

Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее

М.В. Ковальчук

Эта статья посвящена тому, как трансформировалась наука, менялась ее парадигма по мере развития цивилизации и как новая научно-технологическая ситуация должна обеспечить прорывное развитие человечества в XXI веке. Речь пойдет о конвергенции – объединении, взаимопроникновении наук и технологий. Этот новый научно-технологический уклад базируется на так называемых НБИК-технологиях, где Н – это нано, Б – био, И – информационные технологии, К – когнитивные технологии, основанные на изучении сознания, поведения живых существ, и человека в первую очередь (рис. 1).

Почему же сегодня стала актуальной тема конвергенции наук и технологий и как мы к ней подошли?

Сегодня наиболее злободневная тема в мировом масштабе – финансовый кризис. Как заклинание повторяется набор слов: деньги, ипотека, финансовые схемы, падение курса валют, безработица и прочее. По сути же, кризис сегодня – это одна из волн, обострение, последствие процесса, начавшегося сразу после Второй мировой войны. В конце 1960-х годов вышла книга французских писателей Веркора и Коронеля под названием «Квота, или «Сторонники изобилия». По сюжету и композиции это остроумный сатирический и в то же время необычайно глубокий психологический роман. Основной его смысл состоит в том, что авторы наглядно показывают тупиковый путь развития общества потребления в США и в мире в целом. Оправившись после потрясений Второй мировой войны, человечество запустило новую экономическую модель развития общества под условным названием «расширенное воспроизводство и потребление». В погоне за комфортом человечество включило индустриальную машину по истреблению ресурсов, которая набирает обороты год от года. При условии, что эта машина будет обслуживать «золотой миллиард» земной цивилизации,

ее хватит надолго. Но как только хотя бы одна гигантская страна третьего мира, например Индия или Китай, выйдет на уровень потребления энергии, какой был в Соединенных Штатах в 1960-м году, фактически наступит ресурсный коллапс, что мы сегодня с вами уже видим.

Глобальный кризис начался полвека назад, а сегодня он обострился, дал «метастазы». Но мы пока продолжаем обсуждать последствия, вместо того чтобы пытаться понять причины. По моему мнению, в процессе приближения энергетического коллапса не последнюю роль сыграло то, что развитые страны, в первую очередь США, целенаправленно, на протяжении десятилетий, перебрасывали затратные, в основном устаревшие производства в Индию и Китай. Они «разбудили» эти страны, активно включив их в модель расширенного воспроизводства и потребления. Напомню, что Китай и Индия

занимают 1 и 2 места по численности населения в мире (соответственно это порядка 2.5 миллиарда человек в обеих странах), и все это население за последние 30–40 лет включилось в активное промышленное производство и потребление, а фактически в «истребление» ресурсов – формально объемы мирового производства за счет этих стран колоссально возросли, но при этом использование дешевой и зачастую неквалифицированной рабочей силы затормозило научно-технический прогресс. Ведь за последние десятилетия человечество, по сути, не совершило никакого принципиального технологического прорыва. Технический прогресс развивался линейно, путем модификации, усовершенствования уже изобретенного, как, например, увеличение числа элементов на электронном чипе. Никаких глобальных открытий сделано не было, собственно, они и не требовались.

Рисунок 1

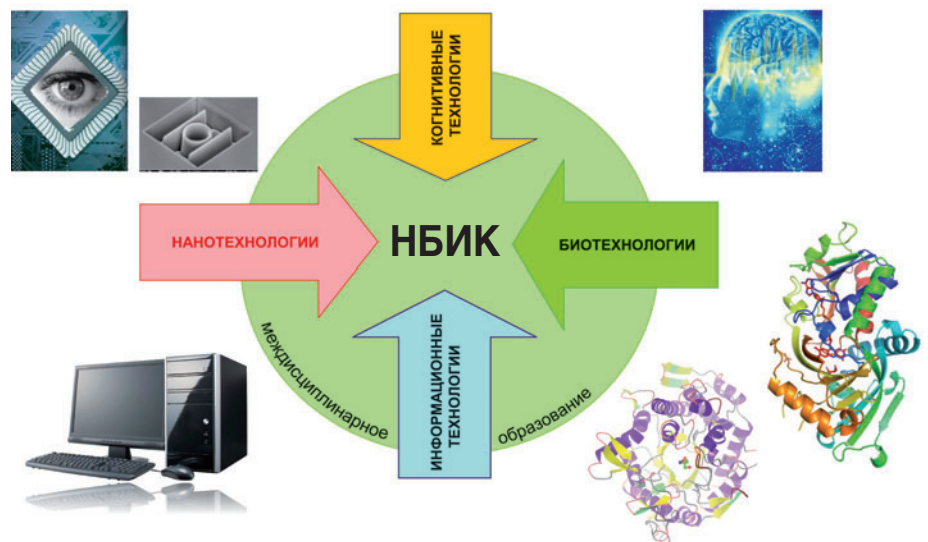


Рисунок 2

ЭТАПЫ ПОЗНАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА



Во времена паритета США – СССР был главный стимул – сохранить равновесие путем наращивания военных мощностей, развития военно-промышленного комплекса (ВПК). До сегодняшнего дня практически все технологические новшества окружающего нас бытового мира выросли именно из ВПК. В США процесс перетока военных нововведений в сферу потребления был отлажен естественным образом и шел бесперебойно, у нас же мощная инновационная экономика со всеми ее составляющими была изолирована и ориентирована исключительно на военную сферу. Когда распался СССР, соревновательность между нашими странами (пресловутое «догоним и перегоним Америку») исчезла, США по праву почивали на лаврах, но это в итоге тоже затормозило научно-технический прогресс.

Таким образом, мы стали современниками ресурсного коллапса, зародившегося 50 лет назад. Что теперь? Перед человечеством стоит дилемма: мы либо, двигаясь линейно, как сегодня, в обозримом будущем исчерпаем все ресурсы и должны будем, по сути, вернуться к первобытному строю, сохранив скотоводство, земледелие, огонь, передвигаться на лодке, велосипеде. В чем-то это гротеск, и это может произойти не через 10, а скажем, через 30–50 лет, но неизбежность этого очевидна. Но есть и второй путь – суть его в том, что мы технологически должны 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 человечество подошло к этому вплотную.

ЭТАПЫ НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ

Позвольте некий исторический экскурс на 300 с лишним лет назад – во времена Ньютона. Тогда была, фактически, только одна научная специальность – натурфилософия, естествознание, и только один «тип» ученого – натурфилософ, естествоиспытатель, (рис. 2) который изучал мир, единую и неделимую природу, непонятую на том уровне знаний и, в частности, поэтому обожествленную.

Затем, по мере роста наших знаний о природе, развития исследовательского инструментария человечество начало искусственно делить единую природу на сегменты для их более легкого понимания, изучения. Так возникли физика, химия, биология, геология и т.д. В результате этих процессов человечество постепенно сформировало узкоспециализированную систему науки и образования, которая существует и успешно функционирует до сегодняшних дней. Такой принцип устройства науки привел в том числе и к отраслевому принципу организации промышленности (рис. 3).

На начальном этапе это была примитивная деревообработка, камнеобработка, добыча полезных ископаемых и др. Отраслевые технологии усложнялись с развитием цивилиза-

ции. В XX веке возникли еще более сложные, интегрированные, межатраслевые технологии для создания самолетов, кораблей, космических ракет. Но эти сложнейшие объекты сегодняшней промышленности создавались в рамках отраслевой экономики и синергетического эффекта, взаимопроникновения технологий не происходило – было лишь аддитивное сложение успехов и результатов различных технологических отраслей.

НАДОТРАСЛЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ИНФОРМАЦИОННЫЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Всего несколько десятилетий назад появились информационные технологии, которые поначалу рассматривались в прежней отраслевой парадигме: появилась еще одна отрасль, еще одна новая технология. Но в действительности в лице информационных технологий впервые появилась технология, имеющая надотраслевой характер. Сегодня очевидно, что ни в одной из известных отраслей нет прогресса без использования информационных технологий – это и телемедицина, и дистанционное обучение, и числовые управляемые станки, автоматическая система пилотирования автомобилей, самолетов, кораблей и т.д. Таким образом, информационные технологии стали неким «обручем», который объединил все науки и технологии (рис. 4). 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, новом укладе промышленного производства, основанном на использовании отдельных атомов и молекул. Играя 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. А любая область знаний, любая отрасль промышленности предполагает в первую очередь создание материалов. Так вот, нанотехнологии дают нам принципиально

новый фундамент в виде технологий атомно-молекулярного конструирования для создания этих материалов. Нанотехнологии – это принципиальная модернизация всех существующих дисциплин и технологий на атомарном уровне (рис. 5). Нанотехнологии меняют принцип создания материалов, их свойства, то есть фундамент для развития всех без исключения отраслей экономики постиндустриального общества.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЫ

Попытаемся сформулировать основные черты современного этапа развития научно-технической сферы (рис. 6).

Во-первых, переходя к наномасштабу, мы получаем возможность манипулировать атомами и молекулами, составляющими любое вещество. Сто лет назад главная цель науки заключалась в стремлении проанализировать и понять, каким образом устроен окружающий мир. В XX веке, используя электромагнитное излучение и частицы, человечество двигалось по пути анализа в область микромира, последовательно открывая молекулы, атомы ядра и элементарные частицы. В середине прошлого столетия, благодаря открытию рентгеновского излучения, рентгеновской дифракции, стали видны молекулы и атомы, появилась возможность видеть их, а позднее и манипулировать ими. Соединяя отдельные атомы и молекулы, стало возможным конструировать из них новые вещества.

Таким образом, появились искусственные материалы, хорошо известные нам сегодня: полупроводниковые кристаллы (кремний, германий, арсенид галлия), диэлектрические кристаллы, лазерные и т.д. Большие успехи были достигнуты и в органическом материаловедении – был создан синтетический каучук, целый ряд полимеров и других биоорганических объектов.

Таким образом, в середине прошлого столетия, наряду с основной линией развития на уки – анализом, начала формироваться новая линия – линия синтеза, когда человечество руками и разумом ученых начало синтезировать искусственные материалы, даже такие, которых нет в природе и которые обладают свойства-

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Отраслевые технологии:

металлургия, химическая промышленность, стройматериалы, добыча полезных ископаемых и др.

Интегрированные межотраслевые технологии:

микроэлектроника, крупное машиностроение, энергетика и др.

Надотраслевые (базовые) технологии:

Информационные технологии

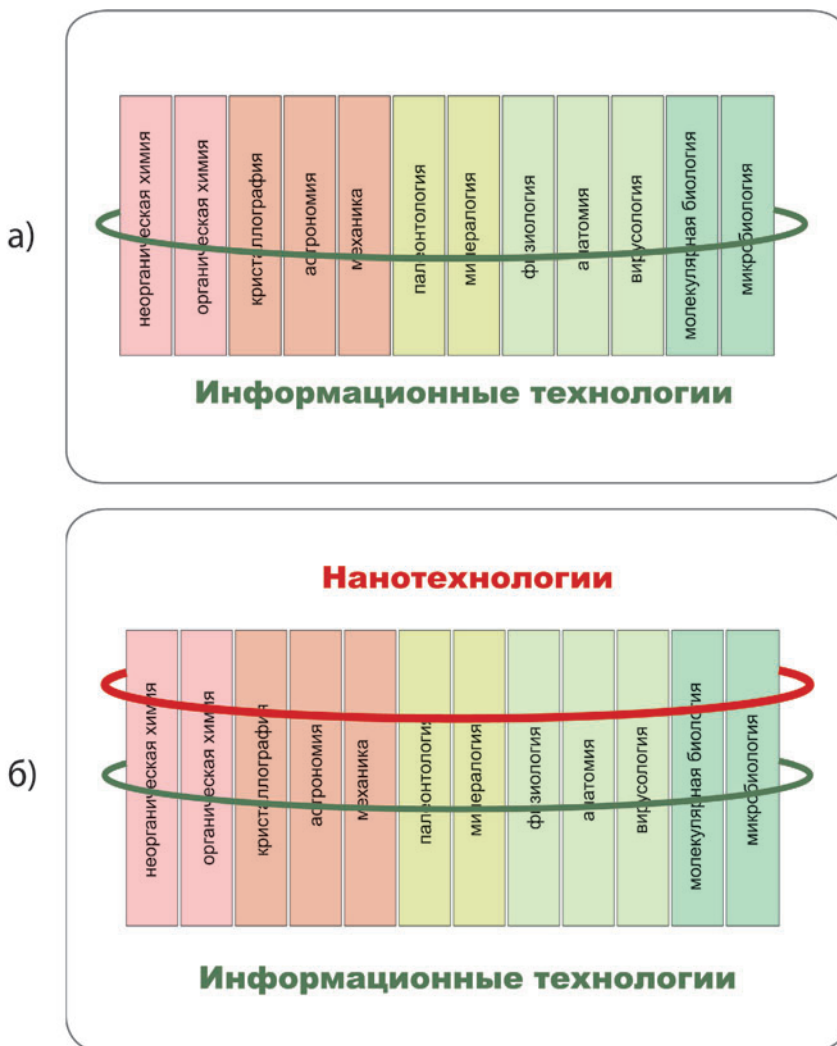


Рисунок 5

НАНОТЕХНОЛОГИИ

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Нанотехнологии — первый **надотраслевой приоритет**, единый (на атомном уровне) фундамент для развития ВСЕХ отраслей новой наукоемкой экономики постиндустриального общества

ми, 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 (рис. 7). Но если еще 50 лет назад конструирование таких новых материалов шло во многом эмпирически, то сейчас, с появлением качественно новой исследовательско-технологической базы, мы можем контролировать процессы, которые происходят на атомно-молекулярном уровне, смоделировать и запро-

граммировать результат с помощью суперкомпьютера.

Вторая характерная черта на учного развития на данном этапе — это сближение органического мира, мира живой природы, с неорганическим, в чем мы достигли больших успехов в последние десятилетия. Как следствие — принципиально меняется подход к организации исследовательской работы — от узкоспециального мы должны перейти к междисциплинарному методу проведения научных исследований. Ученый, манипулирующий атомами, создающий из них

новые вещества, не может назвать себя физиком, химиком или биологом. Этот ученый — тоже естествоиспытатель, каким был Ньютон 300 лет назад, но уже на качественно новом уровне, «уровне знаний».

НАНОТЕХНОЛОГИИ: ДВА ПУТИ РАЗВИТИЯ

Раньше мы шли «сверху», то есть двигались в сторону уменьшения размеров создаваемых предметов: рубили дерево, обтесывали бревно, распиливали его на доски, делали вагонку или же добывали руду, выплавляли ее, делали болванку, обтачивали на станке и т.д. — т. е. отрезали все лишнее. В итоге мы получали доску или металлическую деталь, но большая часть наших усилий — материальных и технологических — шла на создание отходов и на загрязнение окружающей среды. Сейчас мы начинаем идти «снизу», с уровня атомов, складывая из них, как из кубиков, материалы и системы с заданными свойствами. 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 развитие двух самостоятельных направлений (рис. 8).

Что я имею в виду? С одной стороны, нанотехнологии — это новая технологическая культура, основанная на конструировании макроматериалов путем направленного манипулирования атомами и молекулами, размер которых порядка миллиардной доли метра, то есть нанометра. 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 промышленности, и, следовательно, речь идет о формировании рынка принципиально новой продукции в рамках существующего экономического уклада. Уже сегодня мы можем создавать разнообразные наноструктуры с разными свойствами, например, используя полупроводниковые изолирующие, электро-

Рисунок 6

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ СФЕРЫ

Переход к наноразмеру, изменение парадигмы развития от анализа к синтезу

Сближение и взаимопроникновение «неорганики» и органического мира живой природы

Междисциплинарный подход вместо узких специализаций

Возврат к единой целостной картине мира

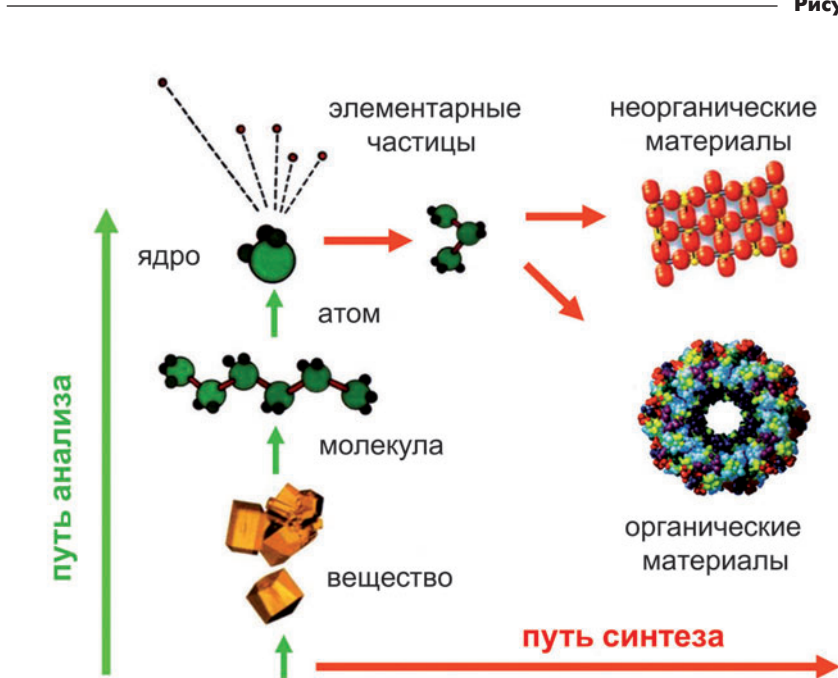
Рисунок 7

проводящие слои, углеродные материалы, в частности, область применения которых очень широка. Таким же образом мы можем создавать качественно новые сплавы для трубопроводов или платформ для добычи нефти, корпусов атомных реакторов, новые материалы для строительства или дорожного покрытия и многое другое. Такие новые материалы с качественно новыми, улучшенными характеристиками востребованы во всех сферах – от медицины до строительства, от информатики до легкой промышленности и т.д. Естественным результатом этого станет эволюционное изменение технологического и, как следствие, социально-экономического уклада общества.

Парадигма развития науки в конце XX века изменилась от изучения того, как устроен мир, к тому, чтобы целенаправленно и оптимальным путем самим создавать какие-то его элементы. Этот путь развития четко определен – наука достигла определенного уровня, и новейшие достижения нанотехнологий должны плавно и естественно перетекать в сферу производства, создавать новые продукты, формировать новые рынки и улучшать старые. Это процесс линейный, и на сегодняшний день можно сказать, что в России впервые после долгого перерыва создана для этого и необходимая инфраструктура, а главное – возникла идеология развития научного проекта.

В президентской инициативе развития нанотехнологий в Российской Федерации речь идет о решении двух принципиально различных задач. Первая задача развития нанотехнологий, как уже говорилось выше, состоит в совершенствовании технологий атомно-молекулярного конструирования и создания этим путем макроматериалов. Эта задача понятная, она сегодня основана на модернизации существующих производств путем введения нанотехнологических решений, материалов и дальнейшего совершенствования и перевода экономики на новые рельсы – более экономичные. Это уже стало государственной политикой, определена головная научная организация – РНЦ «Курчатовский институт», под его эгидой формируется национальная нанотехнологическая сеть.

Госкорпорация «Роснано» создана для внедрения на учных разработок в промышленность, их коммерциализации и поддержки инфраструктуры. Кроме того, в Рос-



сии есть ряд федеральных целевых программ, одна из них – «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы», направленная на создание и развитие научно-технологической инфраструктуры. На НИОКР в области наносистем и живых систем выделены значительные бюджетные средства.

Важно отметить, что мы снова производим «средства производства» для развития нанотехнологий: стро-

им источники синхротронного излучения, нейтронов, установки молекулярно-лучевой эпитаксии, атомно-силовые микроскопы и крупные технологические комплексы на их базе, проводим модернизацию действующих «машин», активно участвуем в международных проектах, таких как CERN, международный термоядерный реактор ITER, уникальный Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах XFEL. В последних проектах финансовый

Рисунок 8



Рисунок 9

**основная цель развития науки и техники
постиндустриального общества —
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СИСТЕМ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ**



и интеллектуальный вклад России составляет существенную часть.

«ЗАПУСК БУДУЩЕГО»

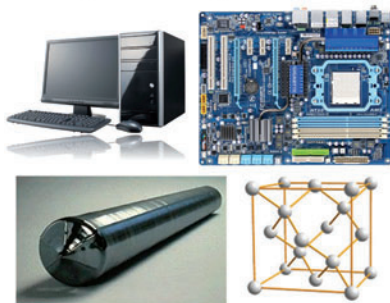
Но вернемся ко второй составляющей нанотехнологий, в основе которой лежит сближение и взаимопроникновение «неорганики» и биоорганического мира живой природы. Это

направление развития нанотехнологий называется «запуск будущего» и состоит в соединении возможностей современных технологий, в первую очередь твердотельной микроэлектроники как наивысшего технологического достижения современности, с «конструкциями», созданными живой природой (рис. 9).

Рисунок 10

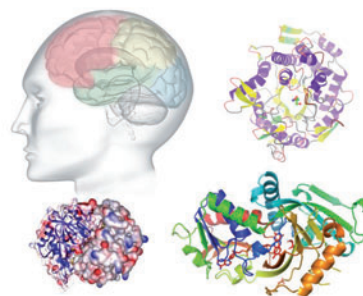
**основная цель развития науки и техники
индустриального общества —
ИЗУЧЕНИЕ «УСТРОЙСТВА» И ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ЧЕЛОВЕКА И ИХ КОПИРОВАНИЕ В ВИДЕ
МОДЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Модельный путь – XX век



Технология твердотельной микроэлектроники, воспроизводимая в любой точке мира

Живая природа



Биоробототехнические системы

Бесспорно, что самое сложное создание, уникальное во всех смыслах, — это человек: самосогласованная и единая система, в которой нет по отдельности ни физики, ни химии, ни биологии, ни математики. В нас есть все эти компоненты, которые составляют замкнутую самоорганизованную систему, и, чтобы понять, мы должны оценивать ее целиком. Стремление человечества в развитии научно-технического прогресса — достичь в технологических приборах того совершенства, которое заложено в каждом из нас.

В XIX–XX веках, создавая новые технические системы, мы прежде всего копировали себя, пытались усовершенствовать то, что дано нам природой. Например подъемный кран — это фактически имитация руки, в оптических приборах мы имитируем и совершенствуем человеческое зрение, в акустических — слух и т.д. Когда началось развитие полупроводниковой микроэлектроники, компьютеров, образец для подражания был очевиден — человеческий мозг. Но сложные белковые молекулы состоят из десятков и даже сотен тысяч атомов, их пространственная структура не была известна 60 лет назад. Поэтому проще было в качестве материальной основы взять модель из неживой природы, и для развития полупроводниковой микроэлектроники и вычислительной техники начали использовать полупроводниковые кристаллы, например кремния, в элементарной ячейке которого всего восемь атомов (рис. 10). Двигаясь по этому пути, человечество создавало все более совершенные технологии, как, например, молекулярно-лучевая эпитаксия, которая используется для получения тонких структур порядка размеров атомов, и новые структуры — так называемые структуры с квантовыми точками, образование и поведение которых подчинено принципам самоорганизации.

Уникальные технологии микроэлектроники позволяют нам сегодня, сочетая литографию и последовательные совмещения, делать где угодно одну и ту же интегральную схему, то есть фактически мы имеем технологию, воспроизводимую в любой точке мира. Благодаря достижениям фундаментальной науки, использующей в первую очередь рентгеновскую физику, рассеяние синхротронного излучения и нейтронов, ядерно-магнитный резонанс, суперкомпьютеры, стала очевидна структура биологических объектов. Мы определили их сложную трехмерную пространственную структуру,

Рисунок 11

изучили механизмы функционирования этих биологических молекул. 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 (рис. 11).

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ – ОСНОВА НОВОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

Развитие этих направлений, создание гибридных материалов и систем на их основе требует принципиально новых подходов и формирования принципиально нового научного уклада. Готово ли к этому сегодня на учное сообщество? Одно из главных у словий — наличие специалистов междисциплинарной направленности.

Представьте, что вы хотите создать с помощью нанотехнологий устройство, подобное человеческому глазу. С одной стороны, глаз — это уникальный оптический прибор, а с другой — это биологический объект, фоточувствительный белок, в котором протекают сложные биохимические процессы. Так что моделирование глаза — это задача для большой команды специалистов из разных научных областей: физиков и математиков, химиков и биологов, медиков и физиологов, инженеров, приборостроителей, схемотехников и др., работающих в рамках единого подхода на общий результат, на основе единой инфраструктуры.

Серьезный фактор, препятствующий развитию такого единого подхода, — действующая сегодня во всем мире система финансирования и организации науки. Она построена по узкоспециальному принципу и затрудняет организацию междисциплинарных исследований. Чтобы перейти к «запуску будущего», необходимо в корне изменить нынешнюю организацию науки, причем в мировом масштабе. Те страны, которые смогут быстро и эффективно перестроить систему научных исследований и образования, нацелить их на междисциплинарные исследования, обеспечат себе достойное место в глобальном мире. Перед человечеством сегодня стоит задача формирования и развития принципиально нового подхода, и речь идет в первую очередь о

**основная цель развития науки и техники
постиндустриального общества —
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СИСТЕМ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ**



конвергентных технологиях НБИК.

Сама логика развития науки привела нас от узкой специализации к междисциплинарности, затем наддисциплинарности, а теперь фактически к необходимости объединения наук. Но не к простому геометрическому сложению результатов, а к их синергетическому эффекту, взаимопроникновению (рис. 12).

НАНО-, БИО-, ИНФО-, КОГНО- (НБИК) ТЕХНОЛОГИИ И КУРЧАТОВСКИЙ НБИК-ЦЕНТР

На первом этапе это касается объединения четырех глобальных направлений сегодняшней науки и технологий НБИК: Н — это нано, новый подход к конструированию материалов «под заказ» путем атомно-молекулярного конструирования, Б — это био, что

Рисунок 12

КОНВЕРГЕНЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ



Формирование нового технологического уклада основано на синергетической интеграции четырех прорывных технологий

Рисунок 13



КУРЧАТОВСКИЙ НБИК-ЦЕНТР

- Курчатowskiй центр синхротронного излучения
- Исследовательский нейтронный реактор ИР-8
- Центр обработки данных
- Центр нанобионаук и технологий



позволит вводить в конструирование неорганических материалов биологическую часть и таким образом получать гибридные материалы, И – информационные технологии, которые дадут возможность в такой гибридный материал или систему «подсадить» интегральную

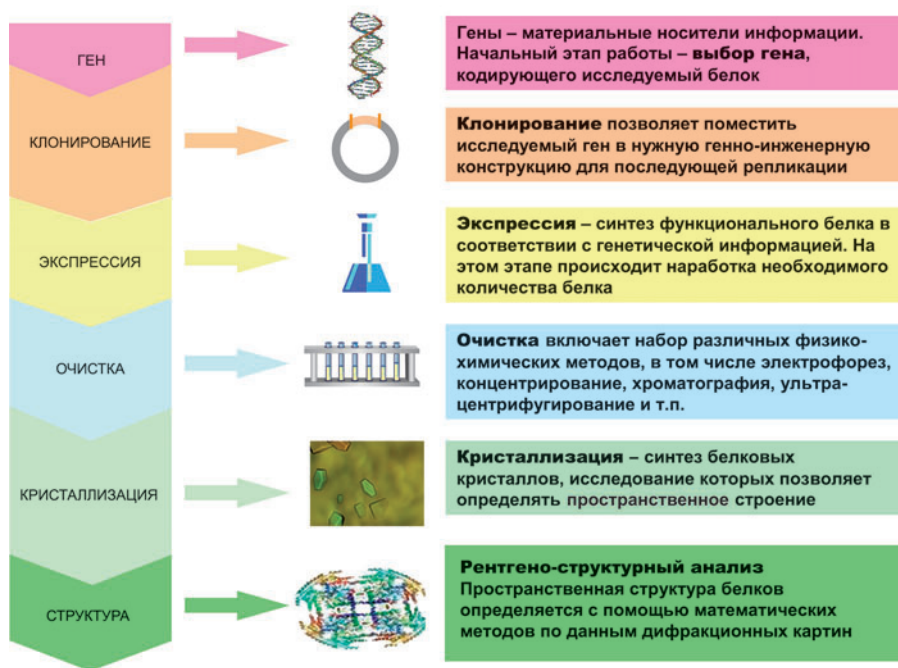
схему и в итоге получить принципиально новую интеллектуальную систему, а К – это когнитивные технологии, основанные на изучении сознания, познания, мыслительного процесса, поведения живых существ, и человека в первую очередь, как с нейрофизио-

логической и молекулярно-биологической точек зрения, так и с помощью гуманитарных подходов. Присоединение когнитивных технологий даст возможность, основываясь на изучении функций мозга, механизмах сознания, поведения живых существ, разрабатывать алгоритмы, которые фактически и будут «одушевлять» создаваемые нами системы, наделяя их неким подобием мыслительных функций.

Смысл создания НБИК-центра в Курчатовском институте состоял в том, чтобы сформировать инфраструктурную базу этой конвергенции наук и технологий. Ядро, вокруг которого развивается Курчатowskiй НБИК-центр, – уникальная комбинация МЕГА-установок мирового класса – источников синхротронного излучения и нейтронов. Курчатowskiй НБИК-центр включает в себя новый нанотехнологический корпус, модернизированный и реконструированный источник синхротронного излучения, исследовательский нейтронный реактор ИР-8, центр обработки и хранения данных на основе суперкомпьютера (рис. 13). В Курчатowskiй НБИК-центре сосредоточено уникальное рентгеновское оборудование, атомно-силовые и электронные микроскопы, различные технологические приборы для нанобиотехнологий и микроэлектроники, зоны чистых комнат и многое другое. Хочу отметить, что существующая часть этого уникального оборудования разработана и изготовлена отечественными компаниями.

Рисунок 14

ОТ ГЕНА К СТРУКТУРЕ



ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАТФОРМЫ КУРЧАТОВСКОГО НБИК-ЦЕНТРА

Основная цель конвергенции четырех направлений – формирование новой технологической культуры, нацеленной в первую очередь на создание гибридных материалов и систем на их основе. Причем речь идет о принципиально новом поколении антропоморфных систем бионического типа, воспроизводящих в конечном итоге конструкции живой природы – биоробототехнические системы. Для этого в Курчатowskiй НБИК-центре мы создали на научно-технологическую платформу с условным названием «ГИБРИД». На ее примере поясню принцип построения платформы для конвергентных НБИК-технологий.

В подразделении НБИК-центра под условным названием «гибридные приборы» работают специалисты, хорошо разбирающиеся в устрой-

ПРИНЦИПЫ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Междисциплинарное образование

- Закладывается в средней школе,
- Развивается на этапе бакалавриата,
- Закрепляется в магистратуре, где в сопоставимых объемах осваиваются курсы физического, химического, биологического и информационного направлений.
- Ориентируется в аспирантуре на конкретное направление НБИК-наук.



стве, эксплуатации приборов определенного типа и назначения (оптических, акустических и др.). Они создают техническое задание на проектируемый прибор или устройство. Следующее подразделение, также под условным названием «инженерно-технологический центр», имеет необходимые средства и технологии для практической реализации подготовленного техзадания. Но главная проблема при разработке «гибридного» материала и прибора связана с соединением технологических возможностей микроэлектроники с биологическими элементами – основой живой природы.

В рамках Курчатовского НБИК-центра нами было сформировано мощное подразделение нанобиотехнологий, которое включает в себя: генно-инженерную и иммунологическую лаборатории, лабораторию стволовых клеток и клеточных технологий и др. Важную связующую роль между биологией и микроэлектроникой играет кристаллографическое отделение, которое включает в себя синхротронно-нейтронный центр, комплекс для физико-химических, механических и других исследований различных материалов, кристаллизации белков, а «мостиком» между биологическим и кристаллографическим подразделениями служит созданная нами «белковая фабрика».

Рассмотрим схематично работу этой части НБИК-инфраструктуры. Например, мы хотим создать оптический сенсор, имитирующий глаз живого организма. Сегодня любой оптический прибор состоит из детектирующей части, как правило, кристаллической, обладающей определенным набором свойств, например спектральной чувствительностью, радиационной стойкостью и т.д., и считывающего устройства (интегральной схемы), которое обрабатывает сигнал (изображение), фиксируемое детектирующей частью. На первом этапе наша задача состоит в том, чтобы заменить эту детектирующую часть, как правило, неорганической природы, на материал биологического происхождения. Последовательность технологических операций может быть такова: для использования в качестве детектора конкретного фоточувствительного белка в первую очередь необходимо выделить ген, который клонирует этот определенный белок, и затем «вставить» этот ген в некую конструкцию (например E-coli), для того чтобы экспрессиро-

вать (наработать) нужное количество этого белка. Затем наработанный белок проходит стадии различной обработки, очистки и т.д. и далее поступает в конечный сегмент белковой фабрики на кристаллизацию. На этой стадии белок превращается в трехмерный (или двумерный) кристалл. При этом кристаллизация может проводиться как в лабораторных условиях, так и в условиях микрогравитации на космической станции. Затем атомную структуру полученного белкового кристалла расшифровывают с использованием синхротронного излучения (рис. 14), нейтронов и др. Полученные данные обрабатываются с использованием суперкомпьютера – также части НБИК-инфраструктуры. Фоточувствительный белок с хорошо изученной структурой, свойствами и функциями необходимо соединить с твердотельной подложкой, которая в свою очередь должна быть превращена в некий прообраз электронной схемы. Это очень приблизительное, схематическое, но понятное описание использования НБИК-инфраструктуры для получения гибридных материалов и систем на их основе.

СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ – НОВЫЙ ЭТАП В КОНВЕРГЕНЦИИ НБИКС-ТЕХНОЛОГИЙ

Помимо перечисленных подразделений в НБИК-инфраструктуру входит: суперкомпьютерный центр, медико-биологическое подразделение, подразделение когнитивных исследований и технологий, состоящее из нейрофизиологического блока и гуманитарной части.

Развивая когнитивные исследования, мы пытаемся реализовать принципиально новый подход. С одной стороны, мы изучаем процессы сознания с помощью нейрона ук, физиологии и молекулярной биологии, а с другой стороны, одновременно привлекаем гуманитариев различных специальностей: философов, психологов, социологов, лингвистов, этнографов и др. Поясню, что, изучая поведение человека или животного в момент принятия решения, мы смотрим на распространение сигнала по нейронным сетям, возбуждение различных отделов мозга с нейрофизиологических позиций, далее опускаясь на молекулярный уровень. С другой стороны, одновременно мы можем исследовать этот же процесс с помощью гуманитарных технологий, например, изучая поведенческие, речевые, психологические и другие особенности.

Привлечение гуманитарных технологий дает нам право говорить о создании новой конвергентной НБИКС-технологии, где «С» – это социальные гуманитарные технологии.

Напомню, что при создании НБИК-инфраструктуры, ставя перед собой цель создания гибридных материалов, мы опирались на экспериментальную базу Курчатовского института, состоящую из МЕГА-установок – специализированного источника СИ и нейтронного реактора, стоимость которых составляет миллионы долларов. Но уникальность этого комплекса, дополненного большим количеством исследовательских методик и при-

боров, позволила нам сформировать «попутно», без специальных затрат, целый ряд принципиально новых современных исследовательско-технологических платформ, крайне важных для прорыва на ключевых направлениях научно-технологического развития. Приведу ниже эти платформы.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ:

- Гибридных материалов и систем — соединение нанобиотехнологий с микроэлектроникой (ГИБРИД);
- Генетической базы персональной медицины, этногенетического картографирования, создания и искусственной клетки как основы принципиально новых медицинских технологий (ГЕНОМ);
- Новых лекарственных препаратов и средств их целевой доставки: медико-биологический комплекс — белковая фабрика — кристаллизация, в том числе в космосе — расшифровка структуры — синхротрон — суперЭВМ — синтез препаратов (ЛЕКАРСТВА — ДИЗАЙН И ДОСТАВКА);

- Новых методов синхротронно-нейтронной диагностики материалов, неорганических и органических (СИН-ДИАГНОСТИКА).

ДЛЯ РАЗРАБОТКИ:

- Когнитивных наук и технологий — синтез нейрофизиологии, молекулярной биологии и гуманитарных наук (КОГНО);
- Технологий изотопного материаловедения и ядерной медицины — развитие нейтронной и нейтронзахватной терапии, инновационные радиофармпрепараты, новые материалы (ИЗОТОП), влияние излучений и частиц на живые организмы (БИОРАДИАЦИЯ);
- Перспективных энергетических технологий — создание инновационных технологий производства и потребления энергии, в том числе биоэнергетика, атомная и водородная энергетика, солнечная энергетика, термоядерный синтез (ЭНЕРГОТЕХ);
- Многоуровневого компьютерного моделирования и конструирования (суперЭВМ).

КОНВЕРГЕНТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В настоящее время в Курчатовском НБИК-центре мы создаем прообраз производства будущего, включающий в себя уникальное нанобиотехнологическое производство; исследовательско-диагностические и технологические возможности на базе МЕГА-установок — источников синхротронного излучения и нейтронов и космической станции; основные элементы и технологии полупроводниковой микроэлектроники; подразделение когнитивных исследований и разработок, состоящее из нейрофизиологической и гуманитарной частей.

Все эти чрезвычайно сложные технологии требуют специалистов принципиально нового класса, подготовленных уже на междисциплинарной основе. При этом таких междисциплинарно образованных специалистов не должно быть много, на сегодняшний день это, можно сказать, элита научного сообщества (рис. 15). Наш первый опыт подготовки таких ученых — совместная кафедра физики наносистем на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова и РНЦ

Рисунок 16



«КИ», которая успешно работает с 2005 года. Студент, получив степень бакалавра по одной специальности, затем поступает в магистратуру, где уже нет разделения по специальностям, а производится «интегрированное» обучение. Поскольку количество читаемых курсов формально превышает учебный план, у студентов есть возможность выбора индивидуальной траектории. Студенты нашей кафедры могут работать на уникальном оборудовании и в МГУ, и в РНЦ «Курчатовский институт», и в ряде академических институтов, в первую очередь в Институте кристаллографии и м. А. В. Шубникова РАН.

Следующий наш образовательный проект – созданный в мае 2009 года в Московском физико-техническом институте факультет нано-, био-, информационных и когнитивных технологий (ФНБИК), не имеющий на сегодня мировых аналогов (рис. 16). В новой структуре мы постарались наиболее полно реализовать идею непрерывной междисциплинарной подготовки специалистов в области нанотехнологий, конвергентных технологий. Для этого у РНЦ «КИ» есть четыре базовые школы, где занятия по физике и математике ведут наши ученые. На новом факультете уже с первого курса идет преподавание химии, биологии, когнитивных наук. Студенты факультета имеют возможность не просто прийти посмотреть на НБИК-центр, но и начать здесь работу. Но главное, у них есть возможность получать навыки работы на самом современном оборудовании, работая бок о бок с ведущими учеными, участвуя в творческом процессе.

Я думаю, сегодня можно уже с уверенностью сказать, что Курчатовский НБИК-центр конвергентных наук и технологий по праву занимает лидирующие позиции среди ведущих научных центров мира, а для всей российской науки создан серьезный задел, заложены основы для прорыва.

НБИКС-ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА ПРИРОДОПОДОБНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ XXI ВЕКА

В заключение я хотел бы снова вернуться к мировому кризису, связанному с конечностью используемых ресурсов, в первую очередь энергетических. Напомню, что устойчивое развитие цивилизации прежде всего связано с достаточным энергообеспечением.

Качество жизни в конечном итоге определяется количеством потребляемой энергии. Именно поэтому сегодня в мире самое пристальное внимание

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



уделяется вопросам развития энергетики. Наряду с традиционной углеводородной энергетикой активно развиваются новые энерготехнологии, переживает ренессанс атомная энергетика, большинство развитых стран реализуют глобальный проект по созданию международного термоядерного реактора ИТЭР – прообраза энергетики будущего (рис. 17).

При этом большое внимание уделяется так называемым возобновляемым источникам энергии, среди которых особое место занимает солнечная энергетика.

Несмотря на то что возобновляемая солнечная энергетика технологически развивается уже многие десятилетия и эффективность солнечных элементов существенно выросла, все же солнечная энергетика так и не смогла стать мощным энергетическим ресурсом. Почему же солнечная энергетика до сих пор не может стать мощной, адекватной современности энерготехнологией? Природа использует и запасает солнечную энергию через процесс фотосинтеза. В солнечной энергетике мы моделируем этот природный процесс переработки солнечной энергии, но вместо недоступной

пока для воспроизведения сложной биоорганической структуры зеленого листа используем модельную полупроводниковую структуру.

Но живая природа сама по себе – очень «экономный» пользователь энергии, она правильно самоорганизована, и ей с лихвой хватает «маломощной» энергетики фотосинтеза. В нашей современной жизни мы используем искусственно созданные нами машины и механизмы, потребляющие колоссальное количество энергии. Для их энергоснабжения в принципе не может хватить возможностей экономичных, «природоподобных» энерготехнологий.

Наряду с развитием и совершенствованием существующих технологий перед человечеством стоит сложная и амбициозная задача – создание принципиально новых технологий и систем использования энергии, то есть замена сегодняшнего конечного энергопотребителя системами, воспроизводящими объекты живой природы.

Сегодня уже очевидно, что это можно сделать, «запуская будущее» на базе конвергентных нано-, био-, инфо-, когно-, социогуманитарных (НБИКС) технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bainbridge M.S., Roco M.C. // Managing nano-bio infocogno innovations: converging technologies in society. Springer, 2005.
2. Веркор, Коронель // «Квота или «Сторонники изобилия». М: Прогресс, 1970.
3. Ковальчук М.В. // Кристаллография на рубеже веков: итоги и перспективы. Кристаллография. № 44 (6). 1999.
4. Ковальчук М.В. // Органические наноматериалы, наноструктуры и нанодиагностика. Вестник Российской академии наук. № 73 (5). 2003.
5. Ковальчук М.В. // Нанотехнологии как новая технологическая революция. Индустрия наносистем и материалы. Сборник Министерства образования и науки РФ. 2008.