

Глава 10. Нанотехнологии – путь к овладению микромиром

10.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАПРАВЛЕНИЯ

Определение и параметры. Хотя представления о нанотехнологиях появились сравнительно недавно, человечество активно их использует уже с давних пор. Свойства многих материалов, изготавливаемых в древности, таких как различные эмали, красящие материалы, дамасская сталь и т. п., теперь объясняют особенностью их наночастиц. Что такое нанотехнологии и какую роль они сыграют в грядущей кибернетической революции?

Нанотехнологии – широкое понятие, которое весьма условно можно определить как междисциплинарную область фундаментальной и прикладной науки и основанного на ней производства, разрабатывающую теорию и практические методы исследования, анализа и синтеза, а также производства наноматериалов путем контролируемого манипулирования атомами и молекулами. В отличие от химических реакций, в которых используется одновременно громадное количество частиц, в наноисследованиях работа ведется со сравнительно небольшим их количеством, вплоть до использования отдельных частиц. Из-за обширности понятия нанотехнологий возникает проблема не только их определения, но и классификации нанопродукции, для уточнения которой в Еврокомиссии даже была создана специальная группа.

Сейчас в техническом комитете ISO/TK 229 под нанотехнологиями подразумевается следующее (ISO 2005):

- знание и управление процессами, как правило, в масштабе 1 нм, но не исключаяющее масштаб менее 100 нм в одном или более измерениях;
- использование свойств объектов и материалов в нанометровом масштабе, которые отличаются от свойств свободных атомов или молекул, для создания более совершенных материалов, приборов, систем, реализующих эти свойства.

Таким образом, главное в нанотехнологиях – использование частиц не больше определенного размера (до 100 нанометров в одном измерении; один нанометр равен одной миллиардной доле метра, или 10^{-9} м).

Почему популярность получили именно наночастицы? Оказалось, что на этом уровне ярко проявляется фундаментальное свойство материи – реализация в различных ее системах часто диаметрально противоположных свойств. Например, на макроуровне золото является проводником, а на наноуровне – изолятором. Частицы некоторых материалов размерами от 1 до 100 нанометров проявляют очень хорошие каталитические и адсорбционные свойства, другие материалы демонстрируют удивительные оптические свойства. На наноуровне изменяется отношение поверхности к объему, меняются свойства материи. В природе существуют наносистемы, например белки и нуклеиновые кислоты, которые способны организовываться в особые структуры, приобретая при этом новые сложные свойства.

Важнейшая особенность нанонауки в том, что она берет курс на работу непосредственно с атомами – составными частицами материи (1 нанометр равен условной конструкции из 10 атомов водорода, выстроенных в ряд). В настоящее время ученые уже научились управлять отдельными атомами и объединять их в блоки. Другими словами, в перспективе, чтобы получить изделие из дерева, теоретически не нужно пилить дерево, а можно заставить атомы «построить» его. Такой подход открывает фантастические возможности создания новых материалов с заданными свойствами. Перспективу этого направления озвучил нобелевский лауреат Р. Фейнман в своем докладе «Там, внизу, много места», сделанном им в 1959 г. в Калифорнийском технологическом институте. Ученый предположил, что возможно механическое перемещение одиночных атомов при помощи манипулятора соответствующего размера, по крайней мере, такой процесс не противоречил бы известным физическим законам. Фейнман предложил способ поатомной сборки объектов, что позволило бы при производстве сократить расходы на материал и затрачиваемую энергию. Это направление было активно поддержано наукой, началась эра открытия нанокompозитных материалов. В настоящее время в качестве атомных манипуляторов предлагаются очень разнообразные и весьма остроумные средства и силы, но до решения вопроса еще очень далеко.

10.2. НАНОТЕХНОЛОГИИ КАК РЕЗУЛЬТАТ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ. РОЖДЕНИЕ НАУКИ И НАПРАВЛЕНИЯ

Как уже было сказано, первые практические шаги в создании нанотехнологий, как и идейное осмысление этого направления, были сделаны в 1950-е гг. (а сам термин, по некоторым данным, впервые был употреблен в 1974 г. японским физиком Норио Танигути). В 1968 г. А. Чо и Дж. Артур, сотрудники научного подразделения американской компании Bell, разработали теоретические основы нанопереработки поверхностей (см.: Рыбалкина 2005: 21). Иными словами, нанотехнологии стали одним из результатов кибернетической революции. Однако довольно долго их затмевали другие важные ее результаты. Тем не менее скоро стало ясно, что в нанонаправлении таятся огромные возможности.

В целом характеристики и возможности нанотехнологий как нельзя лучше соответствуют концепции кибернетической революции, что неудивительно, поскольку они являются ее порождением. А этапы развития нанотехнологий как нельзя лучше укладываются в периодизацию кибернетической революции.

1. Начальная фаза кибернетической революции (1950-е – начало 1990-х гг.) – период формирования направления. В отношении нанотехнологий это период с 1959 г., когда Р. Фейнман выступил с идеей сборки из наночастиц новых материалов, до 1990-х гг., когда идея нанотехнологий стала очень популярной. Этот период характерен довольно многочисленными открытиями, большинство из которых, однако, в то время еще не получили значительного применения¹.

¹ Например, Д. Н. Гаркунов и И. В. Крагельский в 1956 г. описали эффект безызносности. Они обнаружили явление самопроизвольного образования тонкой пленки меди в парах трения между бронзой и сталью у деталей самолетов. Эта пленка снижала износ и уменьшала силу трения в 10 и более раз. Толщина пленки не превышает 100 нм (подобная система работает в суставах). Это пример того, что физические явления при опре-

На данном этапе развитие нанотехнологии во многом определялось созданием устройств зондовой микроскопии и приборов, адекватных размерам направления. Эти устройства являются своеобразными глазами и руками нанотехнолога. В частности, в 1981 г. немецкие физики создали микроскоп, с помощью которого можно увидеть отдельные атомы, а в 1985 г. американские физики разработали технологию, позволяющую точно измерять частицы диаметром в 1 нанометр.

Процесс быстрого практического роста интереса к нанотехнологиям начался на исходе начальной фазы кибернетической революции, в 1980-х гг., с выходом книг Э. Дрексlera «Машины созидания: грядущая эра нанотехнологии» (Drexler 1987²) и «Наносистемы: молекулярные машины, производство и расчеты» (*Idem* 1992).

2. Модернизационная фаза (период распространения инноваций) – это период становления «современной нанотехнологии» (1990–2020/30-е гг.). Начало завершающей фазы кибернетической революции в отношении нанотехнологий было связано с масштабным распространением самого термина, который активно подхватили СМИ. Слово «нано» стало особенно часто звучать с экранов телевизоров и мелькать на страницах газет с началом «гонки нанотехнологий». Это означало, что многие страны начали рассматривать нанотехнологию как стратегическую отрасль будущей гегемонии (наряду с другими: биотехнологиями, «зеленой» энергетикой и т. д.). Ее конечная задача – завоевать рынок промышленного производства новых, важных и востребованных технологий, обеспечив себе таким образом долгие годы экономического роста и развития.

Гонка нанотехнологий началась с подачи США, которые включились в соревнование первыми. За ними последовали Япония и западноевропейские страны, затем подтянулись Китай, Южная Корея, Россия, стартовые позиции которой в этой области считаются достаточно хорошими (Дементьев 2008). Соответственно глобальные правительственные инвестиции в эту область за восемь лет с 1997 по 2005 г. увеличились почти в 10 раз, с 432 млн до 4,1 млрд долларов (Alencar *et al.* 2007: 1662). Сегодня десятки стран так или иначе поддерживают данное направление.

При президенте Б. Клинтоне началась разработка первой программы Национального научного фонда США по изучению проблем нанотехнологии. Объясняя заинтересованность в развитии нанотехнологий, Клинтон, в частности, заявил: «Я выделяю 500 млн долларов в текущем финансовом году (2001. – *Авт.*) на государственную нанотехнологическую инициативу, которая позволит нам в будущем создавать новые материалы (превосходящие по характеристикам существующие в тысячи раз), записать всю информацию Библиотеки Конгресса на крошечном устройстве, диагностировать раковые заболевания при появлении нескольких пораженных клеток и добиться других поразительных результатов. Предлагаемая инициатива рассчитана, по крайней мере, на 20 лет и обещает привести к важным практическим результатам» (цит. по: Борисенко, Толочко 2008; см. также: Lane, Kalil 2005). Практически одновременно по поручению правительства аналогичную программу начали разрабатывать в Японии. Там была намечена серия проектов, направленных на разработку приборов нанометрового размера, и самым значительным из них стал проект Angstrom Technology

деленных условиях и наноразмерах обретают новые, неизвестные ранее свойства (здесь трение не препятствует движению, а способствует ему).

² Русский перевод М. Свердлова см.: http://scorcher.ru/art/long_life/nano.htm.

Project с объемом финансирования в 185 млн долларов. Он был рассчитан на 10 лет, в его реализации участвовали 80 фирм.

Страны Западной Европы также начали проводить работы в области нанотехнологий в рамках соответствующих национальных программ.

В ФРГ нанотехнологические изыскания поддерживаются в основном Министерством образования, науки, исследований и технологий. В Великобритании руководство этим направлением осуществляет Совет по физико-техническим исследованиям, а также Национальная физическая лаборатория. На английском языке начинают издаваться первые специализированные журналы *Nanotechnology* и *Nanobiology*. Во Франции стратегию развития нанотехнологий определяет Национальный центр научных исследований. Там открылся клуб нанотехнологов, объединяющий ученых и промышленников различных отраслей.

В 1990–2000-е гг. нанотехнологии становятся областью промышленного производства, в процессе нанотехнологической гонки между странами создаются множество программ и целые институты нанотехнологий. Резко увеличивается количество товаров на основе нанотехнологий. Растут инвестиции в исследования, наноматериалы проникают в самые различные области – технику, медицину, транспорт, аэрокосмическую и электронную промышленность и т. д. Однако этот период (по крайней мере до 2008 г.) в основном характеризовался производством и применением нанодисперсных порошков. В целях модифицирования свойств базовых материалов их вводили в самые различные конструкционные материалы: металлы и сплавы, полимеры, керамику, а также в косметику, лекарства и т. д. В настоящее время это достаточно примитивное поколение наноматериалов уже широко освоено производством, и их можно обнаружить во многих товарах. Однако совсем не так много наноразработок нашло свое применение в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Нанотехнология – одна из наиболее интенсивно растущих отраслей экономики, а также научно-технических исследований (Atkinson 2003; Das 2007; Davis 2013; Drexler 2013; Kostoff *et al.* 2007; Munari, Toschi 2014; Phillips, Su 2009; Islam, Miyazaki 2009; 2010).

По данным аналитиков ВСС Research (2012), объем продаж продуктов нанотехнологий в 2009 г. составил 11,67 млрд долларов. Сейчас он составляет уже около 20 млрд долларов и обещает быстро расти и далее (хотя методики подсчета производства этой отрасли не универсальны и сильно разнятся, на завышение объемов влияет также стремление представить хорошую отчетность).

Ниже мы приводим прогнозы на оставшийся период модернизационной фазы и на завершающую фазу кибернетической революции (2030–2070-е гг.). А следующий параграф посвящен анализу того, какие характеристики кибернетической революции уже проявились в нанотехнологиях к настоящему времени.

10.3. КАК ПРОЯВЛЯЮТСЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ В РАЗВИТИИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Создание новых материалов с заданными свойствами. Одна из важнейших задач, стоящих перед нанотехнологией, – заставить молекулы группироваться определенным способом, самоорганизовываться, чтобы в итоге получить новые материалы или устройства. Этой проблемой занимается раздел химии – супра-

молекулярная химия. Она изучает взаимодействия, которые способны упорядочить молекулы определенным способом, создавая новые вещества и материалы. Существуют различные процессы самоупорядочивания, одним из которых является электрохимическое анодное оксидирование (анодирование) алюминия, а именно та его разновидность, что приводит к формированию пористых анодных оксидных пленок. В настоящее время открыты различные технологии в области создания наноконпозиционных конструкционных материалов с различными свойствами, например защитными, самоочищающимися, антибактериальными, экономящими энергию и тепло и т. д.

Рост самоуправляемости систем. Самоорганизация наночастиц и самоорганизующиеся процессы. Глубокая связь между свойствами нанотехнологий и ростом самоуправляемости систем обусловлена возможностью поставить процессы самоорганизации материи на службу человеку, заставив молекулы и атомы упорядочиваться определенным пространственным и структурным способом. А получение новых материалов с заданными свойствами – прямой путь к тому, чтобы заставить работать те или иные системы в заданном режиме. Неудивительно, что нанотехнологии дают яркие примеры различных «умных» технологий, которые могут стать компонентами самоуправляемых технологий в будущем. Один из таких примеров – системы самоочистки с помощью нанопокровов. Например, самоочистка сосудов от бактерий или механизм самоочищения стекла автомобиля, обработанного специальными нанополитолами. Нанопокровы модифицируют поверхность таким образом, что капля воды катится по ней, собирая всю грязь, тогда как на гладкой поверхности, наоборот, капля воды, сползая, оставляет грязь на месте. Это называется «лотос-эффект». Идея позаимствована у природы: у растения лотос листья покрыты мельчайшими восковыми выпуклостями и впадинами, так что вода стекает по ним, полностью смывая грязь.

Миниатюризация – явление, которое характерно для многих отраслей современного прогресса. Мы видим, что большинство приборов, гаджетов, профессиональных инструментов и т. д. становится компактнее и удобнее. По оценкам Р. Курцвейля, каждое десятилетие мы уменьшаем предметы на 5,6 % линейного размера (Курцвейль 2003). Для нанотехнологий миниатюризация – наиболее очевидная характеристика. Современные процессоры состоят более чем из миллиарда транзисторов, но наноустройства смогут увеличить это число еще в 1000 раз. В настоящее время идет гонка в отношении уменьшения размерности технологического процесса для производства полупроводников и чипов, измеряемого в нанометрах. Некоторые изготовители перешли уже к техпроцессу в 45, 32, 28 нанометров. Компания Intel использует для планшетов и смартфонов 32 нм техпроцесс, а компания Qualcomm для производства чипов – 28 нм техпроцесс. Компания Intel начинает осваивать уже 22 нм техпроцесс. За последние десять лет размерность технологических процессов снизилась примерно втрое (с 90 нм до 32 нм). Появилась информация, что компания Samsung освоила техпроцесс в 14 нм и даже представила первую в мире технологию производства полупроводников по 10 нм техпроцессу. Объявляются планы о достижении в течение ближайших лет

размерности до 7 или даже 5 нм.³ Удастся ли это и можно ли благодаря такому снижению размерности добиться создания принципиально нового поколения компьютеров, пока неясно. Пока узкое «бутылочное горлышко», в которое пытаются «протиснуться» данные, снующие между накопителем и центральным процессором, потребляет большое количество энергии и вырабатывает много тепла, ограничивает дальнейшие усовершенствования (Хель 2015).

Нанотехнологии, энергоэффективность и экономия. Многие нанотехнологии направлены на сокращение затрачиваемой энергии, а также на создание альтернативных источников энергии. Так, снижение размерности техпроцесса в процессорах не только увеличивает быстродействие электронных устройств и плотность размещения элементов на чипе, но и уменьшает потребление ими энергии. А, например, «умное остекление» помещений способно реагировать на изменение в освещенности и температуре окружающей среды соответствующим изменением прозрачности и теплопроводности. Использование нанотехнологий способно придавать совершенно уникальные свойства предметам и веществам. Например, мы уже упоминали в *Главе 6*, что изобретено противобликовое водоотталкивающее (супергидрофобное) стеклянное покрытие, которое никогда не запотеет и остается кристально ясным даже в туман.

Есть много различных проектов в области нанотехнологии, которые сулят существенную экономию ресурсов и энергии. Так, широкое применение электронной бумаги многоцветного пользования могло бы сократить уничтожение лесов. Возможно даже получать энергию при экологической очистке сточных вод с помощью нанотехнологий⁴. Нанотехнологии уже активно применяют в сельском хозяйстве, в частности в изготовлении кормов, что позволяет значительно снизить их расход и обеспечить лучшую усвояемость. В растениеводстве применение нанопорошков, совмещенных с антибактериальными компонентами, обеспечивает повышение устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и приводит к повышению урожайности многих продовольственных культур, например картофеля, зерновых, овощных и плодово-ягодных.

10.4. ПРОГНОЗЫ

10.4.1. Окончание модернизационной фазы

Эйфория от возможностей нанотехнологий

Перспективы, которые открывают возможности использования нанотехнологий, интерес к которым подогревается определенными СМИ, в сочетании с очень быстрым первоначальным ростом nanoиндустрии вызвали эйфорию прогнозов, большинству из которых явно уже не суждено сбыться. Приведем некоторые из них.

Согласно прогнозам Министерства торговли Великобритании, к 2015 г. спрос на нанотехнологии составит не менее 1 трлн долларов в год, а численность специ-

³ Прошла также информация, что *Intel* и *Micron* разработали абсолютно новую архитектуру для хранения данных, 3D XPoint, которая работает в тысячу раз быстрее традиционных систем на базе NAND.

⁴ Китайские ученые создали систему, которая может вырабатывать электричество, разлагая органические вещества, одновременно с этим очищая от органических соединений сточные воды. Янбяо Лю (Yanbiao Liu) с коллегами разработал фотокаталитическую топливную ячейку на основе нанотрубок, которая, используя энергию солнечного света, разрушает содержащиеся в сточных водах органические соединения и конвертирует химическую энергию в электрическую.

алистов, занятых в данной отрасли, вырастет до 2 млн человек. Применение нанотехнологий в косметологии будет быстро расширяться и, по оценке основателя консалтинговой компании в области нанотехнологий SMP Scientifica Т. Харпера, уже к 2012 г. общий оборот рынка нанотехнологической фармацевтики должен был составить около 3,2 трлн долларов США (Балабанов 2010). По мнению руководства фирмы Lux Research, к 2014 г. доля оборота нанотехнологий в медицинской продукции должна была составить 16 %, в фармацевтической промышленности – до 23 % (Там же).

Появление такого рода прогнозов вполне естественно. Людям хочется, чтобы инновации появлялись и внедрялись быстрее, в то же время они не замечают огромных трудностей на этом пути и не принимают в расчет экономические кризисы, которые меняют планы.

Ряд аналитиков предполагали, что уже к 2015 г. нанотехнологии будут применяться очень широко и появятся комплексы наносистем, а после 2020 г. откроется эпоха «радикальных наносистем» в виде нанороботов и др. И что на данном этапе произойдет развитие нанобиотехнологических и наномедицинских систем, которые существенно изменят жизнь человека, прежде всего значительно увеличив ее продолжительность.

Однако к 2015 г. прогнозы не подтвердились, и непохоже, что они оправдаются в отношении 2020 г. Для нас это не только не удивительно, но и вполне закономерно. Напомним, что теория производственных революций предсказывает, что хотя на модернизационной фазе и возникает множество инноваций, они в основной своей массе не являются столь прорывными – скорее развивающими и улучшающими, а многие вообще оказываются мало востребованными⁵. Одновременно готовятся открытия, которые станут основой для прорыва. Но прорыв, как мы уже много раз говорили, произойдет позже. В отношении нанотехнологий он, скорее всего, придется на 2030–2050-е гг. Успехи нанотехнологий, которые ряд исследователей относит к 2020-м гг., таким образом, будут иметь место (но, конечно, далеко не все из них) на одно-три десятилетия позже. Тем не менее и в ближайшие десятилетия получат развитие различные уже апробированные сегодня достижения в разных областях, в том числе в сельском хозяйстве. В частности, в настоящее время создаются микробные препараты на основе ассоциативных, эндофитных и симбиотических бактерий. Эти препараты предназначены для использования в качестве продуцентов и транспортеров в растениях различных ферментов и низкомолекулярных биологически активных веществ (нанообъектов). Последние способны улучшать адаптацию растений к неблагоприятным факторам среды: загрязнению токсичными металлами, засолению, повышенной кислотности и т. д. Принципиально разработан комплексный подход к процессу получения высококачественного посевного материала. Он состоит в том, что биологически активные и фитосанитарные компоненты, предназначенные для повышения адаптации семян и растений к реальным негативным условиям окружающей среды, конструируются в виде полифункциональных наночипов.

⁵ Вспомним, сколько удивительных машин, в том числе даже вычислительных, было изобретено в XVII–XVIII вв., но очень многие из них либо вообще не были созданы, либо были произведены в единичных экземплярах.

10.4.2. Нанотехнологии как составная часть прорыва (и МАНБРИК-комплекса) в завершающей фазе кибернетической революции

В будущем развитии нанотехнологий прослеживаются все характеристики кибернетической революции: создание технологий управляемых систем (в которых нанороботы самостоятельно или как часть более сложной технологии будут играть важную роль), производство новых материалов, экономия материалов и энергии (путем, например, доставки минимальных порций лекарства непосредственно в пораженную область или даже в отдельные клетки), миниатюризация, точечность действий, активное взаимодействие с окружающей средой и т. д.

Связь с медициной: большие потенции. Несмотря на серьезные успехи нанотехнологий в электронике и других отраслях, наиболее значительный прорыв в их использовании, мы полагаем, произойдет сначала в медицине, что даст дополнительный импульс к развитию в других областях. Отдельные направления слияния этих отраслей мы уже рассматривали в предыдущих разделах. В целом перспективы такого слияния видны уже сегодня. Мы уже говорили о нанобиоструктурах, способных транспонировать по организму медицинские нанодатчики, лекарственные препараты и даже ремонтные клетки. По некоторым прогнозам, они будут разработаны в ближайшие 10–12 лет и уже через 15 лет войдут в повседневную практику. Но, вероятно, это произойдет позже. Нанотехнологии уже используются в диагностике и проведении очень точных хирургических операций, таких как «нанонейровязание» разорванного глазного тракта, кардиохирургические операции и т. д. Несомненно, важным направлением развития нанотехнологий станет активное использование их в диагностике и создании искусственного иммунитета. Очень перспективным будет развитие нанотехнологий при создании материалов, имитирующих свойства биологических, например костную ткань.

Одно из направлений, на котором сконцентрированы огромные усилия нанотехнологии, – борьба с раком. Можно прогнозировать, что лечение рака станет возможным, как только найдется способ точечного воздействия на отдельные клетки организма⁶.

Вот несколько примеров новых направлений борьбы с онкологией, основанных на нанотехнологиях. Так, разрабатывается система лечения раковой опухоли на основе нагревания наноразмерных частиц оксида железа, которые вводят в больную ткань и воздействуют магнитным полем, в результате чего частицы нагреваются и разрушают клетки. Проблема данного метода – точное введение частиц оксида железа в клетку опухоли. Пока он проходит стадию клинических испытаний, однако продолжительность жизни больных, прошедших курс, значительно превышала сроки, предполагаемые врачами. Распространено лечение онкологическими заболеваниями с помощью герцептина, ставшего спасением для значительного числа больных раком молочной железы. Группа американских ученых изобрела специальную модель капсулы из пори-

⁶ Конечно, не исключено, что рак победят и другим способом, например, не уничтожая сами раковые клетки, а с помощью метода борьбы с метастазами. Исследования ведутся по разным направлениям. Возможно, подсказку даст сам организм. Установлено, например, что в тканях сердца метастазы не возникают: очевидно, существуют механизмы защиты, которые еще предстоит понять (Marx 2013).

стого кремния, в которую помещаются препараты на основе герцептина и адресно отправляются в больную клетку. Сейчас эта методика также проходит клинические испытания. Ученый из США М. Дэвис изобрел специальный модуль из вещества, которое напоминает по составу сахар и поэтому не отторгается и не выводится организмом. Лекарство помещается в данный модуль и может храниться в организме неделю. Модуль ищет опухоль по кровеносной системе. Раковые клетки более кислые, чем обычные, и, находя такие клетки, капсула раскрывается, выпуская сильное лекарство. Это хороший пример биотехнологической самоуправляемой системы.

Будущее направление медицины – развитие методов диагностики и их удешевление. Важную роль здесь могут сыграть наночипы, о которых мы уже говорили. Начнут применяться нанороботы, которые будут не только выполнять лечебные функции, но и смогут доставлять питание непосредственно к клеткам человека и выводить продукты жизнедеятельности. Нанороботы могут использоваться для решения широкого круга задач, включая диагностику и лечение болезней, борьбу со старением, для перестройки некоторых частей организма человека, изготовления различных сверхпрочных конструкций (Балабанов 2010).

Понятно, что часть многообещающих технологий, на которые сегодня опирается прогнозирование, в дальнейшем окажутся не столь успешными. Но нет никакого сомнения, что использование наноматериалов, нанороботов, пригодных для исследования, и других нанотехнологий создаст важные предпосылки для будущей эпохи управляемых систем в области медицины.

Связь с биотехнологиями и сельским хозяйством. Другое важное направление нанотехнологий – исследования в области применения нанобиотехнологий. К ним относятся самые разные технологии, например, по направленному белковому синтезу для получения пептидов с желаемыми иммуногенными свойствами. Это позволит создать искусственный иммунитет, о котором мы уже говорили, разработать множество вакцин. Ведутся исследования по получению наночастиц генно-инженерных протеинов, разработка биочипов и тест-систем для биологического скрининга, иммунологического мониторинга и прогнозирования опасных и экономически значимых инфекционных заболеваний животных.

Можно предположить, что с помощью нанотехнологий и использования роботов разработка и применение биотехнологий существенно продвинуется в направлении создания саморегулируемых систем ведения сельского хозяйства, где сельскохозяйственные операции будут осуществляться в значительной мере в автономном режиме. Возникнет множество технологий, способствующих этому. Так, внедрение мембранных систем очистки, а также специальных биоцидных покрытий и материалов на основе серебра будет способствовать упрощению и повышению уровня содержания сельскохозяйственных животных и обеспечению их качественной водой. Предполагается, что применение нанотехнологий позволит изменить технику возделывания земель за счет использования наносенсоров, нанопестицидов и системы децентрализованной очистки воды. Нанотехнологии сделают возможным лечение растений на генном уровне, позволят создать высокоурожайные сорта, особо стойкие к неблагоприятным условиям.

Различные перспективы применения нанотехнологий в кибернетической революции и на зрелых этапах научно-кибернетического принципа производства. Перспектив у нанотехнологий много. Будут развиваться компо-

ненты наноэлектроники, фотоники, нейроэлектронных интерфейсов и наноэлектромеханических систем. Затем на базе полученных результатов планируется осуществить переход к управляемой самосборке наносистем, созданию трехмерных сетей, нанороботов и т. д. Говорят также об использовании молекулярных устройств, атомном дизайне и т. д. Особенно заманчивые перспективы видятся в развитии наномеханики, наномашиностроения и наноробототехники.

Уже довольно давно возникла идея компьютеров, где создание и хранение информации осуществляется не посредством особого состояния среды (магнитной, электрической, оптической), а с помощью нанотехнологий, например замены кремния, основного сегодня материала в производстве полупроводниковых устройств, углеродными нанотрубками. В этом случае 1 бит информации может быть записан в виде скопления, например, 100 атомов. Это на порядки уменьшило бы их размеры и при этом увеличило быстродействие.

В настоящее время количество транзисторов в процессоре достигло почти 2 млрд. Однако еще несколько лет назад говорилось о цели создания к 2010-м гг. процессора с более чем 1 трлн транзисторов (что привело бы к радикальному росту возможностей ИКТ). Скорее всего, пока маловероятно решить эту задачу даже к 2020-м гг., до начала завершающей фазы кибернетической революции⁷. Думается, приближение к этому уровню произойдет позже, уже в процессе развития этой фазы (это также открывало бы широкую экономическую нишу, связанную с полной заменой информационно-компьютерной техники в связи с переходом от использования кремния к наноматериалам).

Однако не исключено, что такие миникомпьютеры с большой мощностью создадут на принципиально другой базе. По Э. Дрекслеру (Drexler 1987), такой базой может стать не наноэлектроника, а наномеханика. Им даже предложены механические конструкции для основных компонентов нанокompьютера – ячеек памяти, логических байтов.

Из особых структур, таких как фуллерены, нанотрубки, наноконусы и другие, могут быть собраны молекулы в форме разнообразных нанодеталей – зубчатых колес, штоков, деталей подшипников, роторов молекулярных турбин, подвижных узлов манипуляторов и т. д. Сборка готовых деталей в механическую конструкцию может осуществляться с использованием ассемблеров (самосборщиков) с прикрепленными к деталям биологическими макромолекулами, способными избирательно соединяться друг с другом.

Будет кстати отметить, что целый ряд технологий будущего, которые стремился описать и использовать Дрекслер, очень хорошо подходят под наше понимание самоуправляемых систем. Например: *«Ассемблер: молекулярная машина, которая может быть запрограммирована строить практически любую молекулярную структуру или устройство из более простых химических строительных блоков. Подобие управляемого компьютером механического цеха. Машина ремонта клетки: система, включающая нанокompьютеры и датчики размера молекул, а также инструменты, запрограммированные на восстановление повреждений ячеек и тканей. Автоматизированный инжиниринг: использование компьютеров для выполнения технических разработок, в предельном случае –*

⁷ Р. Курцвейль утверждает, что к 2020 г. персональные компьютеры достигнут вычислительной мощности человеческого мозга. Экстраполяция развития тенденции, которую любит использовать Курцвейль, тем не менее работает до определенного предела. Пока такие прогнозы выглядят маловероятными.

проведения детальных проработок с минимальной человеческой помощью или без нее по заданной общей спецификации. Автоматизированный инжиниринг – специализированная форма искусственного интеллекта» (Drexler 1987; использован перевод М. Свердлова).

Будут ли созданы такие самоуправляемые системы, как молекулярные ассемблеры, то есть нечто подобное 3D-принтерам на молекулярном уровне? Когда речь идет о молекулярных ассемблерах, то имеют в виду устройства, которые смогут преобразовать некую массу вещества так, чтобы пересобрать его во что-то другое (во что мы захотим), если для этого имеется молекулярная модель (программа сборки). То есть ассемблер будет работать примерно так, как гены и рибосомы производят белки, разлагая их на нуклеотиды и собирая вновь. Именно о молекулярных ассемблерах мечтал Э. Дрекслер, описывая грядущую ассемблерную революцию, которая, по его словам, окажется важнее медицинских технологий, космических горизонтов, усовершенствованных компьютеров и новых социальных изобретений, поскольку затронет каждое из них и многие другие направления.

Вероятно, какие-то подобия ассемблеров будут созданы (но это дело не ближайшего будущего), и на этой базе удастся существенно расширить наши возможности, равно как и открыть большую нишу для развития и решения ряда важных проблем. Но человечество в своем технологическом стремлении уже неоднократно сталкивалось с тем, что идея о безграничных энергетических или сырьевых возможностях (подобно проектам вечного двигателя) обязательно сталкивается с очень серьезными преградами. Поэтому мысль, что можно найти нечто ведущее к безбрежному изобилию, утопична. Такого рода ассемблеры потребуют немало энергии и ресурсов, очевидно, что бесплатными они не будут. И тем не менее это будет значительный шаг на бесконечном пути к обретению философского камня, способного все превращать во что угодно.

Идеи Дрекслера в некотором роде воплощают в жизнь профессор Дж. Тур и его коллеги из Техасского университета Райса, которые в 2005 г. создали молекулярную механическую конструкцию – цельномолекулярный четырехколесный наноавтомобиль шириной около 2 нанометров, работающий на энергии света. Он состоял примерно из 3 сотен атомов и имел раму и оси. На разработку и создание наноавтомобиля потребовалось восемь лет. В планах ученых – создание грузовых нанотранспортных средств, наногрузовиков, для перевозки молекул к конвейерам нанофабрик (Балабанов 2010).

Разумеется, это больше похоже на игрушки, чем на исследования для практического применения. В чем-то они напоминают паровые модели греческого механика Герона Александрийского, изумлявшие зрителей в I в. н. э. От них до паровой машины было очень далеко. Но в отличие от Герона, который даже и не думал о практическом применении пара, нынешние нанотехнологи озабочены именно практическим применением. Поэтому создание **наномашиностроения** – вполне реальная, хотя и не столь близкая, перспектива. Скорее всего, это произойдет ближе к концу нынешнего века. То же можно сказать и о **наноробототехнике**. Предполагаемые конструкции нанороботов и их использование в настоящее время существуют только в прогнозах, отчасти в фантастических рассказах и фильмах.

Есть мнение, что в 2030-е гг. наноустройства будут имплантированы в человеческий мозг и смогут осуществлять ввод и вывод необходимых сигналов из клеток мозга, и что даже, возможно, это приведет к отсутствию необходимости обучения и получения образования. Но это вызывает большие сомнения. Такая киборгизация если и осуществима в принципе, то произойдет существенно позже.

В любом случае очевидно, что и наномашиностроение, и нанороботы поднимут развитие самоуправляемых систем на новый уровень в направлении формирования особой отрасли, которая будет создавать такие системы (подобно тому как от использования машин перешли к их промышленному созданию – машиностроению).