

И. В. Шугалей, М. А. Илюшин, А. М. Судариков, А. П. Возняковский, З. В. Капитоненко

ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

I. V. Shugalei, M. A. Ilyushin, A. M. Sudarikov, A. P. Wozniakowski, Z. V. Kapitonenko

PROSPECTS AND RISKS OF DEVELOPMENT AND INTRODUCTION OF NANOTECHNOLOGIES

В статье рассмотрены основные области жизни, в которые активно внедряются нанотехнологические разработки. Показано, что внедрение наноматериалов в жизнь современного человека имеет как важные преимущества, так и серьезные риски для здоровья и требует систематических исследований в области безопасности наноматериалов.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, риск, безопасность.

The main fields of man's activity intensively modified by nanotechnologies introduction are discussed. It has been shown that there are great perspectives and strong risks under nanotechnologies attack and nowadays systematical investigations of nanomaterials safety are actual.

Keywords: nanotechnologies, nano materials, risk, safety.

Введение

В настоящее время нанотехнологии определяют совокупность методов и приемов, применяемых при изучении, производстве и использовании структур и систем, состоящих из наномасштабных элементов (1–100 нм) для получения объектов с новыми химическими, физическими, биологическими свойствами. Новые уникальные физические и химические свойства, технические и потребительские характеристики товаров, изготовленных с применением нанотехнологий, стимулируют их стремительное внедрение во все сферы жизни современного человека. Однако новые биологические свойства наноматериалов порождают серьезные риски их распространения для живых организмов, прежде всего для человека. В связи с этим необходимо уделять больше внимания гигиеническим и экологическим исследованиям, которые позволяют оценить реальные риски внедрения нанотехнологий в различные сферы жизни общества и позволяют найти разумный баланс между техническими новшествами и безопасностью их внедрения.

Основная часть

Нанотехнология — междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, направленная на получения материалов с прорывными характеристиками. Материальная база нанотехнологий — промышленность нанодисперсных материалов.

Впервые введенный Г. Глейтером [44] термин «наноматериал» характеризует его как материал, содержащий структурные элементы, геометрические размеры которых, хотя бы в одном измерении, не превышают 100 нм. Это определение носит чисто феноменологический характер и не объясняет причин резкого изменения их физических параметров [29]. Более справедливым представляется определение, сделанное еще в 1981 г.: «ультрадисперсные материалы» включают все конденсированные системы, чей дисперсный компонент настолько мал в одном, двух или во всех трех измерениях (< 100 нм), что геометрический размер морфологического элемента (частица, кристаллит, зерно, пора...) становится соизмеримым с характеристическим корреляционным масштабом какого-либо физического явления или характерной длиной какого-нибудь транспортного процесса в этом веществе (размер электрического или магнитного домена, длина свободного пробега электронов, длина волны фононов, дислокация или дисклинация и т.д.) [24].

Особенности наноструктурного (ультрадисперсного) состояния вещества наиболее заметно проявляются при изучении отдельных наночастиц, когда их размер можно рассматривать как физический параметр наряду с составом, температурой и давлением. Малый размер наночастиц (кристаллитов) и соответствующее небольшое количество атомов в них обуславливают ограничение применимости статистической термодинамики и, в более широком смысле, законов классической физики, развитых для макро- и микросистем с очень большим числом атомов [36]. С уменьшением размера вещества все более увеличиваются различия между представлением твердого тела, принятым в классической физике, и реальной наночастицей, в которой деление ее на объемную и поверхностную составляющие становится условным [10].

Следует отметить, что в индивидуальном состоянии нановещества практически не используются. Львиная доля их производства идет на создание композиционных материалов — наноматериалов. Исключением, по-видимому, является применение нановеществ в медицине и биологии, где наиболее широко они применяются в качестве носителя при адресной доставке лекарств к пораженному органу. Как правило, в качестве таких носителей используют аллотропные формы наноглерода (фуллерены, детонационные наноалмазы). На основе наноалмазов разработаны тест-системы для экспресс-определения факторов, поражающих живой организм, антиоксиданты.

Создание нанокompозитов прежде всего связано с попытками выйти за рамки ограничений чисто синтетических возможностей получения материалов с улучшенным комплексом эксплуатационных параметров — достижением эффекта усиления (улучшения комплекса потребительских параметров матрицы: керамики, металлов, полимеров) [45]. Под нанокompозитами, как правило, понимают материалы, один или несколько компонентов которых находятся в области наноразмеров [46].

При выборе в качестве наполнителя/модификатора нанодисперсного вещества, как правило, отталкиваются от модельных представлений, связывающих уменьшение геометрических размеров частиц наполнителя с соответствующим ростом их суммарной площади поверхности и, как следствие, с ростом массовой доли межфазных слоев в полимерной матрице. Такие, несколько упрощенные, представления сталкиваются с экспериментально наблюдаемым различием влияния частиц наполнителей сопоставимой дисперсности, но различного происхождения (фуллерены, высокодисперсный оксид кремния, детонационные наноалмазы), на конечные свойства материалов.

В настоящее время достижение эффекта усиления связывают не столько с дисперсностью частиц наполнителя, сколько с их удельной поверхностью и энергетическими характеристиками их поверхности [42].

Интуитивно невозможно предсказать, какие параметры матрицы изменятся наиболее значимо при введении в ее объем высокодисперсных частиц. Поэтому до настоящего времени многочисленными исследовательскими группами проводятся теоретические работы, посвященные изучению механизма усиления матрицы модифицирующими добавками высокодисперсных веществ [4]. В общем случае механизм усиления матрицы высокодисперсными веществами прежде всего обусловлен формированием новых упорядоченных структур. Однако многообразие природы матрицы (металл, полимер и т.д.) и многообразие форм высокодисперсных веществ обуславливают сложность сведения взаимодействий «матрица – наночастица» к единому механизму.

Термин «нанотехнология» впервые ввел в употребление Норио Танигути в 1974 г. Этим термином он назвал производство изделий с размерами в несколько нанометров. Термин происходит от греческого слова «нанос», в переводе «гном». Этим термином обозначаются миллионные части целого. В 1985 г. американскими физиками Робертом Керлом, Хэрольдом Крото и Ричардом Смэйли была разработана технология, позволяющая точно измерить предметы, имеющие диаметр один нанометр. С 1986 г. термин «нанотехнология» стал известен широкому кругу читателей. Распространение данного термина связано с публикацией книги американского футуролога Эрика Дрекслера, в которой он использовал термин «нанотехнология» для описания способов создания материалов и устройств с элементами, имеющими размеры, лежащие в нанометровом диапазоне. В своей книге он также описал методы определения размеров таких объектов и предсказал бурное развитие нанотехнологий в ближайшие десятилетия.

В 2000 г. администрацией США была поддержана инициатива по созданию и развитию Национальной нанотехнологии (*National Nanotechnology Initiative*). Из федерального бюджета было выделено государственное финансирование на развитие нанотехнологий в объеме \$500 млн.

Бурное развитие нанотехнологий привело к созданию новых материалов с уникальными свойствами [35, 41]. В настоящее время наноматериалы применяют при изготовлении защитных и светопоглощающих покрытий, спортивного оборудования, транзисторов, светоиспускающих диодов, топливных элементов, лекарств и медицинской аппаратуры, материалов для упаковки продуктов питания [14, 31, 32, 38], косметики [32, 33] и одежды. На основе оксида церия созданы добавки к дизельному топливу, позволяющие на 4–5 % повысить КПД двигателя и снизить экологическую нагрузку на атмосферу.

В целом в мире затраты на нанотехнологические разработки превышают \$9 млрд в год. Из них на долю США приходится примерно 30 % общемировых вложений в нанотехнологии. За США следуют Европейский Союз и Япония. Кроме перечисленных выше стран, в области нанотехнологий активно работают Россия [34], Австралия, Канада, Китай, Южная Корея, Израиль, Сингапур, Бразилия и Тайвань. Сейчас в области нанотехнологий занято около 2 млн человек. Стоимость изделий и товаров, производимых наноиндустрией, превышает \$1 трлн. Мировые достижения в области нанотехнологий используются при производстве более 80 групп потребительских товаров

и свыше 600 видов сырьевых материалов, комплектующих изделий и промышленного оборудования [12]. Особенно активно нанотехнологии используются в медицине, сфере информационных коммуникаций, экологии, энергетике, оборонной сфере, при производстве потребительских товаров.

Важнейший этап развития нанотехнологии — создание молекулярных машин, что коренным образом изменит способы производства материальных благ и товаров в общемировом масштабе.

Нанотехнологии активно внедряются в оборонную сферу. Основные направления в **военно-промышленном комплексе**, где активно используются нанотехнологии — это

- создание новых мощных миниатюрных взрывных устройств;
- разрушение макроустройств с наноуровня;
- разведка;
- изменение болевого порога с использованием нейротехнологий;
- разработка биологического оружия с наноустройствами генетического наведения;
- создание снаряжения для солдат с повышенной степенью защиты;
- разработка защитных систем от поражающего действия химического и биологического оружия;
- создание устойчиво работающих устройств в системах управления военной техникой;
- разработка композиционных покрытий для военной техники.

Социально значимым направлением использования и развития нанотехнологий является **медицина**. Наномедицина развивается по направлениям:

- лабораторная диагностика с использованием микрочипов (исследование генома и маркерных белков), создание систем направленной доставки лекарств в организме;
- разработка ДНК-чипов (создание индивидуальных лекарств);
- создание искусственных органов, функциональных полимеров (аналогов природных тканей);
- конструирование нанороботов для микрохирургии (биомеханизмов, осуществляющих изменения и требуемые медицинские действия, направленные на распознавание и уничтожение раковых клеток), что особенно перспективно при удалении злокачественных новообразований с труднодоступной локализацией.

Чрезвычайно важной сферой использования нанотехнологий является **энергетика**. Можно выделить семь основных направлений, согласно которым нанотехнологии коренным образом изменят облик современной цивилизации, это

- создание наноструктурных материалов для аккумуляции водорода и природных газов;
- разработка устройств нового поколения для аккумуляции энергии;
- создание принципиально новых устройств очистки и разделения химических веществ;
- создание тонкопленочных защитных покрытий для энергосистем;
- увеличение КПД двигателей и энергетических установок;

- создание точных и компактных датчиков регистрации утечек из технологического оборудования;
- применение наноструктурных материалов в новых высокоэффективных устройствах преобразования энергии; создание искусственных систем фотосинтеза.

Важнейшей социально значимой областью использования наноматериалов является разработка *коммуникационных технологий* [25–27]. В данной сфере нанотехнологии используются для:

- создания нанокomпьютеров;
- разработки информационных сетевых устройств (оптическая связь — фотоника и новые типы волноводов, радиосвязь — электронные устройства со сверхширокой запрещенной зоной);
- создания и совершенствования устройств для хранения информации (квантовая память, одноэлектронные запоминающие устройства, магнитные среды для сверхплотной записи, наносчитывающие головки, запись информации с использованием излучения ближнего поля, прецизионные приводы-позиционеры);
- создания автоматизированных систем контроля за обработкой поверхностей наноразмерного уровня;
- конструирования нейроэлектрических интерфейсов (создание наноустройств, которые позволят координировать компьютеры с нервной системой и обеспечить высокий уровень социализации людей с ограниченными возможностями).
- создания искусственного интеллекта и разработки роботов нового поколения.

В условиях глобального экологического кризиса важнейшей социально-значимой сферой использования нанотехнологических разработок является *экология*. Нанотехнологии могут использоваться для контроля за состоянием окружающей среды. Ключевыми направлениями развития нанотехнологии в создании новых «безотходных» производств являются: а) отказ от производств с большими объемами отходов, и их замена на экологически безопасные «зеленые» технологии; б) создание производственных процессов, позволяющих выпускать облегченные и миниатюрные изделия, что приведет к снижению расхода материалов и энергии; в) исследование и регулирование природных явлений и процессов загрязнения окружающей среды с помощью нанодатчиков и нанoeлектронных устройств.

Особенно сильное влияние нанотехнологии уже оказывают на *сферу потребления* современного человека. В данной социально значимой области при внедрении нанотехнологий прежде всего изменится товарный спектр. Уже сейчас потребитель сталкивается с нанотехнологиями при приобретении продуктов питания, бытовой электроники, текстильной продукции, косметики, автотоваров, строительных материалов, препаратов бытовой химии, спортивных товаров и предметов для активного отдыха.

Сформировались и развиваются *крупнейшие компании*, специализирующиеся в области нанотехнологических разработок [19]. Так, в России в области нанотехнологий специализируются: ГК «Роснанотех», которая содействует реализации государственной политики в сфере нанотехнологий, финансируя инвестиционные проекты по производству нанотехнологической продукции, курирует развитие инфраструктуры в сфере нанотехнологий и поддерживает программы подготовки и переподготовки кадров для

нанотехнологической отрасли. Кроме того, на рынке активно работают ЗАО «Нанотехнология МДТ» — российская компания, созданная в Зеленограде в 1989 г., ООО «АИСТ-НТ» — российская компания, созданная в Зеленограде в 2007 г., ООО «Нано Скан Технологии» — компания, основанная в Долгопрудном в 2007 г. Перечисленные компании специализируются на разработке и производстве сканирующих зондовых микроскопов и комплексов на их основе для научных исследований и образования.

Самое большое количество предприятий nanoиндустрии расположено в Москве и представлено 48 объектами. В Свердловской области имеется 16 объектов nanoиндустрии, в Санкт-Петербурге — 6, в Московской области — 5. Использование нанотехнологий уже в ближайшем будущем должно привести к увеличению стоимости валового внутреннего продукта и дать значительный экономический эффект в базовых отраслях экономики.

Важнейший эффект, ожидаемый от внедрения нанотехнологий в машиностроении, должен реализоваться в увеличении ресурса режущих и обрабатывающих инструментов с помощью специальных покрытий и эмульсий, широком использовании нанотехнологических разработок в модернизации высокоточных и прецизионных станков. В двигателестроении и автомобильной промышленности за счет применения наноматериалов можно значительного (до 1,5–4 раз) увеличить ресурс работы автотранспорта, а также более чем в три раза снизить эксплуатационные затраты (в том числе, расход топлива). Использование нанотехнологий в автомобилестроении — путь к снижению шума и вредных выбросов в окружающую среду, что позволит успешнее конкурировать отечественным производителям как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

Внедрение нанотехнологий в информатике реализуется в многократном повышении производительности систем передачи, обработки и хранения информации, а также приведет к созданию новых систем высокопроизводительных устройств [7] с приближением возможностей вычислительных систем к возможностям мозга человека [1].

В энергетике, прежде всего атомной, в настоящее время наноматериалы используются для создания топливных и конструкционных элементов, которые необходимы для повышения эффективности работающего оборудования. Без применения наноматериалов невозможно представить развитие альтернативной энергетики, в частности водородной. Для развития и реализации проектов водородной энергетики необходима адсорбция и хранение водорода на основе углеродных наноструктур. Чрезвычайно перспективным направлением является разработка электродов с развитой поверхностью для водородной энергетики на основе трековых мембран.

Необходимо отметить, что несмотря на перечисленные многочисленные области применения наноматериалов потребное их количество на рынке относительно небольшое. В этой связи их производство оказывается невыгодным и, несмотря на высказанные оптимистические прогнозы, не выходит за рамки опытно-промышленных установок. Таким образом, формируется некоторый замкнутый круг «спрос — производство».

Разорвать этот круг можно на пути применения наноматериалов в полимерном материаловедении. Первые шаги в этом направлении были сделаны еще в 80-х гг. прошлого века. Однако пик исследований материалов, включающих нанодисперсный компонент, пришелся на середину 2000-х гг. Это связано с тем, что к этому времени была создана производственная база получения нанодисперсных веществ в промышленных

масштабах. Соответственно, наночастицы металлов, наноглины и целый ряд аллотропных соединений нанουглерода (детонационный углерод, детонационные наноалмазы, фуллерены, нанотрубки) стали доступны для межлабораторных исследований. Таким образом, оказалось практически возможным использование нанодисперсных веществ не только в лабораторных исследованиях, но и искать пути их внедрения в практику реального производства. В свою очередь такая возможность, естественно, привела к экспоненциальному росту публикаций, посвященных описанию эксплуатационных параметров полимерных нанокомпозитов.

Как естественно было ожидать, наибольшее применение в полимерном материаловедении нашли нанουглероды. Нанουглероды в последнее время рассматриваются как перспективные физические модификаторы резин. Круг их определился и хорошо известен: это углеродные одностенные либо многостенные нанотрубки, фуллереновая сажа или фуллерены, графен, детонационный углерод и детонационные наноалмазы. Результатам применения каждого типа нанουглерода посвящена достаточно обширная литература. Тем не менее о внедрении нанουглеродов в промышленную практику отрасли резинотехнических изделий говорить еще рано. Для решения этой проблемы в первую очередь необходимо знание механизма влияния нанουглеродов на формирование комплекса эксплуатационных параметров полимерного материала и, в частности, что вносит решающий вклад в механизм усиления: дисперсность частиц нанουглерода или их внутренняя организация.

Сопоставительный анализ массива имеющихся в настоящее время результатов, представленных, что важно, в специализированных изданиях промышленности эластомерных материалов, показал, что часто они носят взаимоисключающий характер: применение нанодисперсных наполнителей не всегда приводит к росту прочностных параметров.

Отмеченные противоречия вызывают скепсис не только у заводских специалистов, связанных с конкретным производством материалов, но и у специалистов, работающих в материаловедении. Наиболее явно это нашло отражение в работе Дейл В. Шефер и Райан С. Жустик. Как нано стали нанокомпозитами? (*Dale W. Schaefer and Ryan S. Justice. How Nano Are Nanocomposites?*). В теории достижения эффекта усиления превалирует мнение, что основным фактором, определяющим эффективность усиления полимеров дисперсными наполнителями, является их удельная поверхность. В качестве феноменологических моделей часто используют концепцию континуальной структуры дисперсно-наполненных материалов [4]. Модели связывают достижение эффекта усиления при наполнении полимера с межфазными явлениями. При этом исходят из естественного предположения, что с ростом дисперсности частиц растет и удельная поверхность, и, соответственно, возрастает вклад межфазных явлений в суммарную энергию Гиббса. Косвенным доказательством этого предположения служат экспериментальные наблюдения, демонстрирующие, что при наполнении полимеров частицами фрактальной организации возможен рост прочностных параметров значительно большей степени, чем при наполнении частицами такой же дисперсности, но другой внутренней организацией (например, отличающиеся фрактальной организацией).

Таким образом, становится понятным, что практика использования высокодисперсных материалов оторвалась от теоретического рассмотрения особенностей

системы «дисперсионная среда — ансамбль высокодисперсных частиц». Без проведения такого рода работ (хотя бы на уровне феноменологических моделей) сложно ожидать внедрение полимерных нанокompозитов в практику материаловедения.

Так появилась интересная модель формирования надмолекулярной организации полимерной матрицы под воздействием полевых воздействий частиц наноматериалов, основанной на информационно-энергетической теории В.Б. Алесковского [1, 2]. Современные технологии синтеза наноуглеродов основаны на модели «снизу — вверх», т.е. на модели формирования конечных частиц наноуглеродов из нативных углеродных частиц, формируемых на начальном этапе синтеза. Так, предполагается, что кристаллы детонационного алмаза формируются в процессе кристаллизации кластеров углерода, образующихся на начальном этапе взрывного разложения смесевых взрывчатых веществ [42].

В модели подразумевается, что наночастица — это твердое тело минимального размера, т.е. надмолекула, которая замыкает ряд нанометровых частиц и затем, по мере возникновения этих частиц, вбирает их в себя. Таким образом, процесс постепенного роста частиц является процессом последовательного ассоциирования наночастиц — квантовых частиц, и образования надмолекул — гомологов соответствующего надмолекулярного вещества. Этот процесс приводит к накоплению частицей избыточной информации. Формирование устойчивой системы при введении ансамбля таких частиц в полимерную матрицу (то есть формирование материала) термодинамически выгодно при снижении суммарной энергии Гиббса. В рассматриваемом случае это будет приводить усреднению информации по объему полимера за счет роста энтропии частиц и ее снижению (то есть формирования некоторых надмолекулярных структур) в полимерной дисперсионной среде. Сформированная супрамолекулярная организация полимерного материала обуславливает рост прочностных параметров, но механизм этого роста не коррелирует с площадью поверхности дисперсной фазы. В рамках этой модели можно объяснить и изменение таких свойств полимерного нанокompозита, как морозостойкость, триботехнические параметры поверхности и другие изменения эксплуатационных параметров материала в сопоставлении с традиционными композитами.

Внедрение нанотехнологий в область здравоохранения приведет к значительному повышению уровня помощи и росту качества жизни населения [41]. Наноматериалы и нанотехнологии используются при создании новых лекарств и разработке эффективных способов доставки лекарственных средств к очагу заболевания. Нанотехнологии показали свою эффективность в восстановительной хирургии, имплантологии, коррекционной и пластической хирургии. Широкая перспектива использования наноматериалов и нанотехнологий открывается и в области медицинской техники. Уже сейчас наноматериалы активно применяются для разработки средств диагностики, проведения нетравматических операций, создания искусственных органов.

Охрана окружающей среды — одна из отраслей человеческой деятельности, где эффективно используются наноматериалы и нанотехнологии [17]. Перспективными направлениями для внедрения нанотехнологических разработок являются создание фильтров нового поколения и мембран на основе наноматериалов для очистки воды и воздуха, опреснения морской воды [23, 28, 36–37]. Использование различных сенсоров для экспрессного определения химического и биологического загрязнения позволит эффективно контролировать качество окружающей среды и повысить безопасность

работающих в потенциально опасных областях производства [36]. Производство новых экологически чистых материалов, биосовместимых и биodeградируемых полимеров, создание новых методов утилизации и переработки отходов — перспективные направления для внедрения разработок в области нанотехнологий [39].

Развитие нанотехнологий ведет к возникновению новых реалий жизни [29]. Наноиндустрия создает новые материалы с совершенно необычными свойствами и, таким образом, создает и новые экологические риски [13]. Пристальное внимание привлекает проблема влияния наноматериалов на окружающую среду [6]. Остро стоит вопрос экспериментальной оценки токсичности и опасности наноматериалов для живых объектов и экосистем [15]. Среди новых материалов на гигиеническую и экологическую безопасность активно исследуются углеродные наноматериалы, так как хорошо известна их способность преодолевать биологические барьеры и установлена их высокая и разнообразная биологическая активность [9, 41]. Было проведено исследование влияния фуллеренов на различные виды почв и жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Показано, что почвенная микрофлора не чувствительна к присутствию фуллеренов, однако возможность их накопления в биомассе может создать риски для отдельных звеньев пищевой цепи [30].

В настоящее время в различных областях промышленности активно используются наноструктурированные оксиды металлов, например диоксид титана. Диоксид титана является одним из важнейших неорганических материалов, уникальные свойства которого позволяют определять технический прогресс во многих секторах мировой экономики. По разным данным, производство нанопорошков диоксида титана в мире оценивается в объеме от 5 тыс. т до 100 тыс. т в год. В последнем обзоре «Мировой рынок нанопорошков диоксида титана» (*The World Market for Nanoparticle Titanium Dioxide*, TiO_2) сообщается, что в 2010 г. в мире было произведено 50,4 тыс. т нанодисперсного диоксида титана, в том числе 5 тыс. т нанопорошка диоксида титана в Германии.

При этом следует помнить, что наночастицы диоксида титана (TiO_2), которые сейчас встречаются во множестве продуктов, накапливаются в организме и приводят к системным генетическим повреждениям, к разрыву одно- и двухцепочечных ДНК, то есть оказывает генотоксический эффект. Попадая в организм, наночастицы TiO_2 накапливаются в различных органах, поскольку в организме отсутствует механизм их выведения [18]. Вследствие своих малых размеров наночастицы TiO_2 легко проникают в клетки и кардинально меняют клеточный метаболизм. Национальный институт по технике безопасности и охране труда США (*The National Institute for Occupational Safety and Health* — NIOSH) опубликовал рекомендации по предельно допустимому содержанию нанодисперсных частиц диоксида титана в воздухе рабочей зоны — 0,3 мг/куб. м (для наночастиц менее 0,1 мкм).

Сфера применения наноразмерного диоксида титана постоянно расширяется. Данный материал все шире используется для приготовления катализаторов, в фотокатализе (фотокаталитические бетон и краски, фотокаталитические материалы-светофильтры), в косметике (средства для защиты от УФ-излучения), производство адсорбентов, производство СМР-продукции, производство плазменных покрытий, производство экономичных пластмасс, разрушающихся на свету. Пока сдерживающими факторами

для развития применения нанодисперсного диоксида титана являются высокие цены и возможная канцерогенность этих частиц [16]. В настоящее время средние цены на нанопорошки диоксида титана составляют 15 дол./кг, но для разных марок цены колеблются от 7 до 100 дол./кг.

Установление фактов изменения метаболических процессов под действием наноматериалов привлекает пристальное внимание гигиенистов, так как, например, использование наноматериалов в производстве косметических средств стало обыденностью [8]. Масштабы использования наночастиц в производстве косметики растут с каждым годом. При этом существует мнение, что применение наночастиц в косметике не менее вредно, чем добавки мышьяка и свинца.

Высокие темпы поступления различных типов наночастиц в окружающую среду в объемах, близких к промышленным, могут в ближайшее время существенно изменить климат Земли. Наночастицы, отражая солнечные лучи, могут вызвать очередной ледниковый период. Кроме того, распространение наночастиц в воздухе может привести к обострению таких заболеваний, как астма, эмфизема и другие легочные заболевания. При попытке обобщить основные опасности, связанные с развитием нанотехнологий, следует обратить внимание на следующие области риска активного внедрения нанотехнологий и наноматериалов:

1. В последнее десятилетие нанотехнологии активно внедряются в производство товаров бытового назначения повседневного спроса, таких как посуда с антипригарным покрытием, упаковочный материал и т.п.
2. В настоящее время ни в странах Запада, ни в России нет методик и аналитической базы для полноценного контроля за безопасностью изделий, производимых с использованием нанотехнологий [21–22].

Таким образом, система безопасности и стандартизации применения нанотехнологий находится только в стадии становления. Сегодня в сфере внедрения нанотехнологий в повседневную жизнь безопасность не является приоритетом, и внедрение наноматериалов во все сферы жизни человека будет расширяться [20], если не будет доказано, что они представляют опасность для здоровья человека, так как жесткий запрет на внедрение нанотехнологических разработок может погубить новую перспективную отрасль. Однако ускоренное внедрение нанотехнологий в производство товаров повседневного спроса при неудовлетворительных темпах развития контроля может привести к повышенному риску для конечных потребителей продукции наноиндустрии. Понимая, что nanoиндустрия как высокотехнологичная отрасль народного хозяйства является одной из важнейших точек роста экономики, государством поставлены задачи «быстро продвинуться в решении задач выведения на рынок безопасной и качественной продукции nanoиндустрии и минимизировать риски, связанные с возможным влиянием наноматериалов на здоровье человека и окружающую среду». Однако в реальности складывается общее представление, что при развитии nanoиндустрии безопасность не является безусловным приоритетом. Иными словами, применение наноматериалов не будет запрещаться, пока не будет доказано, что они представляют опасность для здоровья человека.

Ускоренное внедрение нанотехнологий в производство товаров повседневного спроса при неудовлетворительных темпах развития контроля может привести к повышенному

риску для конечных потребителей продукции наноиндустрии. В этом случае потребителям необходимо дать возможность самим решать, готовы ли они идти на риск, и в связи с этим было бы целесообразно обязательное введение соответствующей маркировки «Произведено с применением нанотехнологий». Учитывая реальные риски, связанные с использованием наноматериалов в различных производственных сферах и при выпуске товаров народного потребления, в особенности продуктов питания, создаются центры и методики контроля таких товаров. Организованы лаборатории для выявления и идентификации всех видов наноматериалов в составе пищевых продуктов, упаковки и продукции сельскохозяйственного назначения. В Институте питания РАМН активно ведется работа по созданию методов выявления наночастиц в продуктах питания.

Однако разработка систем контроля безопасности в сфере нанотехнологий не должна ограничиваться пищевой отраслью. Ускоренными темпами вопрос безопасности при внедрении наноматериалов должен разрабатываться в сфере фармакологии, косметологии, хирургии, имплантологии и других отраслях деятельности, непосредственно влияющих на качество жизни современного человека.

Заключение

Нанотехнология — символ будущего, важнейшая отрасль, без которой невозможно дальнейшее развитие цивилизации. Повседневная жизнь современного человека в постиндустриальном обществе немыслима без использования наноматериалов и изделий, изготовленных с их использованием. Наноматериалы и нанотехнологии используются при изготовлении предметов быта, спортивного инвентаря, гигиенических и косметических средств, одежды, продуктов питания, упаковочных материалов. Без нанотехнологий невозможно развитие современной медицины. Дальнейшее развитие радиоэлектроники, космической, военной техники, энергетики, транспорта, в том числе дорожных покрытий, опирается на достижения в области наноматериалов и развития нанотехнологий. При этом необходимо учитывать, что переход в наноразмерную область коренным образом изменяет не только физические, но и биологические свойства материалов, что сопряжено с серьезным риском как для человека, так и для биосферы в целом. Хотя нанотехнологические разработки позволяют достичь серьезных успехов в области защиты окружающей среды, однако высокая биологическая активность наноматериалов, способность преодолевать биологические барьеры и накапливаться в структурах организма требует особого внимания и систематического изучения экологических рисков их использования.

Человек должен с максимальной осторожностью отнестись к небывалым возможностям нанотехнологий, иначе под удар он может поставить свое собственное существование. Внедрение нанотехнологий в жизнь современного общества требует серьезного технического и технологического переоборудования многих производств, создания новых технологических линий.

Важное значение для развития нанотехнологий имеют разработка и производство специального измерительного и технологического оборудования, создание стандартизованных методик внедрения наноматериалов в различные сферы человеческого бытия, всестороннее изучение экологической безопасности наноиндустрии.

Литература

1. *Алфимов М.В.* Нанотехнологии. Роль компьютерного моделирования // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. Вып. 7–8. — С. 1–5.
2. *Алесковский В.Б.* Курс химии надмолекулярных соединений. — СПб.: СПбГУ, 1996.
3. *Алесковский В.Б.* Химико-информационный синтез. Начатки теории. Методы. — СПб.: СПбГУ, 1997.
4. *Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П.* Осреднение процессов в периодических средах. Математические задачи механики композиционных материалов. — М.: Наука, 1984. — 352 с.
5. *Баян Е.М., Лурейко Т.Г., Домницкий Н.К.* Производство наноматериалов: потенциальные риски и пути их снижения // Технологии гражданской безопасности. 2015. Т. 12. Вып. 2. — С. 74–78.
6. *Баян Е.М., Пустовая Л.Е.* Экологическая безопасность при использовании нанотехнологий. — Ростов-на-Дону: Изд-во «Содействие-21 век», 2012. — 188 с.
7. *Бобков С.Г., Киреев В.Ю.* Проблемы перехода микроэлектроники в субнанометровую область размеров // Ч. 1. Общие положения и возможности литографических методов формирования топологии; Нано- и микросистемная техника. 2007. № 5. — С. 11–21.
8. *Бутова С.Н., Елошвили Н.Т.* Перспективы использования нанотехнологии в косметике. Идентификация фальсифицированных пищевых продуктов. Контроль содержания и безопасности наночастиц в продукции сельского хозяйства и пищевых продуктах // Мат. междунар. науч.-практ. конф. ГОУ ВП «МГУПП». — М., 2009. — С. 21–27.
9. *Возняковский А.П., Шумилов Ф.А., Ибатуллина А.Х., Шугалей И.В.* Экологические проблемы получения детонационных наноалмазов. Поверхность и функционализация // Экологическая химия. 2012. Т. 21. Вып. 3. — С. 64–167.
10. *Возняковский А.П., Шугалей И.В.* Поверхностные характеристики частиц детонационных наноалмазов // Экологическая химия. 2012. Т. 21. Вып. 3. — С. 168–171.
11. *Возняковский А.П., Прокшев А.О., Калинин А.В., Шугалей И.* Селективно-проницаемые мембраны с биологически активной поверхностью // Экологическая химия. 2013. Т. 22. Вып. 3. — С. 129–135.
12. *Врублевский Э., Киреев В., Недзвецкий В., Сосновцев В.* Нанотехнология — путь в будущее или бренд для финансирования // Нано- и микросистемная техника. 2007. № 12. — С. 6–20.
13. *Галченко Ю.П.* Техногенные наночастицы как непериодический фактор окружающей среды // Экологические системы и приборы. 2007. Вып. 1. — С. 18–22.
14. *Гмошинский И.В., Распопов Р.В., Хотимченко С.А.* Идентификация фальсифицированных пищевых продуктов. Контроль содержания и безопасности наночастиц в продукции сельского хозяйства и пищевых продуктах // Мат. междунар. науч.-практ. конф. ГОУ ВП «МГУПП». — М., 2009. — С. 35–36.
15. *Дугин Г.С.* Нанотехнология и ее возможное негативное влияние на окружающую среду // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. Вып. 5. — С. 33–37.
16. *Захидов С.Т.* Нанотехнологии и генетическая безопасность // Нанотехнологии и охрана здоровья. 2010. Т. 2. Вып. 1. — С. 12–16.
17. *Ибрагимов И.М., Перфилова Е.А.* Применение нанотехнологии для защиты окружающей среды // Известия Акад. пром. экологии. 2006. Вып. 3. — С. 76.
18. *Каркищико Н.Н.* Нанобезопасность: новые подходы к оценке рисков и токсичности наноматериалов // Биомедицина. 2009. Т. 1. Вып. 1. — С. 5–27.
19. *Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г.* (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р).
20. *Красноярова О.В., Попов К.И.* Современное состояние исследований в области оценок рисков, связанных с присутствием наночастиц, потенциально опасных для здоровья человека в пищевой продукции. Классификация наноматериалов. Идентификация фальсифицированных пищевых продуктов. Контроль содержания и безопасности наночастиц в продукции сельского хозяйства и пищевых продуктах // Междунар. науч.-практ. конф. ГОУ ВП «МГУПП». — М., 2009. — С. 66–75.
21. *Кричевский Г.Е.* Опасности и риски нанотехнологий и принципы контроля за нанотехнологиями и наноматериалами // Нанотехнологии и охрана здоровья. 2010. Т. 2. Вып. 3. — С. 10–24.

22. Крутько В.Н., Пуцилло Е.В. Пролема оценок рисков нанотехнологий: методологические аспекты // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов; Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. Вып. 4. — С. 55–61.
23. Лукашевич О.Д., Малиновская Т.Д., Филличев С.А. Очистка природных и сточных вод и наноэффекты: ретроспективный анализ и перспективы // Вода: технология и экология. 2008. Вып. 3. — С. 3–11.
24. Морохов И.Д. О неоднородности физических характеристик ультрадисперсных частиц // Докл. АН СССР. 1980. Т. 251. Вып. 1. — С. 79.
25. Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю.А. Чаплыгина. — М.: Техносфера, 2005. — 448 с.
26. Неволин В. Зондовые нанотехнологии в электронике. — М.: Техносфера, 2005. — 152 с.
27. Носов Ю., Сметанов А. На пути в наноэлектронику: Исторические параллели и сопоставления // Электроника: наука, технология, бизнес. 2007. № 5. — С. 11–16.
28. Первов А.Г., Андрианов А.П. Новые технологии очистки природных вод методом ультра- и нанофильтрации // Экол. Вестник России. 2010. Вып. 4. — С. 37–43.
29. Петрунин В.Ф. Тенденции развития научно-технического направления «Ультрадисперсные (нано-) материалы и нанотехнологии» // Мат. VI Всерос. (межд.) конф. «Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем». — М.: МИФИ, 2002. — С. 25–28.
30. Плахова Л.В., Вишневецкая Н.Л. Проблемы организации контроля и оценки безопасности наноматериалов и нанотехнологий для окружающей среды // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. 2010. Вып. 3: Наука и образование. — С. 185–188.
31. Попов К.И., Красноярова О.В. О безопасности пищевых нанотехнологий // Пищевая промышленность. 2010. Вып. 11. — С. 14–15.
32. Попов К.И., Красноярова В. Пищевые нанотехнологии: упаковка // Масложировая промышленность. 2010. Вып. 1. — С. 15–17.
33. Пучкова Т.В., Репин А.Г., Кошелева О.Э. Использование наноингредиентов в косметической продукции нового поколения // Дизайн и технологии. 2010. Вып. 20. — С. 29–37.
34. Президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии» (№ Пр-688 от 24 апреля 2007 г.).
35. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. — М.: Техносфера, 2004. — 328 с.
36. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы: учебное пособие. — М.: Бином, 2008. — 168 с.
37. Семенова И.В., Хорошилов А.В., Симонова С.В. Элементы нанотехнологии в природоохранных процессах обработки воды // Изв. Акад. пром. экологии. 2006. Вып. 3. — С. 4–35.
38. Смыков И.Т. Нанотехнологии и нанопроцессы в производстве пищевых продуктов // Нанотехника. 2008. Вып. 4. — С. 68–74.
39. Фролова Н.В., Завалинская И.С. Роль нанокатализаторов и нанотехнологий в решении экологических проблем в нефтеперерабатывающей промышленности // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2010. Вып. 1–2. — С. 3–40.
40. Шейман Е. Опасны ли нанотехнологии? // Металлургия машиностроения. 2009. Вып. 5. — С. 44–48.
41. Шугалей И.В., Сударииков А.М., Возняковский А.П., Целинский И.В., Гарабаджиу А.В., Илюшин М.А. Химия поверхности детонационных наноалмазов как основа создания продукции биомедицинского назначения. — СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2012. — 152 с.
42. Voznyakovskii A. P., Prokoshev A. O. Model of Polymer Reinforcement With Detonation Nanodiamonds // Journal of Macromolecular Science. Part B: Physics. 2013. Vol. 52. № 12. — P. 1811–1817.
43. Danilenko V.V. Specific features of synthesis of detonation nanodiamonds // Combustion Explosion and Shock Waves. 2005. Vol. 41. — P. 577–588.
44. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta materialia. 2000. Vol. 48. № 1. — P. 1–29.
45. Frogley M.D., Ravich D., Wagner H.D. Mechanical properties of carbon nanoparticle-reinforced elastomers // Composites Science and Technology. 2003. Vol. 63. — P. 1647–1654.
46. Twardowski T. Introduction to nanocomposite materials: Properties, processing, characterization. — DESTech Publications. 2007. — 217 p.