

## НАНО-ВЫЗОВЫ: СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

*Приводятся анализ последствий наноиндустрии для социальной сферы и экологии, их классификация, оценка негативного влияния на человека. Определяются задачи и подходы к возможным решениям. Формулируются рекомендации о необходимости корректировки и экологизации нанотехнологий всех уровней – от теорий и научных разработок до внедрения в производство и потребления, а также развитие материальной, экспериментальной и информационной баз с целью исследования экологических рисков.*

**Ключевые слова:** нанотехнологии, наночастицы, токсичность, экологическая угроза.

*Приведений анализ наслідків наноіндустрії для соціальної сфери та екології, їх класифікація, оцінка негативного впливу на людину. Визначаються задачі та підходи до можливих рішень. Формулюються рекомендації про необхідність корегування і екологізації нанотехнологій всіх рівнів – від теорій та наукових розробок до втілення в виробництво та споживання, а також розвиток матеріальної, експериментальної та інформаційної баз з метою дослідження екологічних ризиків.*

**Ключові слова:** нанотехнології, наночастки, токсичність, екологічна загроза.

*Their classification, estimation of negative influence on the person are resulted the analysis of consequences nano-industry for social sphere and ecology. Problems and approaches to possible decisions are defined. Recommendations about necessity of updating and ecological nanotechnology all levels – from theories and scientific workings out before introduction in manufacture and consumption, and also development of material, experimental and information bases with a research objective of ecological risks are formulated.*

**Key words:** nanotechnologies, nanoparticles, toxicity, environmental threat.

### ВВЕДЕНИЕ

Когда, примерно через полстолетия после открытия Анри Беккереля естественной радиоактивности (1896), микромир «подарил» человечеству свои залежи энергии, казалось, вернулся золотой век. Однако, надежды тотчас вздрогнули от атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки. Эйфория постепенно истощалась «холодной войной», взрывами водородных устройств. Наконец, отрезвление возвестил мрачный Чернобыль со шлейфом лучевых болезней.

И это открытие принесло людям, наряду с благами, реальные угрозы. Нечто похожее сейчас происходит с нанотехнологиями – провозвестниками новой эры техногенного могущества человека.

Нанотехнологии позволяют производить материалы и структуры в масштабах до ста нанометров (1 нм = 10<sup>-9</sup> м). Переход от «микро» к «нано» – скачок от манипуляции веществом к манипуляции отдельными атомами. Первым новую область технологии предложил американский физик Эрик Дрекслер. Он объединил идеи двух ученых – Ричарда Фейнмана, который еще в 1959 рассуждал о возможности манипулирования отдельными атомами, и Джона фон Неймана, разрабатывавшего теорию самовоспроизводящихся, размножающихся машин [1; 2].

Манипулирование отдельными атомами – заманчиво... Но – как?.. Согласно представлениям классической физики, чтобы перейти от одного энергетического состояния в другое, частица должна преодолеть потенциальный барьер. Должна обладать достаточной энергией, чтобы «оторваться» от системы, в которой находится. В странном мире квантовых явлений частицы свободны от этих ограничений.

Возможность преодоления частицей энергетического барьера даже в случаях, когда ее энергия меньше высоты этого барьера (эффект квантового туннелирования) предсказал русский физик Георгий Гамов в 1928 году (эмигрировал в США в 1933). Начиная с 50-х годов, эффект туннелирования подтвержден экспериментально на полупроводниках, в сверхпроводниках. В 1973 году ученые, работавшие по этой тематике, были удостоены Нобелевской премии.

Манипулирование отдельными атомами стало возможно с 1981 года, когда швейцарские ученые Г. Бининг и Г. Рорер создали туннельный электронный микроскоп. Сверхтонкая игла (размер острия  $1 \div 10$  нм) движется над поверхностью электропроводящего материала на высоте около одного нанометра. Если к игле приложить электрическое напряжение, можно «выдернуть» с поверхности отдельный атом, перенести его в сторону и, поменяв знак напряжения, снова «отдать» поверхности.

В 1986 появился атомно-силовой микроскоп, работающий не на электростатическом принципе, а на силах межатомного взаимодействия. На нем можно работать с любыми материалами, не только с токопроводящими.

В 1989 сотрудник IBM Дон Эйглер впервые в мире осуществил контролируемые манипуляции с отдельными атомами, размещенными на поверхности – с помощью микроскопа он написал слово «IBM» из 35 атомов ксенона.

Нанотехнологии предлагают уникальные возможности в самых разных областях – от создания новых источников энергии до усовершенствований конструкционных материалов – трудно найти область, где бы нанотехнологи не смогли предложить решение проблемы.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Возможность понимать, контролировать и манипулировать материей на атомно-молекулярном уровне позволяет создавать материалы, приборы и системы с функционально новыми свойствами.

В 1994 началось применение методов нанотехнологии в промышленности. Одна из первых областей – сенсоры ускорения, устанавливаемые в автомобилях в защитных воздушных подушках для детектирования столкновения [3].

В 1998 голландский физик Сеез Деккер создал первый нанотранзистор из нескольких атомов [1; 4]. В США создан наноэлектромотор. Ротор изготовлен из золота и установлен на шпинделе из углеродной нанотрубки толщиной в несколько атомов углерода (до 10 нм). Длина изделия 500 нм [5].

В 2007 разработана методика массового создания микро- и наночастиц с чрезвычайно точным соблюдением их формы и размеров. Демонстрируя возможности этой методики, ученые сформировали несколько миллиардов частиц в виде 26 букв латинского алфавита [6].

В Калифорнийском технологическом институте впервые создан ряд параллельных нанопроволок с высокотемпературной сверхпроводимостью. Нанопроволоки из оксида иттрий-барий-медь диаметром 10 нм и длиной 200 мкм теряют электрическое сопротивление при температуре выше точки кипения жидкого азота. Разработана молекулярная нанопроволока на основе наночастиц золота, способная измерять нити ДНК с точностью до одного нуклеотида (то есть до одной буквы генетического кода) [7; 8].

Самособирающиеся наноструктуры из золотых наночастиц, прикрепленных к одноцепочечным молекулам ДНК, созданы в университете Аризоны. Изменяя последовательность ДНК и размер частиц (5...10 нм), исследователи получают конструкции различной формы (стопки из колец, одиночные, двойные и многослойные спирали и др.). В Йельском университете открыт новый класс полупроводниковых устройств, управляемых силой света. Сверхгладкое кремниевое зеркало создали японские исследователи. Оно может

сфокусировать рентгеновское излучение почти до теоретического предела. Китайские ученые разработали технологию производства гидрофобных поверхностей – на листе алюминиевой фольги формируется нанорельеф из оксида кремния, при этом лист фольги остается неповрежденным.

В австралийском Университете Мердока создан новый тип искусственного сустава, изготовленный из наноструктурированного гидроксиапатита; материал не отторгается организмом, прошел успешные испытания на биологическую совместимость. Испанские ученые разработали движитель из двух коллоидных частиц – магнитной и немагнитной, соединенных между собой. Он может перемещать микро- и нанообъекты в вязкой жидкости, например осуществлять направленную доставку лекарств в кровеносных сосудах. Для подобного применения в лаборатории австралийского Университета Монаша создан микроробот диаметр 250 микрометров, оснащенный пьезоэлектрическим двигателем; его движитель-жгутик, вращающийся с частотой 1300 об/мин, развивает достаточную мощность для движения по артериям даже против тока крови. Новый тип внутриклеточных сенсоров на основе углеродных нанотрубок разработан в Массачусетском технологическом институте. Сенсоры распознают молекулы веществ, повреждающих ДНК, что позволяет применять их при изучении действия антираковых препаратов, а также различных антиоксидантов. Дистанционно «выключать» гены позволяет конструкция из золотого наностержня и короткого двухцепочного фрагмента РНК [8; 9].

В рамках ИСО/ТК 229 определены страны-кураторы по отдельным областям метрологии, стандартизации и сертификации. Метрология, методы измерений и испытаний закреплены за Японией, термины и определения – Канадой, проблемы здоровья, безопасности и экологии – США.

В настоящее время национальные нанотехнологические программы приняты в более чем 50 странах. В США разработки ведутся по всем возможным направлениям, приоритеты Японии – информационные технологии и экология, успешны исследования в Германии, Франции, Великобритании, Китае.

Кабинет Министров Украины утвердил Государственную целевую научно-техническую программу «Нанотехнологии и наноматериалы» на 2010-2014 гг. В 2009 году федеральное агентство по науке и инновациям РФ и Министерство образования и науки Украины подписали программу сотрудничества, которая предусматривает закупку современного оборудования и проведение совместных украино-российских исследований в сфере нанотехнологий.

К настоящему времени эйфория от успехов нанотехнологий, действительно впечатляющих, меняется на рациональное отношение. Среди важнейших направлений исследований прочно заняла позиции проблема безопасности. Проблема настолько актуальна, что требует международной координации [10-12].

Целью настоящей работы является анализ нано-вызовов для социальной сферы и экологии, их классификация, формулирование подходов к возможным решениям.

### ***АНАЛИЗ УГРОЗ, ИСХОДЯЩИХ ОТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ, ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ***

При рассмотрении потенциальной опасности наноматериалов следует учитывать уникальные особенности, обусловленные их наноразмерным состоянием [13]:

- увеличение химического потенциала ведет к изменению растворимости, реакционной и каталитической способности;
- большая удельная поверхность наноматериалов увеличивает адсорбционную емкость, химическую реакционную способность;
- небольшие размеры и разнообразие форм наночастиц позволяют им связываться с нуклеиновыми кислотами, белками, встраиваться в мембраны, проникать в клеточные органеллы, изменять функции биоструктур;
- высокая адсорбционная способность наночастиц может облегчать проникновение внутрь клетки различных контаминантов, тем самым повышая их токсичность;

- наночастицы не распознаются защитными системами организма, не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма, что ведет к накоплению материалов в растительных, животных и микроорганизмах.

Анализ возможных опасностей и угроз, исходящих от распространения нанотехнологий, позволил сделать попытку их классификации и сопоставления с позитивными приобретениями, представленную таблицей (табл.)

Нужно признать, что отдельные моменты, приведенные в таблице, носят гипотетический характер. Это связано с новизной темы. Однако, все они из области научного прогноза, а не фантастики.

Наиболее реалистические угрозы и риски касаются биологии и медицины.

При оценке негативного влияния наночастиц на человека и определения путей сокращения рисков следует решать несколько задач:

*Детектирование наночастиц.* Определяются концентрация, состав, структура, размеры и распределение по размерам, значение удельной межфазовой поверхности, наличие свободных радикалов, строение и архитектура частиц, и другие специфические характеристики. Очень важно использовать методы оценки, позволяющие отличать наноматериал от аналогов в макрофазах или сплошных дисперсиях. Такие косвенные показатели как регистрация изменений в структуре биологических макромолекул, подвижность липидного слоя, нарушения в структуре надмолекулярных комплексов, мембран и органелл могут использоваться не только для определения количественных показателей нанозагрязнения, но и для анализа его потенциального биологического воздействия [10].

#### Позитивные возможности и угрозы нанотехнологий

Источники угроз и рисков	Позитивные возможности	Негативные возможности
<b>Экология, биология и медицина</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– уникальные химические и физические свойства наноматериалов и нановеществ (высокий химический потенциал, реакционная, адсорбционная способность, изменения растворимости, каталитической способности и т. п.);</li> <li>– уникальные биологические свойства (высокая проникающая способность при отсутствии у человека, животных и растений, эволюционно выработанных механизмов защиты); наночастицы не распознаются защитными системами организма, не подвергаются биотрансформации и практически не выводятся из организма;</li> <li>– многообразие форм и состава нанобъектов, сложность их идентификации; отсутствие стандартных индикаторов нанотоксичности, надежных данных об органах-мишенях для конкретных наноматериалов, методов выявления и количественного определения наночастиц;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– адресная доставка лекарственных веществ;</li> <li>– новые методы лечения многих заболеваний (кардиологических, онкологических, наследственных и т. д.);</li> <li>– создание биороботов для лечения организма изнутри;</li> <li>– создание новых уникальных биосовместимых материалов, имплантатов и т. д.;</li> <li>– средства защиты от биологического и химического оружия</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– специфические заболевания, вызываемые воздействием наночастиц, от аллергий до генных изменений;</li> <li>– химическое, биологическое оружие;</li> <li>– создание ядов с генетически зависимой реакцией (вплоть до персональной «настройки»)</li> </ul>

<b>Источники угроз и рисков</b>	<b>Позитивные возможности</b>	<b>Негативные возможности</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность быстрого достижения результатов при отсутствии объективной информации для оценки последствий;</li> <li>– малая энергоёмкость, размеры.</li> </ul>		
<b>Макро- и микротехнологии, энергетика, техногенная безопасность, стихийные бедствия</b>		
<p>Выявлены производственные процессы с наиболее высоким риском вредного воздействия наноразмерных аэрозолей:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– высокий доказанный риск: электродуговая сварка и резка металлов; пирометаллургические процессы рафинирования металлов; производство и применение лакокрасочных наноматериалов; нанесение защитных нанопокрытий;</li> <li>– умеренный предполагаемый риск: текстильное производство; производство наночастиц оксидов металлов и порошковая металлургия; производство и применение углеродных нанотрубок; производство фармацевтической и косметической продукции;</li> <li>– газоаэрозольные выхлопы ДВС.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– повышение уровня экологической безопасности и комфортности среды обитания за счет применения наносистемной техники для мониторинга и защиты окружающей среды;</li> <li>– датчики сверхмалого обнаружения пожаров;</li> <li>– очистка сточных вод;</li> <li>– нейтрализация загрязнений в результате аварий и катастроф;</li> <li>– топливные композиции с использованием наноматериалов обеспечат возрастание удельной энергии топлива, повышенную эффективность регулирования процесса горения;</li> <li>– новые конструкционные и специальные материалы с уникальными свойствами;</li> <li>– технологические системы с уникальными свойствами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– загрязнение окружающей среды с непредсказуемыми результатами;</li> <li>– заболевания, связанные с загрязнением окружающей среды;</li> <li>– заражение окружающей среды наноматериалами в связи с техногенными авариями;</li> <li>– негативные последствия нанотехнологических процессов</li> </ul>
<b>Информационные коммуникации и инфраструктуры, искусственный интеллект</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– наносообщности нового класса материалов, систем;</li> <li>– неконтролируемые научные исследования в области нанотехнологий;</li> <li>– отсутствие необходимой научной и образовательной базы – от разработчиков до потребителей готовой продукции;</li> <li>– отсутствие должной нормативной, законодательной базы; неразвитость систем стандартизации, сертификации, наблюдения и контроля;</li> <li>– возможность создания искусственного интеллекта, антагонистичного по отношению к человеку;</li> <li>– возможность быстрого достижения результатов при отсутствии объективной информации для оценки последствий;</li> <li>– малая энергоёмкость, размеры.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– супервысокочастотные гига- и терагерцового диапазона радиоэлектронные средства связи;</li> <li>– автономные системы наземного, воздушного и космического базирования для сбора и передачи информации и т. д.;</li> <li>– устройства контроля и защиты документов от подделки;</li> <li>– системы контроля доступа в помещения на основе наносенсоров;</li> <li>– гиперкомпьютер, искусственный интеллект;</li> <li>– биологические роботы с интеллектом равным или превосходящим человеческий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– новые возможности для шпионажа, утечки информации, новые виды преступлений (нанохакеры);</li> <li>– злоупотребление информацией в личных или в корпоративных целях;</li> <li>– деятельность искусственного интеллекта;</li> <li>– власть роботов: неконтролируемое размножение через сборку из атомов автоматическими манипуляторами; через химический синтез – самосборку молекул в растворе; через биохимию с помощью рибосом-ассемблеров.</li> </ul>

Источники угроз и рисков	Позитивные возможности	Негативные возможности
<b>Терроризм, экстремизм</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– уникальные химические и физические свойства наноматериалов и нановеществ;</li> <li>– уникальные биологические свойства; наночастицы не распознаются защитными системами организма, не подвергаются биотранформации и практически не выводятся из организма;</li> <li>– многообразие форм и состава нанобъектов, сложность их идентификации; отсутствие стандартных индикаторов нанотоксичности, надежных данных об органах-мишенях для конкретных наноматериалов, методов выявления и количественного определения наночастиц;</li> <li>– малая энергоемкость, размеры.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– биосенсоры, в том числе типа «электронный нос» для обнаружения и идентификации сверхмалых количеств взрывчатых, наркотических и опасных веществ;</li> <li>– портативные и стационарные металлоискатели, детекторы движения на основе наносенсоров;</li> <li>– распределенные массивы наносенсоров типа «умная пыль» для охраны объектов;</li> <li>– магниторезонансные установки для точного анализа объемного содержания закрытых емкостей и грузов в аэропортах, на проходных, на таможне;</li> <li>– автоматические системы ведения огня по наземным и воздушным целям на основе наноустройств для защиты объектов особой важности.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– скрытность, миниатюрность оружия;</li> <li>– биологическое оружие;</li> <li>– сложность обнаружения и обезвреживания;</li> <li>– дистанционное оружие;</li> <li>– новые виды ядов, генетических препаратов</li> </ul>
<b>Военно-промышленный комплекс</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– уникальные химические и физические свойства наноматериалов и нановеществ;</li> <li>– уникальные биологические свойства;</li> <li>– многообразие форм и состава нанобъектов, сложность их идентификации; отсутствие стандартных индикаторов нанотоксичности, методов выявления и количественного определения наночастиц;</li> <li>– отсутствие должной нормативной, законодательной базы; неразвитость систем стандартизации, сертификации, наблюдения и контроля;</li> <li>– малая энергоемкость, размеры.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– малогабаритные эффективные боеприпасы и твердотопливные ракетные двигатели;</li> <li>– новые типы оружия высокой точности и поражающей силы;</li> <li>– средства защиты личного состава;</li> <li>– технические средства создания и противодействия «невидимости»;</li> <li>– автономные микросистемы слежения наземного, воздушного, морского, космического базирования;</li> <li>– супервысокочастотные радиоэлектронные средства связи и обнаружения.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– нанобиологическое и нанохимическое оружие;</li> <li>– создание нанооружия по расовому или генетическому признаку;</li> <li>– наносистемы уникального поражающего воздействия.</li> </ul>
<b>Социально-экономический комплекс</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– создание новых наноматериалов и устройств с уникальными свойствами может оказать непредсказуемое влияние на рынок полезных ископаемых. Следствием этого может быть изменения структуры мирового рынка сырья и экономический рост стран, не обладающих природным сырьем,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– удешевление производства промышленной, с/хозяйственной, химической и фармакологической продукции;</li> <li>– рост качества и доступности медицинских услуг;</li> <li>– повышение качества жизни;</li> <li>– создание этики человеко-машинного сообщества.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– международный терроризм; экстремизм; шантаж;</li> <li>– разрушение экономик государств, дисбаланс на сырьевых, энергетических рынках; перераспределение «ролей» в мире;</li> </ul>

Источники угроз и рисков	Позитивные возможности	Негативные возможности
<p>но владеющих нанотехнологиями;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– наноэнергетика может изменить мировой рынок энергоносителей и изменить геополитическую карту мира, выдвинув в лидеры одни страны и опустив другие;</li> <li>– увеличивающаяся зависимость человека от искусственной природы может привести к дополнительным психологическим нагрузкам;</li> <li>– рост стоимости специфических медицинских услуг, особенно связанных с продолжительностью жизни, может создать синдром обреченности.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– безработица, в том числе сокращение рабочих мест, падение спроса на некоторые профессии и т. д.;</li> <li>– синдром тотальной слежки;</li> <li>– привыкание к ничегонеделанию;</li> <li>– сверхзависимость от программ и компьютеров.</li> </ul>

*Оценка токсичности.* Токсичность наноматериалов изучена крайне недостаточно, но специалисты отмечают две важные особенности. Во-первых, определяющим в токсичности наноматериалов является развитие окислительного процесса (увеличение продукции свободных радикалов и активных форм кислорода и повреждение биологических структур – липидов, белков, ДНК). В этом случае основной характеристикой является площадь поверхности и зависящая от этой характеристики реакционная способность наночастиц. Во-вторых, наноматериалы нерастворимы в воде и биологических средах.

Кроме так называемого «окислительного стресса», наноматериалы обладают аллергенностью, нейро-, кардио-, нефро- и гепатотоксичностью. Существуют экспериментальные данные в отношении гено-, терато-, эмбриотоксичности, мутагенности, канцерогенности, негативного влияния на гормональный и иммунный статус [13-20]. Причем влияние наноматериалов отличается неоднозначностью.

В опытах на мышах выявлено, что даже однократная ингаляция углеродных трубок приводит к воспалению легочных тканей с некрозом, фиброзом и возможным канцерогенезом. А ультрадисперсные алмазы не обладают канцерогенными или мутагенными свойствами, не токсичны, проявляют очень высокую активность по отношению к патогенным вирусам, микробам и бактериям, интенсивно поглощая их благодаря высокой адсорбционной способности, являясь сверхактивными сорбентами, иммобилизаторами биологически активных веществ, способны резко усиливать действие лекарственных препаратов [14].

Результаты исследований Международного агентства по исследованию рака показали, что наночастицы  $TiO_2$  могут обладать канцерогенным действием для человека, а в опытах *in vivo* отмечался длительный период их полувыведения, поскольку они практически не выводятся почками. Наночастицы золота вызывают гибель эмбрионов гиреллы полосатой [15], наночастицы алюминия способны выступать в качестве молекулярного модулятора на уровне РНК и ДНК путем подавления или экспрессии определенных генов.

Также не изучено явление так называемых парадоксальных эффектов, проявляющееся при воздействии сверхмалых доз вещества.

*Оценка поступления, распределения и выведения наноматериалов из организма.* Наночастицы могут проникать ингаляционно, перорально, через неповрежденную кожу и волосяные фолликулы. Поступая в системную циркуляцию, наночастицы накапливаются во внутренних органах. Имеются данные, что при ингаляции часть наночастиц проникают непосредственно в головной мозг путем распространения по ходу обонятельного нерва.

Способы проникновения, циркуляции и выведения наночастиц в настоящее время изучаются, но специалисты отмечают практически полное отсутствие информации по этой теме [13].

Новое научное направление «нанотоксикология» уже сформировалось. Определены основные проблемы, планы исследований, издаются научные журналы, учебная литература. Однако до сих пор отсутствуют стандартные индикаторы нанотоксичности; надежные данные об органах-мишенях для конкретных наноматериалов; методы выявления и количественного определения наночастиц.

Развитие нанотехнологий приводит к необходимости концептуального решения новых проблем, что ведет к интенсивным исследованиям, формирующим новые разделы в различных науках, в том числе и в сфере нанобезопасности.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Роль нанотехнологий и наноматериалов со временем будет только увеличиваться, в то время как знания и подготовленность общества к результатам внедрения нанотехнологий очень низки. Такая ситуация может стать причиной серьезных проблем в обществе.

Необходимы научно обоснованные рекомендации по корректировке и экологизации нанотехнологий всех уровней – от теорий и научных разработок до внедрения в производство и потребления. Требуется международная координация и национальные «правила игры» – по аналогии с законодательством в генно-инженерной сфере.

Необходимо создание специализированного оборудования для выявления и количественного определения наночастиц, детектирования токсичности с учетом размеров, формы и т. д.

Нанотехнологии должны сопровождаться специальной информационной инфраструктурой и подготовкой специалистов, отвечающих требованиям экологии.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
2. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи = Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea. – М.: «Вильямс», 2006. – С. 240.  
<http://www.analog.com/en/mems/high-g-accelerometers/products/index.html>.
3. <http://www.analog.com/en/mems/high-g-accelerometers/products/index.html>.
4. Электронный журнал «КомпьютерПресс». – 2007. – № 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cpress.ru/>.
5. Нанотехнологии: Научно-информационный портал по нанотехнологиям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nano-info.ru/post/251>.
6. Journal of Physical Chemistry C. – 2007. – № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science.compulenta.ru/312119/>.
7. Известия науки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inauka.ru/news/article68643.html>.
8. Соловьев С.Н., Боду С.Ж., Трофимова Е.В. История инженерной деятельности. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – Николаев: НУК, 2008. – 352 с.
9. Нанотехнологии в мире. Дайджест российской и зарубежной прессы. Вып. 1 (09), декабрь-январь 2009, 48 с.
10. Протокол заседания Ученого совета Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека под председательством Г.Г. Онищенко. Протокол № 10 от 10.06.2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rospotrebnadzor.ru/documents/proto/4431/>.
11. Протокол V совместного заседания подкомиссии по вопросам научно-технического сотрудничества комитета по вопросам экономического сотрудничества российско-украинской межгосударственной комиссии, г. Москва, 30 сентября 2009 г.
12. Разработка международных стандартов безопасности применения нанотехнологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nano-info.ru/post/400>.
13. Методические подходы к оценке безопасности наноматериалов / Онищенко Г.Г., Арчаков А.И., Бессонов В.В. и др. // Материалы пленума «Методические проблемы изучения и оценки био- и нанотехнологий (нановолны, частицы, структуры, процессы, биообъекты) в экологии человека и гигиене окружающей среды», Москва. – 2007. – С. 4-25 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.erh.ru/nano/nanotex.php>.
14. Schrand A.M., Huang H. Carlson C et al. Are diamond Nanoparticles Cytotoxic? // The journal of physical chemistry. Toxicology letters, 2007. – 111. – 2-7.
15. Hoet P.M., Bruske-Hohlfeld I., Salata O.V. Nanoparticles – known and unknown health risks // Journal of Nanobiotechnology, 2004. – 2: 12.

16. Глушкова А.В., Радилов А.С., Рембовский В.Р. Нанотехнологии и нанотоксикология – взгляд на проблему. Сб. научн. трудов ФГУП «НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека». – С-Пб., 2008. – С. 11-15.
17. Резнев А.А. Нанотехнологии и безопасность. Rusnanotech // Архив Второго Международного форума по нанотехнологиям, 6-8 октября 2009 г. <http://rusnanotech09.rusnanoforum.ru/Home.aspx>.
18. Курляндский Б.А. О нанотехнологии и связанных с нею токсикологических проблемах // Токсикологический вестник. – 2007. – № 6. – С. 14-15.
19. Научные разработки НИУ РАМН – практическому здравоохранению // Под редакцией президента РАМН академика РАН и РАМН М.И. Давыдова. – М., 2008. – Вып. 4. – 224 с.
20. Химическая безопасность для устойчивого развития. Материалы V сессии Межправительственного Форума по химической безопасности. Заключительный отчет. – Будапешт, Венгрия, 25-29 сентября 2006 г. – 15 с.

Рецензенты:            д.т.н., профессор Каиров А.С.;  
                                  к.т.н., профессор Шумилов А.П.

© Соловьев С.Н., Боду С.Ж., 2010

*Статья поступила в редколлегию 03.06.2010 г.*