

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАНОРОБОТОВ

Abstract. The paper is devoted to investigating of the basic principles of constructing of medical nanorobots. The approaches for realization of constructing of medical nanorobots on base the automationic systems are discussed. Technical requirements for medical nanorobots hardware are listed.

Key words: nanoelectronic structure, medical nanorobot, nanosensor, biorobot, molecular machine, nanotechnologies, bionanotechnologies, technical requests.

Анотація. Стаття присвячена дослідженню основних принципів виготовлення медичних нанороботів. Розглянуті підходи до реалізації процесів виготовлення медичних нанороботів за допомогою автоматизованих систем. Наведені технічні вимоги до елементної бази медичних нанороботів.

Ключові слова: наноелектронна структура, медичний наноробот, наносенсор, біоробот, молекулярна машина, нанотехнології, біотехнології, технічні вимоги.

Аннотация. Статья посвящена исследованию основных принципов изготовления медицинских нанороботов. Рассмотрены подходы к реализации процессов изготовления медицинских нанороботов с помощью автоматизированных систем. Приведены технические требования к элементной базе медицинских нанороботов.

Ключевые слова: нанoeлектронная структура, медицинский наноробот, наносенсор, биоробот, молекулярная машина, нанотехнологии, биотехнологии, технические требования.

1. Введение

Хотя современная наноробототехника еще не настолько развита, чтобы выполнять какие-либо медицинские операции в теле человека, но она позволяет ставить задачи для построения более совершенных наноустройств и бионанороботов. Первым применением наноустройств в медицине станет, без сомнения, мониторинг состояния пациента. Это будет заключаться в составлении структурной модели тела человека, в которой учтено расположение каждой клетки путем (это особенно важно для изучения процессов, проходящих в коре головного мозга), картографирования сердечно-сосудистой системы, слежения за работой нервной системы, управления различными имплантатами и протезами, которые к тому времени войдут в повседневную медицинскую практику. Как только наноробототехника достигнет уровня, который позволит наноустройствам проводить медицинские операции внутри тела человека, то их применение в медицине позволит предотвратить и излечить многие болезни, радикально продлить жизнь человека и существенно расширить его природные возможности.

Данная статья является логическим продолжением работ [1, 2], в которых были описаны принципы моделирования и проектирования медицинских нанороботов. В настоящей статье рассмотрены подходы к реализации процессов изготовления медицинских нанороботов с помощью автоматизированных систем.

Постановка задачи. На основе анализа исследований по моделированию работы медицинских нанороботов и экспериментов в области проектирования наноустройств необходимо определить этапы получения прототипов нанороботов с помощью автоматизированных систем. Важной задачей является также определение ниши для использования сенсорных систем в составе нанороботов.

2. Использование возможностей автоматизированных систем проектирования для построения технологических процессов изготовления нанороботов

2.1. Учет преимуществ и недостатков технологий проектирования нанороботов и бионанороботов

Значительные достижения нанотехнологий и биотехнологий позволяют говорить, как указывалось выше, о том, что они зачастую уже используются не как отдельные технологии, а как одна технология – то ли это будут бионанотехнологии, с акцентом на использование процессов, происходящих в организме человека, то ли бионическое направление в нанотехнологиях. Другими словами, оба направления, в частности, при проектировании медицинских нанороботов, успешно дополняют друг друга.

В конце XX века в биологии появились первые генетически модифицированные организмы и клонированные животные, а в технике – понятия «нанотехнология» и «нанороботы» и первые практические работы по созданию наноустройств. Сейчас, через много лет после первых работ [1], нанотехнологии стали одним из передовых направлений науки и техники. Наноробототехника делает заметные шаги в построении многофункциональных нанороботов [3–8].

Современное состояние и тенденции развития нанотехнологий дают повод для оптимизма относительно кибернетической наномедицины. Уже созданы моторчики диаметром в 500 нм, которые могут использоваться в наноробототехнике в качестве двигателей; наножидкостные и наноэлектронные системы типа «лаборатории-на-чипе», проводящие экспресс-анализ ДНК и других биомолекул; производится ряд наноматериалов для искусственных протезов конечностей с хорошей адгезией к живым тканям. Детально разработан ряд наноустройств, способных выполнять определенные медицинские операции в теле пациента; разработано программное обеспечение для моделирования поведения нанороботов в теле человека. Медицина уже имеет в своем арсенале наночастицы (в первую очередь, на основе кремния), которые содержат лекарства и могут доставлять их в клетки. Широко применяются липосомы – сферические двухслойные мембраны, содержащие внутри лекарственные вещества. Но это только первые шаги наномедицины. Можно согласиться с прогнозами о том, что применение нанороботов станет наиболее эффективным направлением медицины.

Хотя современная наноробототехника еще не настолько развита, чтобы выполнять какие-либо медицинские операции в теле человека, но она позволяет ставить задачи для построения более совершенных наноустройств и бионанороботов. Первым применением наноустройств в медицине станет, без сомнения, мониторинг состояния пациента. Это будет заключаться в составлении структурной модели тела человека, в которой учтено расположение каждой клетки путем (что особенно важно для изучения процессов, проходящих в коре головного мозга), картографирования сердечно-сосудистой системы, слежения за работой нервной системы, управления различными имплантатами и протезами, которые к тому времени войдут в повседневную медицинскую практику. Как только наноробототехника достигнет уровня, который позволит наноустройствам проводить медицинские операции внутри тела человека, то их применение в медицине позволит предотвратить и излечить многие болезни, радикально продлить жизнь человека и существенно расширить его природные возможности.

Липосомы, позволяющие лекарственным веществам проникать в кровь не разрушаясь, и те же липосомы или другие наночастицы, прикрепленные к антителам (биологическим объектам) для адресной доставки в организме, – это совсем не нанороботы. Здесь намного больше биохимии и молекулярной и клеточной биологии, чем собственно нанотехнологий. Микрочипы для анализа состава среды используют лучшие из существующих в природе датчиков – натуральные, почти живые антитела. Да, современные технологии позволяют сделать эти устройства миниатюрными и уместить на площади почтовой марки плату с лунками, которая в обычной лаборатории занимала бы целый теннисный стол.

Более или менее грубую модель работы отдельной анатомической системы, той же кровеносной, построить можно. В ней можно использовать микрозонд, позволяющий локализовать участки с нарушениями кровотока. Датчик с микрозондом такого размера, чтобы он смог проплыть по всей кровеносной системе, включая капилляры диаметром 5 микрон, и тем более ползать внутри тканей, очень необходим для медицины, и уже получены его прототипы.

Много подобных мониторинговых устройств уже создано. Правда, не в наноразмерном диапазоне, а в сантиметровом и миллиметровом. Необходимая для проведения мониторинга модель человеческого тела в целом – задача, конечно, трудная, но не невозможная, так как в математическом моделировании часто используют аппроксимации, которые делают модель проще и позволяют уменьшить количество исходных данных, необходимых для ее построения. Если мы хотим смоделировать телевизор, то совсем не обязательно учитывать дефекты кристаллической решетки в структуре полупроводниковых приборов. Чаще всего используют «блочные» подходы, например, замену транзистора его вольтамперной характеристикой. Используя этот подход, можно построить модель человеческого тела. Ральф Меркле, один из пионеров нанотехнологий, вице-президент Института предвидения, подсчитал, что, применив блочную схему, можно описать структуру человеческого головного мозга с помощью базы данных размером около 1,5 терабайт [2].

Можно предвидеть, что при съеме информация исказится, так как нанозонды будут влиять на работу живых тканей. Конечно, будут, но не настолько, чтобы оказать воздействие на функционирование систем организма. Ведь мы снимаем не квантовые состояния отдельных атомов каждой биомолекулы, а картографируем расположение отдельных клеток. Микрозонд действительно не сможет протиснуться через самые мелкие капилляры, а нанозонд – сможет. Китайские ученые уже построили прототип такого зонда, пока размерами 3x1x3 мм, который может перемещаться по кровеносной системе человека, управляемый внешним магнитным полем [2]. Особенность будущих диагностических нанозондов в том, что они позволят обеспечить сбор информации в реальном времени.

Наноробототехника сейчас находится в зачаточном состоянии. Но с появлением нанофабрик и сборщиков-ассемблеров многие лекарственные вещества (если в них еще будет необходимость), получаемые с помощью современных биотехнологий, можно будет синтезировать в больших количествах, а главное – очень дешево. Те же нанофабрики и сборщики смогут создавать не только нанороботов, но и макроскопические объекты: пищу, компьютеры, машины, и, возможно, даже автоматические космические станции.

Нанотехнологи предполагают, что передавать нанороботам и энергию, и информацию можно будет, скорее всего, с помощью гипервысокочастотных механических колебаний. Можно представить, что внешний макрокомпьютер с помощью таких сигналов командует нанороботами и даже не вредит гиперзвуком здоровью пациента. Но как десятимикронный наноробот докричится до своего «коллеги» или до отдаленного процессора? И как различать их «голоса» – они же сольются в ровный гул! Ну и так далее. Придираться к представлениям о пока что не существующих нанороботах можно много, но лучше подождать 5–10 лет. Может быть, к тому времени с помощью нанотехнологий можно будет не только получать одинаковые наночастицы, но и собирать микрообъекты из нескольких разных деталей.

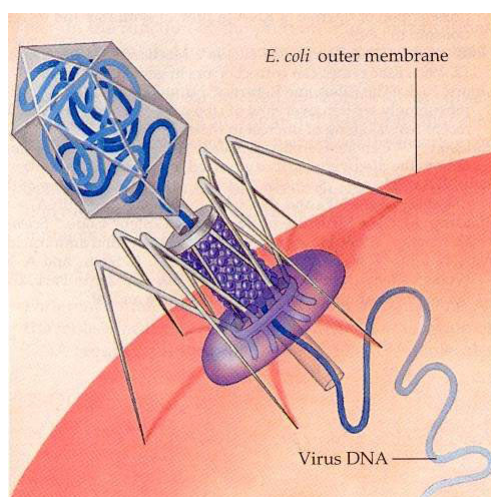


Рис. 1. Схема ввода бактериофагом-«нанороботом» ДНК в клетку [2]

Представьте себе искусственный фагоцит (рис. 1), который будет в несколько десятков раз эффективней обычного.

Наноробототехника может быть вообще самовоспроизводящейся. И нет никаких физических ограничений для того, чтобы специально спроектированный наноробот не смог взаимодействовать с отдельными клетками, а тем более их ремонтировать и уничтожать вредные микроорганизмы.

На рис. 1 представлена модель нанообъекта, достаточно наглядная и не противоречащая реальности. Более того, модель бактериофага является более информативной, чем изображение той картины, которую

можно увидеть в электронном микроскопе.

Всем известные модели молекул – это перевод математических уравнений в привычные нам образы. И даже в том случае, когда объекты достаточно крупны, чтобы можно было говорить об их форме, человеку удобнее оперировать моделями.

Все описываемые перспективы наноробототехники выглядят фантастическими, но только с позиции сегодня. Для того, чтобы рассчитать два-три кадра из современной компьютерной игры, математикам XIX-го века пришлось бы потратить несколько лет. То, что нанороботы могут собрать за несколько часов пару килограммов вещества, спроектированного поatomно, сегодня выглядит так же фантастично, как мобильный телефон для современников Ньютона. Конечно, для сборки обычного ботинка (не говоря уже о космической станции) атом за атомом потребуются много времени. Но, к счастью, в инженерии широко практикуется конвейерная сборка. Сборка той же космической станции может идти в несколько ступеней – начиная от производства отдельных узлов роботов-макросборщиков и заканчивая крупноузловой сборкой самой станции. Нанотехнологии в производстве макропродукции будут участвовать косвенно: они просто создадут условия для более эффективной обработки материи.

Очень важным моментом при понимании и проектировании нанороботов является их схожесть с вирусами. Дело в том, что вирусные структуры в живом организме проявляют признаки как живых структур, так и непосредственно нанороботов, работающих на границе между живым и

неживым [9–10]. Можно с большой долей уверенности предполагать, что использование свойств и принципов работы вирусных структур позволит их успешно использовать при разработке нанороботов.

2.2. Использование высоких технологий компьютерного проектирования

Для создания сложной функционирующей системы наноробота необходимо провести достаточное количество кропотливых расчетов, разработать экспериментальную модель, знать молекулярный состав до каждого атома и реакцию системы в зависимости от внешних факторов. Также остается проблема: конструирование многочисленных прототипов, которые влекут за собой большие финансовые затраты.

Возможности высоких технологий позволяют с легкостью избежать этого и создать виртуальную модель будущего устройства. Одним из главных достоинств современных программ, используемых для описания сложных наноструктур, вплоть до нанороботов, следует выделить то, что с их помощью можно моделировать влияние на систему магнитных и электрических полей, давления, гамма-излучения, температуру и многое другое.

В 1959 году американский физик Ричард Фейнман дал научное объяснение тому, что с точки зрения фундаментальных законов физики, нет препятствий для того, чтобы реализовать конкретную материю прямо из атомов. Сегодня становится реальностью научно обоснованное предвидение по созданию молекулярных наномашин в виде медицинских нанороботов.

Технология манипулирования отдельными атомами и молекулами с появлением сканирующего туннельного, а затем атомно-силового микроскопов была реализована и с успехом применяется сегодня [11–12]. Но нас сейчас интересуют наномшины, способные выполнять аналогичную работу сами. Решение такой задачи было предложено Эриком Дрекслером в его книге «Машины созидания». По описанию автора, функцию манипулирования отдельными атомами и молекулами несут в себе ассемблеры (молекулярные машины, которые могут быть запрограммированы на создание молекулярной структуры любой сложности из более простых химических соединений или отдельных атомом или молекул). Эти устройства должны захватывать элементарные частицы и соединять их между собой в соответствии с заданным алгоритмом.

Стоит отметить, что подобные системы существуют и в природе. В качестве примера работы ассемблеров можно привести, например, механизм синтеза белка рибосомой в клетке человека.

Антиподами ассемблеров являются дизассемблеры. Их функциональное предназначение заключается в том, чтобы разобрать молекулярную систему на отдельные атомы для дальнейшей передачи их ассемблеру. Обеспечив точное размещение каждого атома, ассемблеры смогут производить продукт с высоким показателем идентичности, вплоть до каждого атома.

Важной проблемой при моделировании нанообъектов является учет явления совместимости организма человека с инородными объектами. Необходимо моделировать свойства материала, который не вызывает реакцию иммунной системы. Таким материалом может быть, например, алмазоид, представляющий собой мельчайшие кристаллики, из которых состоит

микроскопический алмаз [13], полностью повторяющий его тетраэдрическую структуру. Ряд экспериментов подтвердил, что гладкие алмазоиды вызывают меньшую активность лейкоцитов.

Моделирование навигационных систем для нанороботов в организме человека позволило показать необходимость использования таких антенн, которые должны иметь вид диполей, выступающих за пределы корпуса, для приема незатухающих электромагнитных волн, распространяющихся в теле человека. Для надежной управляемости молекулярными роботами необходимо использовать нанокomпьютер. Сформировать навигационную систему и обеспечить связь роботов друг с другом поможет еще один тип наноустройств – коммунциты, также выполняющие роль усилительных станций.

Интересны и результаты моделирования процесса лечения. Для восстановления нормальной работы клетки необходима доставка к ней различных ферментов. Также, используя ферменты, можно уничтожать различные вирусы, которые вызывают механизм клеточного апоптоза (программируемой клеточной смерти). Если же угроза не слишком велика и нет необходимости проникать внутрь поврежденного участка, достаточно инъекции специального вещества, вызывающего восстановление ДНК и возвращение клетки к нормальной работе.

Важным шагом проектирования нанороботов является их моделирование на основе молекул ДНК, поскольку в качестве материала для создания нанообъектов могут выступать не только белки, но и молекулы ДНК. Представляет интерес для разработчиков нанороботов схема укладки молекулы ДНК в хромосому (рис. 2).

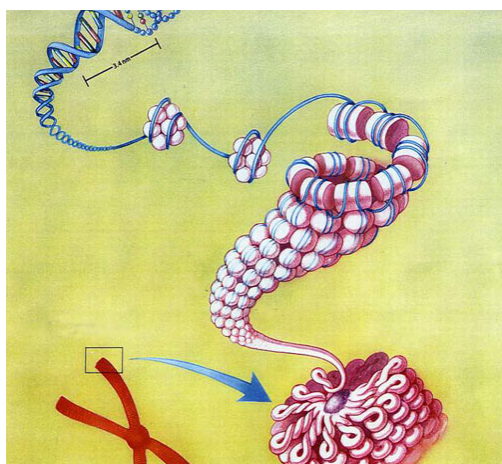


Рис. 2. Схема укладки молекулы ДНК в хромосому

Ярким примером такого объекта можно назвать «шагающего» наноробота: если соединить две молекулы ДНК, то, несмотря на то, что сами молекулы являются «мягкими», можно получить достаточно устойчивую структуру.

Такой наноробот передвигается, используя довольно оригинальный принцип: в качестве «ног» робота выступают фрагменты ДНК, которые он поочередно то присоединяет, то отсоединяет обратно от базовой молекулы. Длина каждого такого фрагмента молекулы составляет 36 нуклеотидов.

Сверху молекулярных ног располагается упругая часть ДНК, которая связывает обе «ноги» вместе. Можно использовать специальную жидкость, препятствующую сворачиванию цепей ДНК в хромосому. Созданный робот по указанной выше технологии сможет передвигаться в такой специальной жидкости (денатурационном буфере) [13].

Почему исследователи использовали именно молекулу ДНК? Цепи ДНК легко соединить друг с другом, образуя комплементарные пары, поэтому на основе их можно создавать более сложных ДНК-роботов в больших количествах.

Можно моделировать и внешний вид виртуальной материи, словно вы исследуете её через атомно-силовой микроскоп. Как бы точно мы сами не располагали атомы относительно друг друга,

компьютер, решая уравнения квантовой механики, делает это точнее. Если созданная виртуальная материя не противоречит законам природы, то ее можно попробовать воплотить в реальность. Развитие информационных технологий позволит более точно и детально разработать самые разные наносистемы и воплотить виртуальные наномашинны в реальных функционирующих нанороботах.

Эффективным является также моделирование двигателей для нанороботов. Невозможно представить молекулярную машину без надежного двигателя. На сегодняшний день реализовано несколько достойных примеров, которые в будущем смогут обеспечить нанороботам перемещение в пространстве. Одним из таких двигателей является диэлектрофорезный наномотор [13]. Работа двигателя построена на процессе притягивания и отталкивания частиц в сильном неоднородном электростатическом поле. Электроды такого двигателя – нанотрубки. Расстояние между электродами составляет 10 нм, подаваемое напряжение 1 В. На рис. 3 видно, что нанотрубки-

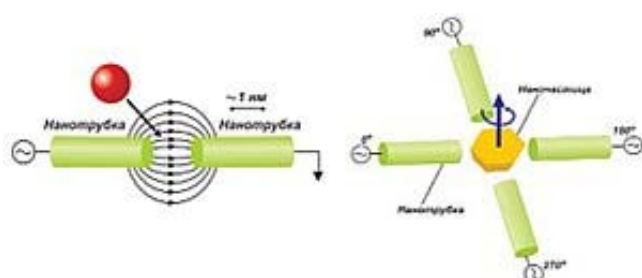


Рис. 3. Диэлектрофорезный наномотор

электроды образуют статор, а наночастица в центре – ротор. Как только мы подаем переменное напряжение, то частица начинает вращаться.

Также имеет место мотор на основе нанотрубок и золотых электродов [14]. Ротор изготовлен из золота, закрепленного на многослойной нанотрубке. Два заряженных статора также из золота. Скорость вращения составляет 30 оборотов в секунду.

3. Учет реальных условий функционирования бионанороботов и нанороботов при реализации технологических возможностей их создания

3.1. Использование биотехнологий для объяснения перехода от необходимых функций молекулы к ее структуре при конструировании нанороботов

В работе [15] обращено внимание на факт создания бактериофага *Bac. Mycoides* как первого наноробота. Создание таких нанороботов-фагов – довольно сложная задача.

Ведь до сих пор не существует ни одной методики инженерного проектирования молекулярных структур именно как работоспособных структурных сообществ. Их еще предстоит создать. В лабораториях наработано множество способов исследования состава и строения молекул, имеется ряд технологий тонкого синтеза, но, во-первых, мы не знаем, как от нужных нам функций молекулы перейти к ее структуре, а во-вторых, никто пока не придумал, как выстроить молекулу, если речь идет о ее пространственной структуре.

Определенную трудность создают стереотипы мышления и отсутствие междисциплинарного подхода. Химики привыкли думать о молекулах как о кирпичиках вещества и исследуют их поведение исключительно с точки зрения или реакционной способности или связи свойств вещества с особенностями структуры его молекул. Инженеры-исследователи склонны переносить приемы машиностроительного конструирования в область молекулярных размеров, где эти приемы не эффективны или вообще не работают. Ближе всех к пониманию функционирования

естественных (природных) молекулярных «машин» приблизились биологи, но у них традиционно слаба инженерная подготовка. Так или иначе, сегодня, несмотря на огромное количество накопленного фактического материала, область молекулярного конструирования являет собой непаханное поле [15].

На волне энтузиазма, связанного с работами в этой области, особенно после выхода в 1986 году книги Эрика Дрекслера «Engines of Creations» [1], возникло множество идей, выдающих желаемое за действительное. Изящная идея молекулярных ассемблеров (сборщиков), сформулированная Дрекслером, породила вереницу утопических воплощений в формах, отдаленно напоминающих робототехнические комплексы по сборке автомобилей. В основе сканирующий туннельный микроскоп, возможность применения которого для манипулирования отдельными атомами блестяще продемонстрировали в 1990 году Эйглер и Швейцер из исследовательского подразделения IBM. Собственно, это и есть перенесение макроскопических инженерных приемов в область масштабов, для которой правильнее всего было бы разрабатывать свои специфические методы.

Дело в том, что сборка молекулы из атомов – совсем не то же самое, что постройка здания из кирпича и стандартных бетонных блоков. Точнее будет сказать, что каждый атом представляет собой сложную квантовомеханическую систему, а сборка молекулы – типичная задача системной интеграции, но на квантовом уровне [15].

В мире молекул действуют иные стандарты конструирования. Там принят другой подход. Все перечисленные выше функции распределены по всей молекуле. Точнее, структура молекулы, конфигурация полей и система взаимодействия атомов в молекуле обеспечивают такие ее свойства, которые с точки зрения внешнего наблюдателя могут быть оценены как работа сложной системы управления, датчиков и приводов. Для перехода на такой уровень конструирования необходима глубокая перестройка инженерного мышления.

Если для примера взять функционирование вышеупомянутого фага № 1 *Bac. Mycoides*, то можно увидеть, что сложнейшая программа поведения – нащупать клеточную мембрану с подходящим белковым составом (следовательно, проанализировать его), закрепиться на ней, выровнять положение трубки-инжектора, выдать команду на разворачивание вирусной ДНК, включить привод сокращения чехла инжектора для прокола клеточной мембраны, включить подачу ДНК, – вся эта программа реализована совокупностью свойств взаимодействующих белковых молекул конструкции вируса [15]. Нет в этой конструкции никаких отдельно смонтированных двигателей, датчиков, компьютерных чипов и источников питания.

3.2. Особенности конструирования наноустройств в виде нанороботов

В основном нанороботов изображают в виде микроскопических вирусоподобных объектов, обозревающих окрестности электронными глазами, действующих под управлением бортового компьютера и снабженных конечностями, приводимыми в движение миниатюрными электродвигателями. Вероятно, такие роботы были бы полезны для каких-нибудь применений, но их габариты никогда не сравнятся с молекулярными.

Молекулы, даже самые крупные, много меньше длины волны видимого света. Иными словами, принципиально невозможно сконструировать оптический орган зрения для микромашины, функционирующей в мире молекул. В этом мире «темно». Не в смысле отсутствия света, а в том смысле, что молекулы «общаются на ощупь». Присутствие друг друга они ощущают через взаимодействие систем электростатических полей сложнейшей пространственной конфигурации. Собственно, именно эти поля управляют также пространственной конструкцией молекулы. И если уж говорить о каких-то приводах или микродвигателях молекулярного робота, то речь пойдет о механизмах формирования структуры распределенного поля, обеспечивающего механическое перемещение элементов его конструкции.

Говоря о бортовом компьютере для нанороботов, необходимо еще выяснить, как будут работать необходимые чипы или их аналоги. Присутствие управляющих компьютеров в конструкции современных механизмов обусловлено своеобразным разделением труда: есть силовая конструкция, ее задача – выдерживать эксплуатационные нагрузки; есть источник энергии и приводные двигатели и, наконец, система управления – датчики, устройство обработки информации, связь и т.п. [15–17].

Собственно, рано или поздно на пути разработки и конструирования молекулярных устройств неизбежно встанет задача создания многоцветных систем, способных после выполнения запрограммированной функции (на что, разумеется, будет потрачена энергия, запасенная, предположим, в структуре, – наподобие растянутой пружины) восстанавливать запас энергии либо за счет питания (взаимодействия с внешними молекулярными структурами, сопровождающегося реакциями с выделением энергии, которая может быть вновь запасена в структуре основной молекулы), либо в процессе усвоения какого-либо вида электромагнитной энергии из окружающего пространства (что-то наподобие процесса фотосинтеза). Такие системы будут обладать способностью неограниченно долго противостоять энтропии и наверняка могут быть отнесены к формам жизни.

Элементарной естественной «живой машиной», как известно, является клетка. Устройство ее не обязательно должно быть именно таким, каким мы наблюдаем его в составе «конструкций» живых существ. Ряд функций, например, связанных с размножением, в искусственных клетках может отсутствовать, что не мешает клетке синтезировать необходимые нам сложные вещества. Однако мимо задачи создания искусственного аналога клетки как открытой термодинамической системы нам не пройти. Именно искусственная клетка позволит в будущем перейти к построению квазибиологических систем, способных взять на себя функции нынешних машин и механизмов самого различного назначения, включая нанороботов [15, 18].

Характерной особенностью машиностроительных технологий на базе использования искусственных клеток, вероятнее всего, станут процессы самосборки изделий, исследованию возможностей которых уделили внимание сотрудники лабораторий Херох. Математическое моделирование показало, что скорость формирования изделий типа корпусных элементов или композитных блоков может быть такова, что конструкция размером около 1 м будет «самособиаться» за три-четыре минуты.

Технологии, построенные на базе одноразовых и многоразовых искусственных молекулярных структур, по оценкам ряда специалистов, способны привести к созданию новых индустриальных направлений и отраслей, суммарный финансовый оборот которых значительно превысит весь оборот сегодняшней промышленности. Во многом это будет связано с ликвидацией значительной части традиционных производств, товарно-денежные потоки которых уйдут в более рентабельные производства тех же либо аналогичных продуктов, однако получаемых с помощью молекулярных технологий [19]. В первую очередь, эти процессы коснутся фармакологии, затем – производства средств бытовой химии, пищевой и легкой промышленности.

Заслуживает внимания разработка универсального лингво-комбинаторного метода моделирования плохо формализованных систем, при котором исследуется новый взгляд на лингвистические структуры, где выделяются три группы переменных: явления, сущности и структурированная неопределенность, что позволяет по-новому подойти к проблеме моделирования сложных систем [20, 21]. В рамках этого метода предложены новые модели сложных систем: атомов, молекул и комплексов, что позволяет перейти к созданию новой элементной базы, нанороботов и нанотехнологий [22].

3.3. Создание и управление прототипом наноробота

Медикам впервые удалось по-настоящему пройти по артерии. Управляемый ими прототип наноробота со скоростью 10 см/с прошёл по кровеносной системе свиньи в заданную точку. Направление задавал магнитно-резонансный томограф, который сам же и контролировал перемещение шарика [1].

Ученым впервые удалось запустить и управлять прототипом медицинского наноробота в артерии живого существа. Сотрудники лаборатории нанороботов Монреальского университета во главе с профессором Сильвианом Мартелем использовали в качестве прототипа наноробота железный шарик диаметром в полтора миллиметра. Испытывали «микролодочку» в артерии живой свиньи.

Для управления сферой был использован изящный способ, при котором управлял «роботом» прибор, одновременно контролирующей передвижение сферы по телу больного, – обычный магниторезонансный томограф.

Используя так называемые градиентные катушки прибора, меняющие его силовые линии в трех направлениях, ученые аккуратно провели шарик по кровеносным сосудам и одновременно следили за его перемещениями. Теперь специалисты работают над уменьшением прототипа наноробота – транспорта для диагностических приборов.

4. Выводы

1. Задача имплантации в мозг микросхем может быть решена с более высоким выходом путем использования живого микрокомпьютера из нейронов, способного обеспечить связь мозга с электронными устройствами не хуже, чем электромеханический нейрошунт. Ведь быстроедействие системы в целом будет определяться ее более медленной, живой составляющей. Простенький компьютер из крысиных нейронов, управляющий виртуальной моделью самолета, уже разработан.

А из стволовых клеток недавно удалось вырастить сетчатку для больных наследственным пигментным ретинитом с намного лучшими характеристиками, чем у искусственной. Везде в этих случаях полезными окажутся управляемые нанороботы – нанороботы.

2. Наряду с нанороботами из алмазоидов, будут активно создаваться бионанороботы из клеточных органелл и других биологических объектов: с митохондриями вместо аккумуляторов, миозиновыми волокнами для движения белковых жгутиков, рибосомой для синтеза заданного белка, антителами для распознавания молекул, молекулами ферментов в качестве эффекторов и вакуолю с самостоятельно синтезированным лекарственным веществом. Фактически это будет искусственно сконструированная живая клетка с заданными функциями. Геномика и протеомика развиваются такими темпами, что получение биологических нанороботов будет эффективным добавлением к механическим нанороботам.

3. Нужно ли делать механические протезы, если можно вырастить живые? Ведь клеточные технологии позволят в ближайшем будущем выращивать новые органы взамен больных или травмированных. Искусственные почки, суставы, сердечные клапаны и другие органы уже существуют. Применение мезенхимных стволовых клеток, переоткрытых всего пять лет назад, уже сейчас во много раз увеличивает способность организма к восстановлению, в том числе и к восстановлению нервных клеток.

4. Функции митохондрий, которые очень эффективно производят энергию, будут дополнены глюкозным механохимическим реактором, который будет обеспечивать энергоснабжение для нанороботов.

5. Клетки с исправленными генами, которые приживаются в организме и восстанавливают здоровье пациента, – это уже сегодняшняя реальность, пусть пока и не поставленная на конвейер. И клетки с искусственным геномом, составленным из готовых блоков или полностью синтезированным, уже разработаны. Чтобы они оказались жизнеспособными, осталось только довести до конца исследования, начатые программами по изучению геномов человека и сотен видов живых организмов. Такие клетки в ближайшем будущем смогут выполнять многие функции, которые могли бы выполнять нанороботы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войтович И.Д. Основные принципы моделирования, проектирования и изготовления медицинских нанороботов. Ч.1 / И.Д. Войтович, А.И. Золот, Н.И. Ходаковский // Математичні машини і системи. – 2009. – № 4. – С. 147 – 160.
2. Войтович И.Д. Основные принципы проектирования и изготовления медицинских нанороботов / И.Д. Войтович, А.И. Золот, Н.И. Ходаковский // Математичні машини і системи. – 2010. – № 1. – С. 95 – 104.
3. Chen J. Synthesis from DNA of a molecule with the connectivity of a cube / J. Chen, N.C. Seeman // Nature. – 1991. – Vol. 350. – P. 631– 633.
4. Mao Ch. A Nanomechanical Device Based on the B-Z Transition of DNA / Mao Ch. [et al.] // Nature. – 1999. – N 1, Vol. 397. – P. 1680 – 1685.
5. Лен Жан-Мари Супрамолекулярная химия: концепции и перспективы / Лен Жан-Мари. – Новосибирск: Наука, 1998. – 407 с.
6. Drexler E. Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation / E. Drexler // Proc. Natl. Acad. Soc. USA. – 1981. – N 78. – P. 5275 – 5278.
7. MacKinnon A. Quantum gears: a simple mechanical system in the quantum regime / A. MacKinnon // Nanotechnology. – 2002. – Vol. 13, N 10. – P. 678 – 681.
8. Howe C.D. Nanotechnology: Slow Revolution / Howe C.D. // Forrester Research Corporation. – Cambridge, Maryland, USA, 2002. – N 8. – 21 p.

9. Артюхов И.В. Биомедицинские технологии. Обзор состояния и направления работы / И.В. Артюхов, В.Н. Кеменов, С.Б. Нестеров // Материалы 9-й научно-технической конференции "Вакуумная наука и техника". – М.: МИЭМ, 2002. – С. 244 – 247.
10. Артюхов И.В. Нанотехнологии, биология и медицина / И.В. Артюхов, В.Н. Кеменов, С.Б. Нестеров // Материалы 9-й научно-технической конференции "Вакуумная наука и техника". – М.: МИЭМ, 2002. – С. 248 – 253.
11. Drexler K.E. Building Molecular Machine Systems / K.E. Drexler // Trends in Biotechnology. – 1999. – Vol. 17. – P. 5 – 7.
12. Bauschlicher Ch. Diamond Memory / Ch. Bauschlicher, R. Merkle. – Режим доступа: <http://nanozine.com>.
13. Soong R.K. Powering an inorganic nanodevice with a biomolecular motor / R.K. Soong, G.D. Bachand, Neves H.P. [et al.] // Science. – 2000. – Vol. 290. – P. 1555 – 1558.
14. DNA-templated self-assembly of protein arrays and highly conductive nanowires / H. Yan, S.H. Park, G. Finkelstein [et al.] // Science. – 2003. – Vol. 301. – P. 1882 – 1884.
15. Варван И. Создание бактериофага *Bac. Mycoides* как первого наноробота / И. Варван // Компьютера. – 2003. – № 8. – С. 37 – 42.
16. Демиховский В.Я. Квантовые ямы, нити, точки. Что это такое? / В.Я. Демиховский // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 5. – С. 80 – 86.
17. Семчиков Ю.Д. Дендримеры – новый класс полимеров / Ю.Д. Семчиков // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 12. – С. 45 – 51.
18. Robert A. Exploratory Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell / A. Robert, Jr. Freitas // Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobil. Biotech. – 1998. – N 26. – P. 411 – 430.
19. Борисенко В.Е. Наноэлектроника – основа информационных систем XXI века // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 5. – С. 100 – 104.
20. Ignatyev M. Linguo-Combinatorial Method for Complex Systems Simulation / M. Ignatyev // Proc. of The 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics. Computer Science II, Orlando, USA, 2002. – Vol. XI. – P. 75 – 82.
21. Ignatyev M. The study of the adaptation phenomenon in complex systems / M. Ignatyev // American Institute of Physics Conference Proc. – Melville, New York, 2006. – Vol. 839. – P. 322 – 330.
22. Игнатьев М.Б. Информационные технологии в микро-, нано- и оптоэлектронике / Игнатьев М.Б. – М.: Наука, 2008. – 387 с.

Стаття надійшла до редакції 06.11.2009