

УДК 541.138:541.18

## К ПРОБЛЕМАМ НАНОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ

© В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, А.Ю. Осетров, И.В. Зарапина

*Ключевые слова:* инновация; идея; система; риски; финансовый; экологический.

Рассмотрены некоторые риски, в т. ч. информационный, экологический, финансовый, сопровождающие разработку и использование нанотехнологий, и возможные пути их преодоления.

Известно, что знания являются безусловной основой любого процесса развития. Вычленим из него небольшую часть и рассмотрим в данном сообщении лишь особенности, связанные с расширением теоретических представлений в области наноматериаловедения. Этот вопрос сегодня является одним из наиболее актуальных в сфере научной деятельности, а само направление – приоритетным. Составляющие его задачи – решение многочисленных термодинамических [1–2], кинетических [2–3] и технологических [2, 4] проблем, связанных с объектами и процессами, имеющими приставку «нано».

Однако, согласно [5–7], наблюдается существенно излишний оптимизм в оценках успехов инновационного развития этого направления на фоне недооценки необходимости преодоления чудовищных сложностей, стоящих перед исследователями [5–6] и последствий его воздействия на окружающую среду [7]. Но, прежде чем обсуждать эти вопросы, рассмотрим суть понятия «инновационный», которое сегодня в нашей литературе в меру затаскано и далеко неоднозначно. Оно весьма подробно обсуждено и обобщено в [8]. Согласно [8], термин «инновация» впервые ввел в 1912 г. И. Шумпетер, понимая под ним изменение с целью внедрения и использования качественно новых видов товаров потребления, транспортных и производственных средств, форм организации и рынков в промышленной отрасли. Сегодня общепризнанным [8] является тот факт, что по своей природе инновации включают в себя любые изменения в лучшую сторону во всех сферах научно-производственной деятельности, а термин «инновация» представляется одним из определяющих в современной теории управления. Этот подход в [8] подтвержден работами [9–11]. В [8] же приводится сводка определенных термина «инновация» в научной и учебной, справочной и нормативно-правовой литературе. Например, по А.Б. Борисову [8], инновация означает результат творческой деятельности, направленной на разработку, создание и распространение новых видов изделий, технологий, внедрение новых организационных форм. Согласно концепции инновационной политики РФ на 1998–2000 гг., инновация – конечный результат инновационной деятельности, получившей реализацию в виде нового или усовершенствованного продукта, реализуемого на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности. Согласно [8], специалисты опреде-

ляют инновацию как нововведение в области техники, технологии, организации труда или управления, основанное на использовании достижений науки и передового опыта, обеспечивающее качественное повышение эффективности производственной системы или качества продукции.

Вместе с тем каждая крупная, а тем более фундаментальная инновационная идея априори обуславливает новые масштабные преобразования, далеко выходящие за пределы ее жизненного цикла. Более того, она теснейшим образом связана с окружающей средой, с ее многими компонентами, образуя инновационную систему [8]. Причем эти масштабные преобразования носят как позитивный характер, являясь, с одной стороны, двигателем прогресса, а с другой – несут негативную, регрессивную, разрушающую составляющую. Не нужно далеко ходить за примерами. Инновационная идея двигателя внутреннего сгорания в совокупности с вызванными ею преобразованиями в промышленности как инновационная система недавнего прошлого, вызвала массу негативных явлений. Это гигантский расход углеводородов, использование которых многократно, в немыслимое количество раз превышает их образование. Это – гигантское загрязнение биосферы, включая все ее составляющие: атмосферу, гидро- и литосферу. Это и существенное замедление научной мысли в виде направления ее не по тому, а возможно (время покажет), и тупиковому пути. Человечество, в частности, отстало в развитии от самого себя в создании эффективных аккумуляторов, в более общем плане – высоко-емких источников тока и, в конечном счете, в создании электромобилей и многого другого.

Еще более ранняя инновация – идея колеса, без которого немыслима современная жизнь человечества. А разве это оптимальный способ передвижения? Разве «бесколесная» стрекоза движется не гораздо эффективнее современного колесного транспорта, разве этот транспорт может, как она, резко изменять скорость и направление движения? А много ли живых существ передвигается по способу колеса? Их практически не видно и не слышно. Так может быть инновационная идея колеса и соответствующая колесная система – это тупик? Один из многих тупиков, к которым двигают человечество многие передовые инновационные идеи и возникающие на их базе системы.

Вместе с тем поднятые проблемы – это вопросы национальной безопасности и ее составляющей – эко-

логической безопасности. Во всех случаях, идя по пути развития той или иной инновационной системы, человечество, в целом, рискует. Риск – понятие многогранное [8]. Его компонента – экологический риск, который включает многие составляющие [8]: риски возникающей опасности, риски, обусловленные условиями неопределенности, риски финансовые и, вероятно, многие другие.

Но не будем углубляться в подобные вопросы, оставим это специалистам [8, 12]. Вернемся к современным проблемам нанотехнологий. Разработка их научных основ только в одном сравнительно узком направлении – создание химических нанотехнологий – требует гигантских финансовых затрат, объем которых сегодня общество либо представляет с большим трудом, или, скорее, вообще не представляет.

Это – необходимость преодоления чрезвычайных трудностей, стоящих на пути создания подобных технологий. Дело в том, что всякая технология с инженерной точки зрения хороша тогда, когда она работает в условиях минимального числа влияющих факторов, которые в данном случае проявляются в виде степеней свободы. Это, как правило, изобарно-изотермические ( $p = \text{const}, t = \text{const}$ ) либо изохорно-изотермические ( $V = \text{const}, t = \text{const}$ ) условия, что существенно облегчает управление процессами. Однако с участием наноразмерных реагентов поддержание  $t = \text{const}$  существенно затруднено, что естественно сказывается на эффективности процесса. Причина этого явления в том, что появляется зависимость тепловых эффектов образования и сгорания индивидуальных веществ интегральных тепловых эффектов реакций ( $\Delta H_i$ ) от эффективного размера реагирующих частиц  $r$ , как появляется зависимость от  $r$  температур плавления, кипения, поверхностного натяжения и других характеристик вещества [1]. Причем в гетерогенных процессах величина  $r$  становится функцией времени. Следовательно, такие процессы будут протекать в условиях, для которых характерен высокий уровень неопределенности и при этом сразу по нескольким характеристическим параметрам системы.

Так, зависимость знака  $\Delta G$  от  $r$  вызывает изменение свободной энергии вплоть до обращения направления процесса при  $p = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ . То же касается зависимости от  $r$  изменения изохорно-изотермического потенциала ( $V = \text{const}, t = \text{const}$ ).

Присутствие нанодисперсных реагентов определяет необходимость учета связи с эффективными размерами частиц следующих параметров:

- 1) теплота фазового перехода, т. к.  $\Delta H_{\text{ф.п.}} = f(r)$ ;
- 2) учета со временем фракционного состава реагентов;
- 3) учета  $C_p = f(r, \tau)$ ;
- 4) учета  $C_v = f(r, \tau)$  и последовательного систематического изменения во времени тепловых балансов;
- 5) не исключена и связь энергии активации процессов с  $r$  и  $\tau$ ;
- 6) появляется зависимость давления насыщенного пара от  $r$ ;
- 7) необходим учет зависимостей  $\Delta S = f(r)$  и, как отмечено выше,  $\Delta G = f(r)$ ,  $\Delta F = f(r)$ , где  $S$ ,  $G$  и  $F$  – соответственно, энтропия, свободная энергия Гиббса и Гельмгольца системы.

Кроме того, перечисленные физико-химический параметры являются функцией природы и структуры

участвующих во взаимодействии малоатомных кластеров, что также ведет к существенному усложнению управления технологическими процессами.

Все указанные и многие другие особенности, включая возрастающую роль флуктуаций в нанотехнологиях, обобщил Ю.Д. Третьяков в виде графической зависимости, приведенной в [6]. Сегодня промышленное развитие страны в зависимости от поставленных целей и задач находится на уровнях 1–4 (рис. 1, [6]). Конечно, переход на уровень 5 (рис. 1, [6]) очень болезнен, но неизбежен. С целью подтверждения подобного вывода рассмотрим триединую систему:

- 1) получение нанодисперсных материалов;
- 2) изучение физико-химических характеристик наноматериалов, включая физико-химические основы кластерообразования и реакционной способности кластеров. Сегодня соответствующие теоретические разработки вообще отсутствуют;
- 3) использование нанодисперсных материалов в химических и смежных нанотехнологических процессах.

Первый из указанных выше пунктов достаточно серьезно разработан. Найдены методы получения наноматериалов практически любых классов химических соединений [13–19] и композитов на их основе. В т. ч. смесевых, получаемых, например, прессованием [20–23], перемешиванием в ультразвуковом поле или посредством нанесения химических веществ на поверхность нанодисперсных образований [24].

Различие в ситуациях с применением микро- и нанообъектов в гетерогенных процессах приводит к следующему. Технологические процессы с использованием первых могли разрабатываться без предварительной сравнительно глубокой теоретической проработки, т. к. для этого необходим небольшой объем перебираемых вариантов их эффективной практической реализации, либо практическая сторона химических и смежных с ними технологий и разработка их научных основ могли проводиться параллельно.

В случае разработки нанотехнологий такие подходы невозможны, ибо число перебираемых вариантов возрастает на многие порядки, по существу, приближаясь к бесконечности. Следовательно, безусловно, первым этапом в этих условиях должно быть глубокое теоретическое изучение особенностей химической стороны гетерогенных реакций с участием нанодисперсных материалов и лишь затем разработка условий и методов их технологической реализации. Такой подход требует резкого увеличения или преимущественного финансирования теоретических исследований без надежды на близкую техническую реализацию. Иначе говоря, сроки возврата таких издержек существенно увеличиваются.

Из сказанного следует, что возникают весьма существенные финансовые риски. В случае малых финансовых ассигнований на уровне 150–200 млрд руб. (5–6 млрд долл.) это обуславливает острое недофинансирование, т. к. указанные объемы средств приведут к затратам без реальных результатов, учитывая те гигантские трудности, которые стоят перед исследователями. В США и Китае это, видимо, прекрасно понимают, именно поэтому их финансовые затраты на исследования в области наноматериаловедения на один, а возможно, и на 2 порядка выше. Приведенные цифры учитывают финансовые средства, вкладываемые в разработку теоретических основ наноматериаловедения и нанотехнологий частными корпорациями Соединенных

штатов. В РФ последний поток средств приближается к нулю. Не удивительно, что объем работ российских ученых, их публикационная активность, судя даже по отечественным обзорам, не превышают 1 % [14–19]. В обзорах иностранных авторов, опубликованных в международных журналах, эта цифра еще ниже.

Значительный финансовый риск вызывает именно для РФ и многократное усиление финансирования подобных направлений исследований. Но это уже связано с российской спецификой, для которой характерно финансирование отдельных немногочисленных якобы ведущих центров.

Это обуславливает проведение разработок на базе очень небольшого количества идей, которые могут оказаться тупиковыми, ибо таково большинство идей в науке. Следует учитывать, что разработка фундаментальных основ науки – удел одиночек, сотрудники же, как бы многочисленны они ни были, являются лишь аранжировщиками и исполнителями. Без наличия подобных лидеров им не сдвинуть с места разработку проблемы. А такие лидеры далеко не обязательно работают в подобных ведущих центрах, более того, если они живут на периферии, их деятельность подавляется коррупционной составляющей таких центров. Можно было бы привести немало примеров подобной коррупционной составляющей или просто неграмотности экспертов, но это вряд ли поможет сдвинуть проблему с мертвой точки. А без этого страна теряла, теряет и будет только терять огромные средства.

Погоня за быстрой прибылью типа деятельности РосНАНО или Сколково здесь не помогут. Но это уже и социальная проблема, и мы ее касаться не будем.

А ситуация совсем не тупиковая – нужно финансировать сразу много коллективов, в т. ч. и далеко не самых крупных.

Назовем и другие риски, при этом авторы не претендуют на то, что они исчерпают все возможные. Серьезный риск обусловлен деятельностью работников средств массовой информации. Это специфический риск, провоцируемый журналистами. Работники СМИ, далекие от понимания существа тех или иных вопросов, хватаются в поисках «жареного» за внешне красивую идею, раздувают ее до небес, обещая близкий фантастический результат. Это влияет и на государственные органы, которые создают совершенно бесполезные структуры, внешне обильно финансируют их, а по существу, просто выбрасывают деньги на ветер. Не избежала этого и специализированная газета «Поиск», организовав действующую из номера в номер рубрику «Наноскоп», в которой представляются результаты второстепенных исследований, не имеющих ничего общего с фундаментальным решением проблемы, и восхваляются второстепенные результаты.

Следует отметить, что на различных этапах жизненного цикла любой инновационной системы важное место занимает оценка затрат на образование, подготовку кадров, обуславливающих ее развитие и функционирование. Естественно, все это в полной мере касается и инновационной системы, связанной с развитием теоретических представлений наноматериаловедения и нанотехнологий. И здесь есть свои особенности. С учетом практического отсутствия в настоящее время нанотехнологии и маловероятного их появления в ближайшие десять–пятнадцать лет, сегодня нет острой потребности в подготовке инженеров-нанотехнологов (специалистов, бакалавров). Необходимо готовить ин-

женеров-исследователей этого профиля с существенно усиленной теоретической подготовкой и преимущественно магистров. Необходимо пересмотреть и соответствующие государственные стандарты, заметно усилив их математическую, физическую и химическую компоненты, введя обязательные курсы по квантовой механике, физике, химии, в т. ч. и по физике и химии конденсированного состояния. Существующие государственные стандарты по этому направлению нуждаются в кардинальном изменении по содержанию и должны иметь четкую программную основу с указанием объемов аудиторных часов по изучаемым дисциплинам. Необходимо существенно усилить курсы физико-химии наноструктурированных материалов, изучаемые после усвоения всего цикла естественнонаучных предметов. Эти дисциплины должны отражать современное состояние науки и развиваться вслед за очень быстрым становлением и развитием теоретических закономерностей самого раздела науки. Если математика, физика, химия до современного состояния развивались не одну тысячу лет, то теоретическое наноматериаловедение должно пройти этот путь до соответствующего уровня за 20–40 лет. И лишь затем по мере разработки нанотехнологий целесообразно начать готовить нанотехнологов.

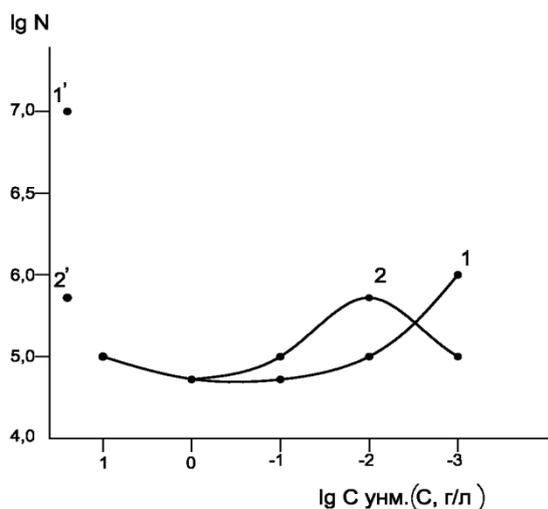
В процессе становления и развития наноматериаловедения все большее внимание привлекают возможные экологические или эколого-токсикологические риски, обуславливаемые наноструктурированными материалами. В последние годы на крупных международных и всероссийских конференциях, как правило, работают секции по вопросам токсикологии наноматериалов. Учитывая, что подобные исследования нельзя организовать непосредственно на животных и человеке, их сравнительно широко проводят на бактериях различных типов. В целом, результаты далеко не однозначны, но исследования продолжаются и, несомненно, будут расширяться. Приведем некоторые, конечно, далеко не исчерпывающие результаты, касающиеся углеродных наноматериалов (УНМ).

Согласно [25, 26], подобные наноматериалы способны вызвать хроническое воспаление легких, фиброз, а в некоторых случаях и летальный исход. Они, согласно [27], могут привести к серьезному повреждению клеточных мембран и гибели бактерий, например, *E. coli*. По [28], при контакте УНМ с клетками *E. coli* наблюдается повреждение поверхностных структур и обусловленная этим гибель микроорганизмов. Имеет место и сродство фуллеренов  $C_{60}$ , функционализированных аминокислотами, к поверхности модельных микроорганизмов, вызывающих гибель *E. coli*.

Замечено влияние углеродных наноструктур на биологические свойства бактерий URL [29]. МУНТ (многостенные углеродные нанотрубки) оказывают воздействие на свойства грамположительных и грамотрицательных бактерий URL. Они стимулируют рост и развитие вторых по сравнению с первыми [30].

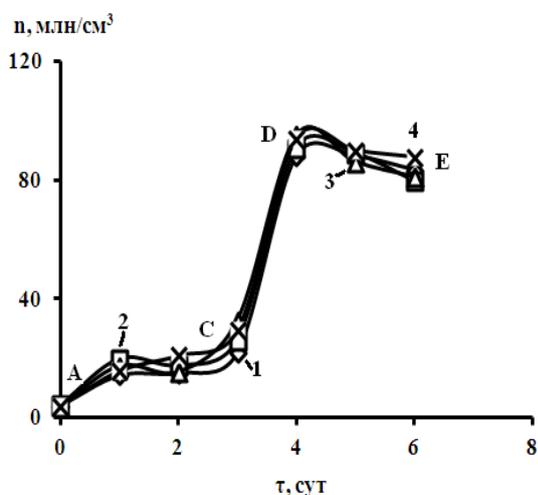
В [31] исследовано влияние УНМ «Таунит» на ряд бактериальных клеток. Углеродный наноматериал предварительно диспергировали в дистиллированной воде наложением ультразвукового поля. Детали методики представлены в [31]. Данные авторов [31] приведены нами для наглядности в графическом виде (рис. 1).

Легко видеть, что уже 1 мг/л УНМ многократно снижает число бактериальных клеток *E. coli*. Однако действие таунита на различные типы бактерий весьма

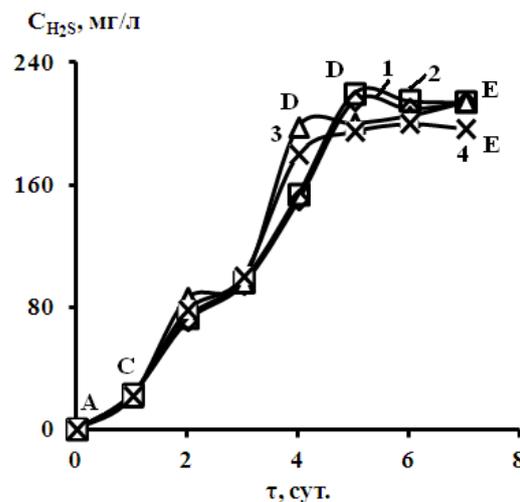


**Рис. 1.** Влияние концентрации УНМ «Таунит» на количество бактериальных клеток ( $N$ ), 1 – *E. coli*; 2 – *B. cereus*. 1' – *E. coli*; 2' – *B. cereus* ( $N$  – число бактериальных клеток в отсутствие МУНТ) [31]

избирательно. Так, в случае *B. cereus* бактериальный эффект существенно понижен. Концентрационный фактор МУНТ, в целом, выражен сравнительно слабо, а в ряде случаев и вообще отсутствует (рис. 1) [31]. Действие углеродного наноматериала, по-видимому, связано с его поверхностными свойствами, обусловленными наличием на его поверхности оксидных образований [32]. Приняв, что в наибольшей мере степень заполнения поверхности УНМ обусловлена наличием карбоксильных групп, это предположение можно экспериментально проверить, введя в дистиллированную воду необходимое количество карбоновой, например, уксусной, кислоты. Учитывая, что  $K_a$  ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) не превышает  $2 \cdot 10^{-5}$ , наличием подкисления среды можно пренебречь и оценить интегральное влияние концентрации молекулярной и анионной форм кислоты. В целом, согласно [31], влияние МУНТ на бактериальные



**Рис. 2.** Зависимость численности СРБ от времени в среде Постгейта в присутствии МУНТ в концентрации (мг/л): 1–0; 2–10; 3–30; 4–100



**Рис. 3.** Зависимость концентрации биогенного сероводорода от времени в среде Постгейта в присутствии МУНТ в концентрации (мг/л): 1–0; 2–10; 3–30; 4–100

клетки того же порядка, что и сажи. Кстати, на последней имеются те же оксидные образования, что и на МУНТ.

Отметим, что присутствие МУНТ практически не сказывается на численности (рис. 2) сульфатредуцирующих бактерий (рис. 3) или наработку ими сероводорода в процессе жизнедеятельности. Это является дополнительным доказательством избирательного действия МУНТ на бактериальные образования различных типов. Вместе с тем уже приведенные данные указывают на возможное наличие токсикологического риска при использовании наноструктурированных материалов.

В целом, вопросы указанных и многочисленных других рисков должны постоянно находиться в центре внимания исследователей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вигдорovich В.И., Цыганкова Л.Е. К термодинамике наноструктурированных материалов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2012. Т. 48. № 5. С. 415-421.
2. Вигдорovich В.И., Цыганкова Л.Е. Физико-химия наноструктурированных материалов. Тамбов: Изд-во Першина, 2012. 234 с.
3. Вигдорovich В.И., Цыганкова Л.Е. Роль и структура наноразмерных эффектов при состоянии равновесия и вдали от него // Конденсированные среды и межфазные границы. 2008. Т. 10. № 3. С. 213-216.
4. Вигдорovich В.И. Некоторые вопросы создания химических нанотехнологий // Научно-технические технологии. 2012. Т. 13. № 6. С. 3-7.
5. Еремич В.В., Плутенко А.Д. Нанотехнологическое образование: проблемы и перспективы // Современные тенденции развития химического образования: фундаментальность и качество / под ред. В.В. Лунина. М., 2009. С. 141-153.
6. Вигдорovich В.И., Цыганкова Л.Е. Наноматериаловедение: разочарование, теоретический анализ проблемы. Реальные перспективы нанотехнологии // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 4. С. 1152-1158.
7. Киселева С.П. Экологическая безопасность инновационного развития. Тамбов: Изд-во Першина, 2013. 312 с.
8. Киселева С.П. И.И.И. (Информация. Инновации. Инвестиции). М.: ФИД «Деловой экспресс», 2011. 160 с.
9. Азгалодов Г.Г., Костин А.В. К вопросу о термине «Инновация». Сайт оценщиков, рубрика «Что такое качество?» LABRARE.RU. 2009.
10. Джолдасбаева Г.К. Инновация как основной фактор повышения эффективности производства // Деловой еженедельник «Бизнес Путеводитель». 2008. С. 3-7.

11. Кулагин А.С. Немного о термине «Инновация» // Электронный журнал «Приглашаем к дискуссии». 2004. № 7. С. 31-35.
12. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков: учеб. пособие. М.: Академия, 2008.
13. Харрис П. Мир материалов и технологий. М.: Техносфера, 2003. 335 с.
14. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. М.: Университетская книга, 2006. 376 с.
15. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки. Строение, свойства, применение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 293 с.
16. Ткачев А.Г., Золотухин И.В. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур. М.: Машиностроение, 2007. 316 с.
17. Сергеев Г.Б. Нанохимия. М.: Изд-во МГУ, 2007. 336 с.
18. Миценко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
19. Суздальев И.П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 592 с.
20. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Гладышева И.Е. Кинетика реакции выделения водорода в кислых водных и спиртовых средах на композитных углеродных материалах // Наукоемкие технологии. 2011. Т. 12. № 2. С. 72-77.
21. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Кичигин В.И., Гладышева И.Е. Кинетика реакции выделения водорода в кислых средах на пресованных микрографитовых электродах, модифицированных углеродными нанотрубками. I. Поляризационные измерения // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2012. Т. 48. № 2. С. 187-190.
22. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Кичигин В.И., Гладышева И.Е. Кинетика реакции выделения водорода в кислых средах на пресованных микрографитовых электродах, модифицированных углеродными нанотрубками. II. Импедансные исследования // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2012. Т. 48. № 3. С. 373-378.
23. Баронин Г.С. Твердофазные технологии переработки полимеров и композитов // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы 3 Междунар. науч.-инновац. молодежной конф. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2011. С. 13-23.
24. Целуйкин В.Н. Композиционные электрохимические покрытия: получение, структура, свойства // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2009. Т. 45. № 3. С. 287-301.
25. Warheit D.B., Laurence B.R., Reed K.I. [et al.] Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats // Toxicology Sci. 2004. P. 117-125.
26. Carrero-Sanchez J.C., Elias A.L., Mancilla R. [et al.] Biocompatibility and toxicological studies of carbon nanotubes doped with nitrogen // Nano Lett. 2006. № 6. P. 1609-1616.
27. Carbon nanotubes render E. coli inactive. URL: <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/30831>. Загл. с экрана.
28. Дерябин Д.Т., Васильченко А.С., Алешина Е.С., Тлягулова А.С., Никитин А.Н. Исследование взаимодействия углеродных наноматериалов с клетками *Escherichia coli* методом атомно-силовой микроскопии // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. № 11-12. С. 103-108.
29. Кушнарченко А.Н., Нечаева О.В., Пермякова Н.Ф. Влияние углеродных наноструктур на биологические свойства бактерий. URL: <http://www.ystrp.ru/archive/ystrp-2008/2009-10-09-14-41/1225-2008-11-11-00-Nov-th%20>. Загл. с экрана.
30. Нечаева О.В., Пермякова Н.Ф., Кушнарченко А.Н., Тограшев Г.Е., Тихомирова Е.И. Влияние многостенных углеродных нанотрубок на биологические свойства грамположительных и грамотрицательных бактерий. URL: <http://rusnanotech10.rusnanoforum.ru/Document.aspx/Download/30648>. Загл. с экрана.
31. Гусев А.А., Родаев В.В., Васюкова И.А., Ткачев А.Г., Захарова О.В., Зрютина А.А. Исследование содержания аэрозольных наночастиц в воздухе рабочей зоны нанотехнологического производства и оценка воздействия наноматериала на бактерии на примере углеродного наноматериала «Таунит» // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2013. Т. 18. Вып. 1. С. 299-303.
32. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е. Структура поверхности углеродных микро- и наноматериалов // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 4. С. 1164-1171.
33. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Есина М.Н., Назина Т.Н. Исследование бактерицидной способности многостенных углеродных нанотрубок // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 3. С. 887-889.

Поступила в редакцию 23 июня 2013 г.

Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Osetrov A.Y., Zarapina I.V. ON PROBLEMS OF NANO-MATERIAL STUDY AND NANOTECHNOLOGIES

Some risks including informational, ecological, financial, accompanying development and use of nanotechnologies and possible ways of their overcoming are considered.

*Key words:* innovation; idea; system; risks; financial; ecological.