

УДК 532.62

НАНОМАТЕРИАЛЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Б.С. САЖИН, М.В. ЧУНАЕВ, М.Б. САЖИНА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина,
Всероссийский заочный институт текстильной и легкой промышленности)
E-mail: office@msta.ac.ru, office@roszitlp.ru

Даны классификация дисперсных материалов по размерам частиц, определение мезотехнологий и нанотехнологий, а также основные свойства наноматериалов и сведения по производству различных наноматериалов в нашей стране и за рубежом.

Classification of disperse materials by the particles size, the definitions of mesotechnologies and nanotechnologies, as well as the basic properties of nanomaterials and the data on manufacture of various nanomaterials in our country and abroad are given herein.

Ключевые слова: нанотехнологии, мезотехнологии, дисмембратор, свойства наночастиц, размеры наночастиц, бионаноматериалы, нанотоксичность.

Резко усиливающийся в последнее время интерес к исследованию микроэффектов (Рэля, Марангони и др.) и проведению процессов с дисперсными системами, содержащими частицы весьма малых размеров, привел к появлению таких направлений, как мезотехнологии (термин авторов статьи) и нанотехнологии. Мезотехнологии – обработка материалов с использованием измельчителей (дисмембраторов, дезинтеграторов), например, сушка комкующихся материалов в вихревом аппарате с дисмембратором [1], [2].

Условно можно дать следующую классификацию дисперсности материалов (по мере уменьшения размеров частиц): макро, мезо, микро (и субмикро), нано.

Примером технологии с изменением макродисперсных частиц является техника

и технология взвешенного слоя. На рис.1 представлен дисковый вихревой аппарат со встроенным дисмембратором для реализации мезотехнологий в производствах продуктов химической и микробиологической промышленности, а также некоторых волоконобразующих полимеров [2].

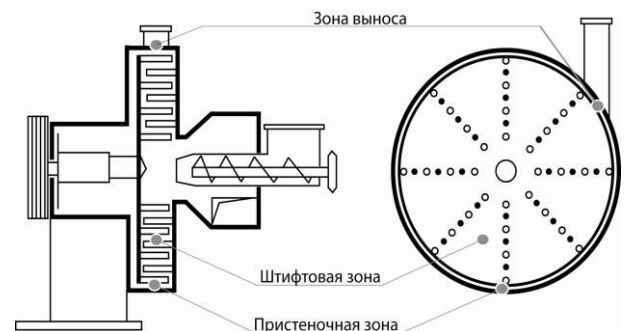


Рис.1

До сих пор нет однозначного определения нанотехнологий. По нашему мнению, наиболее приемлемыми определениями нанотехнологий являются определения академика Ж.И.Алферова [3] и ГК "Роснанотех". Ж.И.Алферов дает следующее определение нанотехнологий: "Если при уменьшении объема какого-либо вещества по одной, двум или трем координатам до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество, или это качество возникает в композиции из таких объектов, то эти образования следует отнести к наноматериалам, а технологии их получения и дальнейшую работу с ними – к нанотехнологиям".

По определению ГК "Роснанотех" нанотехнологии – совокупность методов и приемов, применяемых при изучении, проектировании, производстве и использовании структур, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и модификацию формы, размера, интеграции и взаимодействия составляющих их наномасштабных элементов (1-100 нм) для получения объектов с новыми химическими, физическими, биологическими свойствами.

Несмотря на то, что (как и во многих других случаях) первооткрывателями являются исследователи России (акад.П.А. Ребиндер, проф. Хинт и др.), мы отстали в правовой охране и в развитии нанотехнологий от передовых стран. Руководитель "Роспатента" Б.П.Симонов сказал: "На сегодняшний день у нас нет ни одного нанопатента, хотя в мире их зарегистрировано уже около 10000, и 2000 имеют правовую охрану на территории Российской Федерации". Тем не менее, реально нанотехнологии применяются в ряде отраслей промышленности [5], [9], в том числе в текстильной промышленности, например, в отделочных производствах [6], [7].

В настоящее время в мире производится порядка 2000 наноматериалов. Однако за 10 лет использования ни один вид наноматериалов не был изучен в полном объеме на безопасность. При этом приток инвестиций в данную область продолжается. Только в 2004 г. мировые инвестиции в сферу разработки нанотехнологий достигли \$10 млрд.: на долю частных доноров

(корпорации и фонды) пришлось примерно \$6,6 млрд. инвестиций; на долю государственных структур – около \$3,3 млрд. Мировыми лидерами по общему объему капиталовложений в этой сфере стали Япония и США. При этом в 2007 г. более половины всех средств пришлось на химическую промышленность. Наиболее активно развиваются наномедицина и нанобиология.

По оценкам специалистов объем продаж нанопродукции российского производства к 2015 г. вырастет до 300 миллиардов рублей, а объем платежей от ее экспорта – до 75 миллиардов рублей.

Многие свойства наночастиц, такие как повышенная биологическая и химическая активность, большая удельная поверхность и др., можно использовать для ранней диагностики заболеваний, для борьбы с раковыми опухолями и инфекционными заболеваниями, для адресной доставки лекарства, очистки окружающей среды, улучшения вкусовых и питательных свойств пищи. Степень влияния наночастиц на организм зависит от их размера, массы, химического состава, свойств поверхности и способов агрегирования.

Основной отличительной особенностью наноразмерных объектов является огромное количество числа частиц и суммарная площадь, приходящиеся на единицу их массы. Так, в 1 мг вещества при плотности 1 г/куб.см, в зависимости от размера (от 2 до 20 нм), содержится от 10^{17} до 10^{14} частиц (для справки – число клеток в организме человека $\sim 10^{14}$), а суммарная поверхность частиц диаметром 2 нм в 1г вещества 30 м^2 .

Вместе с тем, наряду с положительными свойствами материалов наноразмерного уровня имеет место и целый ряд негативных качеств, способных поражать живые организмы и приводить к серьезным заболеваниям. Так, высокая химическая активность наночастиц значительно изменяет их растворимость и каталитические свойства, а большая удельная поверхность способствует увеличению производства свободных радикалов и активных форм кислорода, которые могут повреждать биологические структуры, в частности,

ДНК. Крошечные размеры позволяют наночастицам встраиваться в мембраны, проникать в клеточные органеллы, изменяя функции биоструктур. Наночастицы размером 70 нанометров могут проникать в легкие, 50 нанометров – в клетки, 30 нанометров – в кровь и клетки мозга. Кроме того, наночастицы – хорошие адсорбенты, поэтому могут быть носителями большого числа токсинов. Защитные силы организма не всегда способны распознать наночастицы из-за их малого размера и, следовательно, вывести их из организма.

Классическим примером наноматериалов является асбест. Асбестовые волокна внутри пустые: их внутренний диаметр равен 13 нм при внешнем 26 нм. Уже в 1898 г. говорилось о вредном воздействии асбеста. В начале 20 века на ряде предприятий Франции и Англии в результате контакта с асбестом пострадали более 60% рабочих фабрик. И только спустя почти 100 лет по результатам подтвердившихся многочисленных случаев заболеваний легких, в том числе раковых заболеваний, в 2001 г. ВТО совместно с Евросоюзом запретили использование всех форм асбеста [8].

Уже сейчас человечество имеет дело с новыми продуктами на основе нанотехнологий, поэтому оценка возможных рисков при их производстве и использовании приобретает особую важность. Имеющиеся угрозы со стороны наноматериалов на организм человека нуждаются в детальном изучении и разработке соответствующих защитных мер, но не должны быть решающим препятствием для инноваций и технологических революций в многочисленных областях науки и техники, связанных с нанотехнологиями, в том числе в химии, металлургии, биотехнологии, медицине и текстильной промышленности.

Так, например, одним из перспективных направлений в развитии бионаноматериалов является создание набора "белкового конструктора" для построения белков с заданной архитектурой (трехмерной структурой) и "прививка" активного центра одного белка к другому белку.

Значительный интерес представляют белки паутины и их физико-химические

свойства. Установлено, что энергия разрыва каркасной нити паука (наноструктура) в 25 раз больше, чем стали.

Большие перспективы имеет применение нанотехнологий в текстильной промышленности, но здесь из-за контакта человека с текстильными наноматериалами особенно актуальными являются вопросы потенциальной токсичности наноматериалов. Вопросы потенциальной токсичности наноматериалов пока наиболее изучены (хотя и явно недостаточно) применительно к биотехнологиям, медицинской, фармацевтической и отчасти химической промышленности. Полученная информация крайне полезна и для других (в том числе текстильных) производств.

Факторы потенциальной токсичности наночастиц.

Главными факторами потенциальной нанотоксичности являются:

- большая удельная поверхность наноматериалов;
- увеличение химического потенциала веществ на межфазной границе высокой кривизны;
- небольшие размеры и разнообразие форм наночастиц;
- высокая адсорбционная и проникающая активность;
- высокая способность к накоплению в организме.

Очень высокая удельная поверхность наноматериалов увеличивает их адсорбционную емкость, химическую реакционную способность и каталитические свойства. Это может приводить, в частности, к увеличению продукции свободных радикалов и активных форм кислорода и далее к повреждению биологических структур (липиды, белки, нуклеиновые кислоты, в частности, ДНК).

Существенно изменяется растворимость, реакционная и каталитическая способность наночастиц и их компонентов. Эти эффекты могут быть использованы для создания биологически активных препаратов нового поколения, но они же несут и потенциальные риски.

Например, степень влияния размера наночастиц TiO_2 на интенсивность воспа-

лительного процесса пропорциональна не массе, а суммарной активной площади частиц, содержащихся в единице объема аэрозоля.

Из-за высокоразвитой поверхности наночастицы обладают свойствами высокоэффективных адсорбентов. Это делает наноматериалы потенциально полезными для удаления вредных продуктов. Однако возможна и адсорбция на наночастицах различных контаминантов и облегчение их транспорта внутрь клетки, что резко увеличивает токсичность последних. Многие наноматериалы обладают гидрофобными свойствами или являются электрически заряженными, что усиливает как процессы адсорбции на них различных токсикантов, так и их проникающую способность.

Причиной высокой способности к накоплению в организме является малый размер многих наночастиц, которые не распознаются защитными системами организма, не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма.

Макрофаги "не видят" размеры < 70 нм – это ведет к накоплению наноматериалов в растительных, животных организмах, а также микроорганизмах, передаче по пищевой цепи, что, тем самым, увеличивает их поступление в организм человека.

Применение новых типов материалов сопряжено с определенными экологическими трудностями, например, с проблемой аккумуляции наночастиц в окружающей среде и методами ее очистки. Накопление разных типов наночастиц, используемых в различных изделиях [9], происходит в воздухе, поверхностных водах, грунтовых и сточных водах, почвах, в отходах производств. Это относится к производствам красителей и покрытий, агрохимическим препаратам, пищевым упаковкам, фармакологическим препаратам, текстильным материалам, катализаторам и др., где имеются типы наноматериалов: TiO_2 , ZnO , Ag , SiO_2 , полиуретан, наноглины и др.

Пути проникновения наночастиц в организм.

Основные возможные пути попадания наночастиц в человеческий организм – это

желудочно-кишечный тракт, кожа и дыхательные пути.

Проникновение наночастиц через органы дыхания возможно, если их аэродинамический диаметр меньше 10 микрон. Частицы размером 1 нм не могут достигнуть легочных альвеол; они депонируются в верхних областях легких. Частицы размером 5 нм депонируются относительно равномерно в носу и зеве, трахее и бронхиолах и, наконец, в альвеолах. Более 50% наночастиц, имеющих размеры 20 нм, скапливаются в альвеолах.

Для изучения распределения наночастиц в тканях различных частей организма может эффективно применяться флуоресцентная микроскопия. Проводились исследования по введению подопытным образцам наночастиц с флуоресцентным маркером в виде суспензии в дозировке 100 мг/кг (в эксперименте использовались наночастицы Fe_2O_3 , покрытые SiO_2). Установлено, что в наибольшей степени скопление наночастиц наблюдается в головном мозге, почках, печени, сердце и селезенке. Меньшее количество наночастиц накапливается в легких. Продолжительность нахождения наночастиц в органах человека зависит от размера частиц и вида наноматериалов, например, для карбида вольфрама (если судить по экспериментам на животных) она достигает 25 недель [9].

Несмотря на наличие в нашей стране ряда законодательных актов по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения, по качеству и безопасности пищевых продуктов, регистрации новых пищевых продуктов, материалов и изделий [10], до сих пор отсутствует законченная система нанобезопасности и сертификации продукции наноиндустрии, обеспечивающая комплексный подход в изучении и предупреждении возможного негативного воздействия используемых наноматериалов как в отдельных отраслях промышленности, так и в повседневной жизни человека. Некоторые меры в этой области в последнее время уже принимаются на государственном уровне [11], [12].

Для комплексного решения данной проблемы необходимо следующее:

1. Разработка методологии и создание средств идентификации и обнаружения действия техногенных наночастиц на живые организмы.

2. Разработка методологии и создание средств контроля для оценки действия наноматериалов на аппарат наследственности.

3. Разработка нормативно-методического обеспечения и средств контроля содержания наночастиц в пище, питьевой воде, воздухе.

4. Разработка нормативно-методического обеспечения и средств контроля содержания наночастиц в продукции (пища, лекарства, парфюмерия и т.д.).

5. Создание нормативно-правового и методического обеспечения системы безопасности в процессе производства, применения и утилизации наноматериалов в РФ.

6. Создание Центра метрологического обеспечения по направлению нанобиотехнологии.

Необходимо отметить основные преимущества и недостатки широкого применения нанотехнологий на базе наноматериалов.

Ожидаемые выгоды от использования нанотехнологий:

– создание новых материалов (в том числе текстильных) с принципиально новыми свойствами;

– повышение на порядки интенсивности и кардинальное снижение энергоемкости технологических процессов;

– улучшение состояния окружающей среды за счет снижения материалоемкости изделий;

– создание компактных и мощных источников электрической энергии;

– революционные преобразования в компьютерной индустрии;

– расширение возможностей человеческого организма;

– улучшение защищенности граждан от неблагоприятных воздействий;

– новые методы диагностики и лечения заболеваний, новые лекарства.

Ожидаемые риски от использования нанотехнологий:

– проблемы с влиянием наноматериалов на здоровье;

– новые проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды;

– появление искусственной жизни с непонятными последствиями;

– безработица и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sazhin B.S., Sazhin V.B.* // Scientific Principles of Drying Technology. – New York. Begellhouse.

2. *Сажин Б.С., Сажин В.Б., Отрубянников Е.В., Кочетов Л.М.* Теоретические основы химической технологии. РАН. – 2008, №6. С.638...653.

3. *Алферов Ж.И.* Микросистемная техника. — 2003, №8. С.3...13.

4. Материалы Международной конференции по химической технологии, ХТ'07, РАН. – Т.2. С.7...34.

5. Материалы выездной сессии Научного совета РАН по научным основам химической технологии. – Новосибирск, 2009. С.60...62.

6. Материалы Международной конференции: Нанотехнологии в индустрии текстиля. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006.

7. Материалы Научно-технической конференции: Современные технологии и оборудование текстильной промышленности, Текстиль-2009. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2009. С.171...174,211.

8. Материалы конференций по вопросам нанотехнологий МГУ им. М.В.Ломоносова, 10.02.2009-19.05.2009.

9. Материалы исследований ИМЕТ РАН, 2008-2009.

10. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2000 №988 "О государственной регистрации новых пищевых продуктов, материалов и изделий".

11. Федеральный закон от 19.07.2007 №139-ФЗ "О российской корпорации нанотехнологий".

12. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации №54 от 23.07.2007 "О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы"

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 03.02.10.