

Нанотехнология и ее НАДотраслевой характер

Р.Р. Бабаян (ИПУ РАН)

Показано, что нанотехнологии подобно информационным технологиям объединили существующий ряд научных дисциплин, став их общей методологической базой. Рассмотрены препятствия, стоящие на пути создания нанокomпьютеров. Приведены примеры успехов в области развития молекулярной хирургии и ремонта биологических клеток.

Ключевые слова: нанотехнологии, информационные технологии, нанокomпьютер, молекулярная и биомедицина.

В публикациях 2007–2008 гг. [1, 2] мы обсуждали нанотехнологию как универсальную и наукоемкую область, способную изменить облик мира уже к концу первого десятилетия XXI века. Напомним, что обозначение наноразмеров (10^{-9}) — не самое главное в нанотехнике. Принципиальным является квантовый характер нанобъектов и нанопроцессов и уникальная возможность целенаправленной сборки веществ на атомно-молекулярном уровне. Наиболее полное определение нанотехнологии дано в материалах национальной нанотехнологической инициативы США: нанотехнология — научно-исследовательские и технологические разработки на атомарном, молекулярном или макромолекулярном уровнях с субнанометровой шкалой по одной или более координатам для обеспечения фундаментального понимания явлений и свойств материалов при таких размерах и для изготовления и использования структур, приборов и систем, которые имеют новые свойства и функции вследствие их малых размеров.

И вот заканчивается второе десятилетие XXI века. Уже можно подвести некоторые итоги, проверить сделанные прогнозы, опираясь на обзор результатов из открытых источников.

НБИК-технологии

Обратимся сначала к статье президент НИЦ «Курчатовский институт» М. В. Ковальчука [3], в которой нанотехнологиям отводится ключевое место в дальнейшем научно-техническом развитии совместно с био, информационными и когнитивными технологиями. Речь идет о конвергенции — объединении, взаимопроникновении наук и технологий. А новый научно-технологический уклад назван НБИК-технологией.

Автор отмечает, что всего несколько десятилетий назад появились информационные технологии, которые характеризуются НАДотраслевым характером, так как ни в одной из известных отраслей сегодня нет прогресса без их использования — это и телемедицина, и дистанционное обучение, и числовые управляемые станки, автоматическая система пилотирования автомобилей, самолетов, кораблей и т.д. Информационные технологии стали принципиально новыми с методологической точки зрения — они не добавились еще одним звеном к существующему ряду дисциплин,

а объединили их, став их общей методологической базой.

И уже вслед за информационными технологиями появились нанотехнологии, внутренняя логика развития которых призвана соединить существующую узкоспециализированную науку и отраслевую экономику в единую картину естествознания, но уже на новом уровне развития цивилизации. Играв столь же важную надотраслевую роль, как информационные технологии, нанотехнологии в отличие от первых материальны, так как они, прежде всего, дают принципиально новый способ конструирования материалов. Человек получает возможность манипулировать атомами и молекулами, составляющими любое вещество.

Таким образом, появились искусственные материалы, хорошо известные нам сегодня: полупроводниковые кристаллы (кремний, германий, арсенид галлия), диэлектрические кристаллы, лазерные и т.д. Наряду с анализом (основной линией развития науки) начала формироваться линия синтеза, когда человечество руками и разумом ученых начало синтезировать искусственные материалы, даже которых нет в природе и которые обладают свойствами, не существующими у природных веществ. Парадигма развития науки стала меняться от процесса познания мира, его устройства к тому, чтобы целенаправленно и оптимальным путем самим создавать какие-то его элементы.

Фактически речь идет о создании технологий и оборудования для атомно-молекулярного конструирования любых материалов (кстати, это возможно лишь при создании адекватных методов диагностики с атомарным разрешением). Если двигаться по этому пути, то переход к нанотехнологиям, к атомарному конструированию дает важнейший результат — дематериализацию производства и резкое качественное уменьшение энерго- и ресурсоемкости. При этом развитие нанотехнологий подразумевает два самостоятельных направления.

С одной стороны, нанотехнологии — это новая технологическая культура, основанная на конструировании макроматериалов путем направленного манипулирования атомами и молекулами. Но главное — наноподход, а не наноразмер. Миниатюризация и нанотехнологии не имеют знака равенства. Новая технологическая нанокультура состоит в том, что создаются новые материалы, необходимые практически для всех отраслей промыш-

ленности, и, следовательно, речь идет о формировании рынка принципиально новой продукции в рамках существующего экономического уклада.

Второй важной задачей нанотехнологий является сближение и взаимопроникновение «неорганики» и биоорганического мира живой природы. Это направление развития нанотехнологий состоит в соединении возможностей современных технологий, в первую очередь твердотельной микроэлектроники как наивысшего технологического достижения современности, с «конструкциями», созданными живой природой. Сегодня мы подошли к технологическим решениям, в основе которых лежат базовые принципы живой природы, — начинается новый этап развития, когда от технического, модельного копирования «устройства человека» на основе относительно простых неорганических материалов мы готовы перейти к воспроизведению систем живой природы на основе нанобиотехнологий.

Сегодня наиболее злободневная тема в мировом масштабе — финансовый кризис. Общество было слишком долго потребителем ресурсов. Сегодня мы стали современниками ресурсного коллапса, зародившегося 50 лет назад. Для выхода из кризиса человечество технологически должно стать частью природы, жить за счет принципиально новых, неисчерпаемых ресурсов и технологий, созданных по образцу живой природы, но с использованием самых совершенных технологических достижений. И сегодня это можно сделать с помощью НБИК-технологий.

Итак, нанотехнологиям по-прежнему отводится значимая роль в дальнейшем научно-техническом прогрессе. Успехи в этой области должны помочь обществу преодолеть серьезный финансовый кризис, в условиях которого мы сегодня живем.

Далее проверим прогнозы, сделанные более 10 лет назад.

О нанокomпьютерах

К 2010–2015 гг. специалисты предсказывали создание первых нанокomпьютеров. В настоящее время нанокomпьютер или молекулярный компьютер еще не создан, хотя в этом направлении работают многие ученые во всем мире.

На сегодняшний день созданы молекулярные логические вентили (МЛВ), способные выполнять все простейшие логические операции, а также математические операции сложения и вычитания, функции кодера и декодера и т. п. Входным сигналом для МЛВ может быть любое внешнее химическое или физическое воздействие — добавление реагентов, нагрев, облучение светом и т. д. Требуется, чтобы под действием этого сигнала молекула изменяла структуру, переходила из одного состояния в другое, и при этом происходили какие-то изменения свойств. Характер этих изменений определяет тип выходного сигнала.

Были обнаружены уникальные свойства МЛВ: совместимость или накладываемость — когда одновременно выполняется нескольких логических операций (регистрируемых по разным выходным сигналам), и перенастраиваемость — когда можно один и тот же вентиль настроить на разные логические операции, из-

менив входные и/или выходные сигналы. В основе этих свойств лежит способность молекулы, в отличие от полупроводникового транзистора, выдавать сразу несколько выходных сигналов [4].

Свойства совместимости и перенастраиваемости принципиально недостижимы в используемых в настоящее время полупроводниковых элементах, где для каждой логической операции необходим свой набор транзисторов. Фундаментальной основой этих свойств является многообразие входных/выходных сигналов МЛВ, в отличие от унифицированного сигнала в полупроводниковых вентилях. Но именно это преимущество молекулярных вентилях обрачивается их недостатком при попытке соединения вентилях в цепи, без которых невозможно создание компьютера.

В цепи из нескольких МЛВ выходной сигнал одного вентиля необходимо подать на вход другого вентиля. Для этого входные/выходные сигналы МЛВ должны быть однородны (гомогенны). Гомогенность сигналов в полупроводниковых устройствах достигается автоматически, поскольку и входным, и выходным сигналом каждого элемента цепи является поток электронов.

В большинстве изученных МЛВ входные/выходные сигналы негомогенны (разнородны), и это главная проблема, возникающая на пути соединения нескольких МЛВ, без чего создание молекулярного компьютера невозможно.

Частично проблема негомогенности сигналов решается за счет уникального свойства МЛВ — способности одной молекулы производить одновременно несколько логических операций. Поэтому для МЛВ возможна принципиально другая архитектура построения цепей. На уровне небольших вычислительных блоков вместо того, чтобы соединять несколько МЛВ друг с другом (последовательная интеграция), можно синтезировать соединение с необходимым сочетанием свойств, которое будет производить заданную операцию (параллельная интеграция). Именно так работают молекулярные сумматоры, вычитатели, мультиплексоры и т. п. [4].

Имеется два варианта решения проблемы негомогенности сигналов. Это конвертеры сигнала, которые «переделывают» выходной сигнал одного вентиля таким образом, чтобы он был понятен другому. Другой вариант — разработать МЛВ с гомогенными входными/выходными сигналами. Например, для некоторых био-МЛВ, использующих принцип комплементарности азотистых оснований нуклеиновых кислот («ДНК-компьютер»), входными/выходными сигналами могут быть олигонуклеотиды, что теоретически позволяет сигнал с выхода одного МЛВ направить на вход другого.

Еще один тип МЛВ, удовлетворяющий требованию гомогенности сигналов, — полностью фотонные МЛВ, использующие и на входе, и на выходе кванты света. Однако при функционировании фотонных МЛВ возникает ряд специфических проблем, связанных с самой природой поглощения света и свойствами возбужденных состояний молекул (вероятностный характер процессов, индуктивно-резонансный перенос энергии, приводящий к тушению активности фотохромов, диссипация энергии, приводящая к нагреву системы, и т. д.). Эти пробле-

мы имеют фундаментальную основу, и некоторые из них принципиально неустраняемы, в то время как нежелательные последствия других можно минимизировать [4].

Наука о МЛВ возникла на стыке нескольких областей — химии, физики, электроники, логической алгебры — и находится на стадии фундаментальных исследований. Ученые не сомневаются, что молекулярный компьютер, работающий по тому или иному принципу, будет создан. Прогноз сбудется, но произойдет это несколько позднее.

Современная медицина

Интерес вызывают прогнозы ученых, связанные с развитием молекулярной хирургии и ремонтом биологических клеток. В этом направлении уже имеются ощутимые успехи. Приведем несколько примеров.

Получение фрагментов хряща и кости в инкубаторе

Ученые инновационного медико-технологического центра и Новосибирского института травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна синтезируют фрагменты костной и хрящевой ткани из собственных клеток пациента. Эти ткани используются для трансплантации и замещения разрушенных фрагментов. Подобные технологии призваны помочь людям, страдающим, например, заболеваниями костно-суставной системы.

Учеными отработана технология забора клеток, их криоконсервации (хранения в жидком азоте) с последующим размораживанием и размножением. Также разработана технология изготовления из клеток костной и хрящевой ткани трехмерных хондро- и остеотрансплантатов, которые можно применять для замещения поврежденных участков.

Пока ученые не могут создать трехмерные трансплантаты большого размера. В настоящий момент их диаметр не превышает 2...2,5 мм. Но на место поврежденного участка хряща или кости можно поставить несколько искусственных фрагментов: они хорошо взаимодействуют между собой и со временем становятся единым целым (<https://vn.ru/news-nanotekhnologii-trendy-2018/>).

Нейронные зонды

Исследователи Гарвардского университета разработали зонд, который выглядит и функционирует подобно настоящему нейрону. Зонды имплантируются непосредственно в ткани мозга. Для этого датчики зонда размещаются в защитных кожухах, позволяющих устройствам длительно пребывать в среде живого органа. Анализ информации, получаемой от зонда, позволяет проанализировать моменты срабатывания отдельных нейронов, способы обмена данными нервных цепей. В целом эти исследования направлены на лечение неврологических расстройств — болезни Паркинсона и Альцгеймера.

Ученые создали «головку» для размещения металлического записывающего электрода, который соответствует размеру тела клетки нейрона. Провода соединяются через сверхгибкий полимерный «хвост», напоминающий нейрит нейрона. Ширина типичной нейроновой «головки»

примерно равна 20 мк, а «хвост» может быть в 10...20 раз тоньше. Нейроноподобный электронный прибор пока является самым маленьким зондом. Для создания микроскопических инструментов исследователи использовали фотолитографию (<http://ab-news.ru>).

Нанороботы

В 1986 г. американский исследователь Эрик Дрекслер опубликовал книгу «Машины создания. Грядущая эра нанотехнологии», благодаря которой закрепил за собой право называться одним из основоположников нанотехнологических разработок. Эрик Дрекслер также является автором идеи создания нанороботов для ремонта клеток, способных диагностировать заболевания, доставлять лекарственные препараты, циркулировать в лимфатических и кровеносных сосудах человека и даже делать хирургические операции.

На современном этапе развития науки действующие и эффективные конструкции нанороботов пока не разработаны и все еще находятся на стадии обсуждения и проектирования. Ученые сосредоточены на трех основных направлениях исследований: навигация, питание и передвижение наноробота по кровеносным сосудам. Рассматривают различные варианты для каждого из этих аспектов. В научной прессе периодически появляются отчеты о достигнутых результатах в этой области. Отметим наиболее значимый из них. В 2016 г. за разработку молекулярного двигателя Бернарду Ферринге была присуждена Нобелевская премия по химии.

Заключение

На современном этапе развития различных научных направлений мы видим, что нанотехнологии находят применения в различных сферах деятельности и исследований. Синергетический эффект от применения возможностей нанотехнологий усиливается в сочетании с химией, физикой, медициной, биологией и другими научными направлениями. Ученые справедливо сравнивают значимость и масштабность возможностей нанотехнологий с информационными технологиями. Разница заключается лишь в том, что информационные технологии сегодня уже доступны каждому, а нанотехнологии подвластны лишь естествоиспытателям. Но преимущества от достижений наноиндустрии также уже входят в обиход, как минимум, в виде новых синтетических материалов.

Список литературы

1. *Бабаян Р.Р.* Нанотехника - путь к научно-технической революции // Автоматизация в промышленности. 2007. №12.
2. *Бабаян Р.Р.* От нанотехнологии к наноиндустрии // Автоматизация в промышленности. 2008. №1.
3. *Ковальчук М.В.* Конвергенция наук и технологий — прорыв в будущее // Российские нанотехнологии. 2011, Т.6. №1-2.
4. *Будыка М.* Почему наномашин уже созданы, а нанокomпьютер еще нет? // ТрВ-Наука. №22(216). 1 ноября 2016 г.

Бабаян Роберт Рубенович — д-р техн. наук, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Контактный телефон (495)334-93-01.