство образования и науки Российской Федерации.

Управление реализацией Программы производится на основе соглашений координатора Программы с каждым из ее участников.

Для реализации Программы координатор Программы:

разрабатывает и принимает в пределах своих полномочий, в том числе совместно с иными участниками Программы, нормативные акты, необходимые для реализации Программы;

планирует экспертные проверки выполнения отдельных мероприятий участниками Программы;

представляет участникам Программы в соответствии с двусторонними соглашениями статистическую, справочную и аналитическую информацию о выполнении мероприятий Программы;

дает заключение по предложениям главных распорядителей бюджетных средств — участников Программы, связанным с вопросами увеличения финансирования мероприятий Программы;

готовит ежегодный доклад Правительству Российской Федерации о ходе и результатах реализации Программы.

Координационно-коллегиальным органом является Межведомственный научно-технический совет по проблеме нанотехнологий и наноматериалов. В его состав входят представители главных распорядителей бюджетных средств — участников Программы, ученые, а также представители крупных бизнес-сообществ, заинтересованные в развитии российской наноиндустрии.

Технический координатор Программы — Федеральное агентство по науке и инновациям выполняет следующие функции:

- организация взаимодействия участников Программы с головной научной организацией Программы и головными организациями отраслей, установленными в настоящем разделе;

- организация внедрения информационных технологий в целях управления реализацией Программы и обеспечение размещения в сети Интернет материалов о реализации Программы, финансировании мероприятий Программы и привлеченных внебюджетных средств;

- организация и ведение мониторинга реализации Программы;

- информационно-аналитическое обеспечение подготовки ежегодного доклада Правительству Российской Федерации о реализации Программы;

- представление координатору Программы статистической, справочной и аналитической информации о реализации Программы.

В рамках Программы осуществляют деятельность следующие субъекты инновационной системы:

- головная научная организация Программы;

- головные организации отраслей;

- научно-образовательные центры, созданные на базе ведущих вузов страны;

- центры коллективного пользования научным оборудованием;

- центры трансфера технологий;

- венчурные фонды и иные специализированные финансовые институты, включая фонд развития наноиндустрии;

- негосударственные организации — участники Программы.

Головная научная организация Программы, определяемая координатором Программы на конкурсной основе, выполняет следующие функции:

осуществляет научное и методическое обеспечение координации исследований и разработок для формирования технологической базы в рамках Программы;

осуществляет комплексную научную и технологическую экспертизу мероприятий Программы в области соответствующих исследований и разработок, включая экспертизу достигнутых результатов и определение потенциала их производства и продажи;

осуществляет научное и методическое обеспечение координации проектов международного научно-технического сотрудничества;

оценивает перспективы и вырабатывает рекомендации по использованию результатов исследований и разработок гражданского, военного и двойного назначения (по согласованию с соответствующими федеральными органами исполнительной власти);

обеспечивает взаимодействие с головными организациями отраслей по вопросам научных исследований, коммерциализации технологий, организации серийного производства;

осуществляет научное и методическое обеспечение подготовки специалистов.

Организация, претендующая на получение статуса головной научной организации Программы, должна осуществлять:

- разработку новых технологий, применение которых возможно во многих отраслях экономики;

- разработку принципиально новых технологий, обеспечивающих развитие новых секторов экономики.

Головные организации отраслей — организации, уполномоченные федеральными органами исполнительной власти — участниками Программы на осуществление научно-методического сопровождения следующих направлений деятельности:

- решение важнейших проблем развития высокотехнологичных отраслей экономики и освоения секторов наукоемкой продукции мирового рынка;

- координация разработок конкурентоспособных на мировом рынке коммерческих технологий, в том числе с использованием механизмов частно-государственного партнерства;

- координация проектов международного научно-технического сотрудничества в сфере компетенции федеральных органов исполнительной власти по направлениям Программы;

координация проектов трансфера нанотехнологий;
интеграция научной и образовательной деятельности в целях развития соответствующей отрасли и подготовки специалистов для этой отрасли;

отраслевой мониторинг мероприятий Программы, включая сбор информации о производстве и продаже продукции наноиндустрии.

Руководители федеральных органов исполнительной власти участников Программы в рамках своей компетенции несут персональную ответственность за ее реализацию и конечные результаты.

Организация, претендующая на получение статуса головной организации отрасли, должна осуществлять в рамках отрасли разработку новых технологий, конкурентоспособных на мировом рынке.

Создание фонда развития наноиндустрии как специализированного института будет содействовать совершенствованию механизма коммерциализации разработок и финансирования производственных проектов в области нанотехнологий и наноматериалов.

Отдельные негосударственные организации — участники Программы осуществляют научные исследования и разработки, подготовку и переподготовку специалистов, проектирование и выпуск серийной продукции по направлениям Программы.

Для оперативного и достоверного информирования участников Программы создается система обмена результатами, полученными в рамках ее реализации. Указанная система включает в себя:

- подсистему информационных обменов участников Программы;
- подсистему управления, экспертизы и контроля реализации Программы;
- подсистему информационной поддержки процесса коммерциализации нанотехнологий и наноматериалов;
- подсистему международных научно-технических обменов в области нанотехнологий и наноматериалов;
- подсистему популяризации достижений в области нанотехнологий и наноматериалов.

VI. Ресурсное обеспечение реализации Программы

Мероприятия Программы финансируются ее участниками в установленном порядке за счет средств федерального бюджета, бюджетов

субъектов Российской Федерации и внебюджетных источников. В качестве источников финансирования мероприятий Программы могут учитываться средства целевых программ, средства, выделенные на содержание учреждений, подведомственных главным распорядителям бюджетных средств, а также на реализацию внепрограммных мероприятий, включая средства государственных научных фондов.

Объемы и источники финансирования мероприятий Программы устанавливаются и корректируются ее участниками ежегодно, после утверждения каждым участником годового плана работы, в пределах имеющихся бюджетных и иных средств, но не позднее II квартала каждого года.

VII. Критерии оценки эффективности и ожидаемые конечные результаты реализации Программы

Критериями оценки эффективности реализации Программы являются:

достижение реальных результатов в экономике Российской Федерации на базе реализации продукции наноиндустрии;

рост объема продаж продукции наноиндустрии на внешнем и внутреннем рынках;

рост числа патентов, договоров об уступке патента и лицензионных договоров в области нанотехнологий и наноматериалов;

расширение частно-государственного партнерства в процессе реализации Программы и рост объемов привлеченных внебюджетных средств;

увеличение количества публикаций российских ученых в журналах мирового уровня, а также докладов, связанных с тематикой Программы, на международных конференциях.

В результате реализации Программы предполагается:

повышение уровня и качества жизни населения Российской Федерации;

повышение уровня обороноспособности и безопасности Российской Федерации;

диверсификация и рост конкурентоспособности российской экономики, увеличение доли мирового рынка продукции наноиндустрии, снижение доли сырьевого сектора в экономике страны, улуч-

Приложение 4

Основные единицы измерения

шение структуры экспорта за счет роста в нем высокотехнологичной продукции;

достижение мирового уровня исследований и разработок, обеспечивающего развитие и реализацию российского потенциала нанотехнологической промышленности и активное участие России в международной научно-технической кооперации.

Источник — официальный сайт Правительства Российской Федерации:
<http://nra-gov.garweb.ru:8080/public/default.asp?no=1480807>

Характеристика величины	Наименование в системе СИ (обозначение)	Другие наименования (обозначения)	Соответствует (в СИ)
1	2	3	4
Длина	метр (м)	икс-единица (X)	$1,00206 \cdot 10^{-13}$ м
		Ангстрем (Å)	10^{-10} м
Масса	килограмм (кг)	грамм (г)	10^{-3} кг
		центнер (ц)	100 кг
		тонна (т)	1000 кг
Время	секунда (с)	минута (мин)	60 с
		час (ч)	3600 с
		сутки (сут)	$86'400 \pm 1$ с
Сила тока	Ампер (А)		
Температура	Кельвин (К)	градус Цельсия (°C)	0 К = – 273,15°C 1 К = – 272,15°C
		градус Фаренгейта (°F)	0 К = – 459,67°F 1 К = – 459,11°F
Плоский угол	радиан (рад)	градус (°)	$1,75 \cdot 10^{-2}$ рад
		минута (г)	$2,91 \cdot 10^{-4}$ рад
		секунда (гг)	$4,85 \cdot 10^{-6}$ рад
Площадь	квадратный метр (м ²)	гектар (га)	10 ⁴ м ²
Объем	кубический метр (м ³)	литр (л)	10 ⁻³ м ³
Скорость	метр в секунду (м/с)	узел (узел)	0,514 м/с
Ускорение	метр в секунду в квадрате (м/с ²)		

Частота	Герц (Гц)		
Плотность	килограмм на метр кубический (кг/м³)	грамм на сантиметр кубический (г/см³)	10 ⁻³ кг/м³
Сила	Ньютон (Н)	килограмм-сила (кгс)	9,81 Н
		дина (дин)	10 ⁻⁵ Н
		атмосфера (атм)	9,81 · 10 ⁴ Па
Давление	Паскаль (Па)	миллиметр ртутного столба (мм. рт. ст.)	133,32 Па
		миллиметр водяного столба (мм. вод. ст.)	9,81 Па
Энергия и работа	Джоуль (Дж)	Ватт-час (Вт·ч)	3600 Дж
		калория (кал)	4,19 Дж
		электрон-Вольт (эВ)	10 ⁻⁷ Дж
		эрг (эрг)	1,602 · 10 ⁻¹⁹ Дж
Мощность	Ватт (Вт)	Лошадиная сила (л.с.)	735,5 Вт
Заряд	Кулон (Кл)	Ампер-час (а·ч)	3600 Кл
Напряжение	Вольт (В)		
Емкость энергетическая	Фарада (Ф)		
Сопротивление	Ом (Ом)		
Напряженность электрического поля	Вольт на метр (В/м)		Ньютон на Кулон (Н/Кл)
Индукция магнитная	Тесла (Тл)	Гаусс (Гс)	10 ⁻⁴ Тл
Напряженность магнитного поля	Ампер на метр (А/м)	Эрстед (Э)	79,58 А/м

Приложение 5

Приставки и множители десятичных кратных и дольных единиц международной системы СИ

Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	Десятичная запись	Обыкновенная запись
йокто	и	y	10 ⁻²⁴	0,000000000000000000000001
zepto	з	z	10 ⁻²¹	0,00000000000000000000001
атто	а	a	10 ⁻¹⁸	0,0000000000000000000001
фемто	ф	f	10 ⁻¹⁵	0,0000000000000001
пико	п	p	10 ⁻¹²	0,0000000000001
нано	н	n	10 ⁻⁹	0,000000001
микро	мк	μ	10 ⁻⁶	0,000001
милли	м	m	10 ⁻³	0,001
санتي	с	s	10 ⁻²	0,01
деци	д	d	10 ⁻¹	0,1
дека	да	da	10 ¹	10
гекто	г	h	10 ²	100
кило	к	k	10 ³	1000
мега	М	M	10 ⁶	1000000
гига	Г	G	10 ⁹	1000000000
тера	Т	T	10 ¹²	1000000000000
Пета	П	P	10 ¹⁵	1000000000000000
Экса	Э	E	10 ¹⁸	1000000000000000000
зетта	З	Z	10 ²¹	1000000000000000000000
йотта	И	Y	10 ²⁴	1000000000000000000000000



WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION

WIPO AWARD CERTIFICATE

2006 SEOUL INTERNATIONAL INVENTION FAIR
(DECEMBER 7 TO 11, 2006, SEOUL)

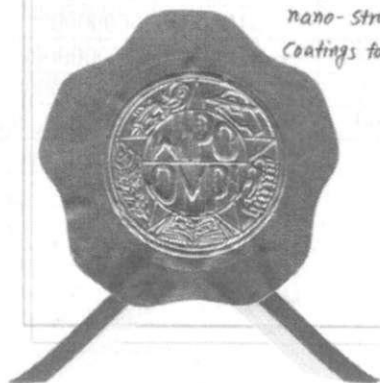
ON THE OCCASION OF THE
3RD SEOUL INTERNATIONAL INVENTION FAIR
HOSTED BY THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE (KIPO)
AND ORGANIZED BY
THE KOREA INVENTION PROMOTION ASSOCIATION (KIPA)

THE WIPO AWARD
FOR THE BEST INVENTION BY INDIVIDUAL INVENTOR
FROM FOREIGN COUNTRY IS HEREBY AWARDED TO
*Ara Abramyan, Vyacheslav Beklemyshev,
Igor Makhonin, Petr Makhonin, Vladimir Solodovnikov*

FOR THE INVENTION OF: *Composition and a method of formation of
nano-structured antimicrobial and biofunctional
coatings for bandaging materials and orthopedics*

GENEVA AND SEOUL
DECEMBER 2006


KAMIL IDRIS
DIRECTOR GENERAL
WIPO



DIPLÔME



SALON INTERNATIONAL DES INVENTIONS GENÈVE

Après examen, le Jury International a décidé
de remettre à: Ara ABRAMYAN, Viatcheslav BEKLEMISHEV,
Igor MAKHONIN, Vladimir SOLODOVNIKOV, Rafael VARTANOV
pour l'invention: Revêtements nanostructuraux antimicrobiens et
biofonctionnels



MÉDAILLE D'OR
GOLD MEDAL
GOLDMEDAILLE

Genève, le 20 avril 2007


Le Président du Jury


Le Président du Salon

DIPLÔME



SALON INTERNATIONAL DES INVENTIONS GENÈVE

Après examen, le Jury International a décidé
de remettre à: Ara ABRAMYAN, Viatcheslav BEKLEMISHEV,
Mikhail AFANASYEV, Vladimir SOLODOVNIKOV
pour l'invention: Composition biocide pour les revêtements
antisalissants



MÉDAILLE D'OR
GOLD MEDAL
GOLDMEDAILLE

Genève, le 20 avril 2007


Le Président du Jury


Le Président du Salon

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ
ЗНАКАМ

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL
PROPERTY, PATENTS
AND TRADEMARKS



НАГРАЖДАЕТСЯ

Закрытое акционерное общество «Согласие»
за высокий уровень разработок, представленных
на 35-ой Международной выставке изобретений,
новой техники и продукции
(18-22 апреля 2007 г., г. Женева, Швейцария)



Руководитель

Б.П. СИМОНОВ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ
ЗНАКАМ

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL
PROPERTY, PATENTS
AND TRADEMARKS



НАГРАЖДАЕТСЯ

Общество с ограниченной ответственностью
«Институт прикладной нанотехнологии»
за высокий уровень разработок, представленных
на 35-ой Международной выставке изобретений,
новой техники и продукции
(18-22 апреля 2007 г., г. Женева, Швейцария)



Руководитель

Б.П. СИМОНОВ



EHREN-URKUNDE

IENA 2006

INTERNATIONALE
FACHMESSE
»IDEEN-ERFINDUNGEN-
NEUHEITEN«
NÜRNBERG 2006



Ara Abramyan, Vyacheslav Beklemyshev, Igor Makhonin, Vladimir
Solodovnikov
Ministerium für Ausbildung und
Wissenschaft der Russischen
Föderation
RUSSLAND

wird für die Teilnahme an der IENA 2006 – Internationale Fachmesse – Ideen,
Erfindungen, Neuheiten – ausgezeichnet.

Spezial-Preis
Motor-Brennstoff-Additiv
Motor Fuel Additive

hat maßgeblich zum Erfolg der IENA 2006 beigetragen.

Nürnberg, 4. November 2006

APAG Projektleitung IENA

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	
Введение	
Глава 1. Термины и определения	
Глава 2. Исторические аспекты	1
Глава 3. Виды наноструктур	3
Глава 4. Технологии формирования наноструктур	4
Глава 5. Методы исследования наноструктур	5
Глава 6. Основные свойства наноструктур	7
Глава 7. Применение нанотехнологий в технике	8
Глава 8. Нанопроцессорная электронная техника	9
Глава 9. «Лотос-эффект» и самоочищающиеся покрытия	10
Глава 10. «Эффект безызносности» и технологии на его основе.....	11
Глава 11. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО)	12
Глава 12. Наноприсадки к топливу	13
Глава 13. Нанодобавки к смазочным материалам.....	14
Глава 14. Защита человека и окружающей среды.....	16
Глава 15. Нанотехнологии и перспективы	16
Список литературы	17
Рекомендуемые ссылки	17
Приложения	18
1. Перечень критических технологий РФ	18
2. Распоряжение Правительства РФ от 25.09.2006 г. № 1188-р..	18
3. Государственная целевая программа по нанотехнологиям...	18
4. Основные единицы измерения.....	19
5. Приставки и множители десятичных кратных и дольных единиц международной системы СИ	19
6. Награды, полученные авторами за экспонирование инноваций в области нанотехнологий на международных выставках	19

Абрамян Ара Аршавирович
 Балабанов Виктор Иванович
 Беклемишев Вячеслав Иванович
 Вартанов Рафаэль Вранович
 Махонин Игорь Иванович
 Солодовников Владимир Александрович

ОСНОВЫ ПРИКЛАДНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Монография

Научный редактор: Манушин Э.А.
 Редактор: Демидова Е.Е.
 Рисунки: Балабанов И.В.
 Верстальщик: Казимиров М.А.
 Корректор: Демидова Е.Е.

Сдано в набор 01.04.2007. Подписано в печать 07.05.2007.
 Формат 60×88/16. Гарнитура «Miniature». Усл. печ. л. 13.
 Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Тираж 1000 экз.
 Заказ № 5483