

Нано — это маленькая жизнь

Рисунок «Инсайд ё майнд»: **Марьяна Успенская**
Фотографии: **Фархат Тухватуллин**

Сегодня сделалось немодным обсуждать развитие технологий в проблемном ключе. Мировой консенсус экспертов и ЛПРов¹ в отношении перспективных нано- и биотехнологий, похоже, окончательно заглушил попытки скептического прогнозирования в этой сфере. Решения приняты, деньги выделены, люди работают: все, казалось бы, ясно, что тут прогнозировать?

А ведь 10–20 лет назад в спорах о перспективах информационного мира ломались копья — были написаны целые тома, созданы утопии. Сегодня информационное общество вроде бы построено, и мир, по слухам, стоит на пороге новой революции — нанотехнологической. Так чего же нам можно ждать или хотеть от прекрасного нового наномира? Есть ли место наноутопии? Какой она может или должна быть²?

¹ Лидеров, принимающих решения.

² Статья написана по материалам ряда исследований, в частности Переслегин С.Б. и другие. Новые карты будущего или АнтиРенд. — АСТ, Terra Fantastica, 2009 г.





Артём Желтов

Аналитик, возмутитель спокойствия. Участник Санкт-Петербургской школы сценирования, сотрудник фонда «Энциклопедия». Долгое время занимался проблемами долгосрочного прогнозирования. Участвую во многих проектах, соучаствую в нескольких книгах, веду уютный ЖЖ-журнальчик, диссертацию так и не защитил.

artiom.zheltov@gmail.com



Технологический пакет прописан в информационной среде, в частности, в языковом и в нормативно-правовом пространствах — отражён в литературе, кино, образует связанную с ним группу языковых понятий.

Технологический пакет: понятие

Первая проблема, с которой в данном случае приходится сталкиваться исследователю, — это проблема масштаба и детализации. Её суть в том, что крайне трудно определить ту самую «технологию», которая может являться объектом анализа. При попытке выделить «атом» технологии исследователи упираются в дурную бесконечность: «для создания этой технологии нужны ещё технологии, для которых, в свою очередь...». При переходе от логики технологий к логике товаров и продуктов существенно меняются результаты прогноза.

Единичные технологии представляют собой слишком маленький объект для анализа. На уровне отдельной технологии нельзя отследить, какая важна и значима, а какая — нет. Анализ каждой конкретной технологии имеет смысл, самое большое, при внутриотраслевом форсайте или работе с возможными решениями для конкретного продукта. Но для среднесрочных прогнозов технологического развития этот масштаб является слишком маленьким.

Наиболее удобной формой отслеживания и прогнозирования технологического развития является «пакет технологий» (или «технологический пакет»). Понятие «пакета технологий» включает в себя набор технологий и научно-технологических решений, составляющий объект, ведущий себя как независимая техническая система. Пакет технологий развивается самостоятельно, его внутренние связи и взаимозависимости прочнее, чем внешние.

Пакет включает в себя как физические, так и гуманитарные технологии. К гуманитарным относятся, в частности, необходимые для развития техники управленческие, образовательные, кадровые, бизнес-технологии, а также культурологические, социальные, коммуникативные, тренинговые.

Как правило, пакет имеет инфраструктурную составляющую, то есть опирается на те или иные сети. Более

того, без определённых инфраструктур существование «поздних» пакетов невозможно. Так, нормальная работа компьютера и сотового телефона в условиях отсутствия электросетей по меньшей мере затруднительна, а работа пакета «Добыча нефти и газа» без создания соответствующей транспортной инфраструктуры коммерчески бессмысленна.

Пакет взаимодействует с социальной средой, оказывая на неё значимое воздействие вплоть до создания новых социальных структур и механизмов. Изобретение автоматического оружия полностью переформатировало войну, возникновение реактивной пассажирской авиации привело к развитию туризма и повышению мобильности населения, изобретение радио породило тоталитарные управленческие структуры, а распространение и развитие телевидения installировало постдемократическую систему общественных отношений. Вообще говоря, социальная среда всегда изменяется таким образом, чтобы в максимальной степени соответствовать требованиям технологических пакетов.

Кроме того, технологический пакет прописан в информационной среде, в частности, в языковом и в нормативно-правовом пространствах — отражён в литературе, кино, образует связанную с ним группу языковых понятий, возможно — субкультуру. В качестве примеров пакетов, для которых всё это выполняется в явной форме, можно назвать авиацию, право, страхование, торговлю.

Этапы развития пакетов

Информационные технологии — наиболее динамичный и развитый пакет из всех, появившихся в сравнительно недавнее время. Пакет включает в себя собственно компьютеры, производство программного обеспечения, а также стремительно развивающиеся средства связи, в т. ч. беспроводной. На этом примере удобно продемонстрировать особенности развития технологи-

ческих пакетов в целом.

Для ИТ классическим пакетом технологий является персональный компьютер. Его эффективность может быть оценена по быстройдействию, выраженному в тактовой частоте процессора, или скорости вычислений (параметры, производные от технологического совершенства, но не зависящие напрямую от какого-либо конкретного технологического решения). В таком случае для прогнозирования не нужно разбираться с технологиями литографии, сверхплотной записи данных и ЖК-дисплеями. Достаточно отследить перспективы и особенности развития всем понятных персональных компьютеров.

Технологическое развитие цивилизации связано не столько с созданием новых технологий, сколько с развитием одной или нескольких технологий в форме пакета. Хрестоматийный пример: паровая машина была изобретена Героном Александрийским в эпоху античности, но соответствующий технологический пакет начал оформляться только в конце XVIII столетия и был окончательно оформлен к началу последней трети XIX века (изобретение компаунд-машины, создание сети угольных станций и сети железных дорог). Существует вероятность, отличная от нуля, что подобную судьбу могут повторить и столь популярные в настоящее время, но ограниченно полезные практически и слабо применяемые нанотехнологии.

Фазовое состояние цивилизации задаётся небольшим числом базовых технологических пакетов. Почти все они «прописаны» в виде производственных цепочек, что подразумевает наличие в структуре пакета той или иной финансовой / экономической / торговой составляющей³.

³ Без реализации продукта цепочка неполна — в подобной логике описываются экономические кластеры. Собственно, технологический пакет и образует в территории аналог кластера. Есть потребительский рынок, есть экономические отношения юридических лиц, есть управление сложными финансовыми инструментами. Всё это вместе и по отдельности обеспечивает замыкание производственных цепочек и, таким образом, функционирование пакетов.



Как правило, крупные корпорации (в том числе государственные) стремятся достроить себя до уровня полного контроля над макропакетом. Это позволяет, в частности, сократить логистические издержки и оптимизировать ресурсную базу.

Как правило, технологические пакеты институционализированы — в структуре государства либо национального или транснационального бизнеса. В исключительных случаях — в международных административных структурах (пакет «Атомная энергетика» имеет в качестве системообразующей институции «Договор о нераспространении ядерного оружия», выполнение которого контролируется МАГАТЭ и, в конечном итоге, ООН).

Технологические пакеты, реализующие различными (конкурентными) способами одну и ту же социально значимую потребность, группируются в макропакеты. Например, макропакет «Энергетика», реализующий потребность в тепле, а для современного общества — в тепле и электроэнергии, включает в себя достаточно широкий список пакетов и технологий.

Уровень интеграции пакетов в макропакеты характеризует степень

технологического развития общества. Уровень интеграции институциональных и инфраструктурных решений в соответствующие агрегированные решения характеризует степень развития экономических отношений в обществе. Так, сформировавшийся за последние 30 лет макропакет «Энергетика» в зрелом состоянии включает в себя не только «старые» пакеты, обеспечивающие непосредственно генерацию энергии; он также интегрировал в себя передающие сети, соответствующие рынки энергии и энергоносителей, корпорации, институты. Как правило, крупные корпорации (в том числе государственные) стремятся достроить себя до уровня полного контроля над макропакетом. Это позволяет, в частности, сократить логистические издержки и оптимизировать ресурсную базу.

Технологический пакет включает в себя следующие функциональные элементы:

..... **Базовая технология** — технология, лежащая в основе пакета. К примеру, для современного пакета ИТ базовой технологией является производство электронных микропроцессоров на кремниевой основе (исторически было бы вернее сказать — полупроводников).

..... **Базовая онтологема** — идея, лежащая в основе представлений о пакете. Пример: для авиации это греческий миф о Дедале и Икаре, а также идея свободного полёта человека. Для ИТ — гипотеза о думающей машине (1842 г.), развитая впоследствии писателями-фантастами. Для биотеха — желание людей жить вечно и не болеть. Интересно, что для нанотехнологий подобная онтологическая основа развития отсутствует.

..... **Замыкающая технология** — физическая или гуманитарная технология, достраивающая набор слабо связанных между собой технологий до системы организованного пакета. К примеру,

При активном развитии пакета также возникают и основные связанные с ним проблемы, происходят первые серьёзные происшествя. Наблюдается расслоение общественного мнения на сторонников и противников, появляются «луддизм» и «страшилки».

для современных ИТ это была идея и технологическое воплощение персонального компьютера, подключенного к сети.

Базовая инфраструктура — инфраструктура, критически важная для общества на данной фазе развития; является предельной формой реализации технологического пакета. Так, ИТ в конце XX века стали базовой инфраструктурой для мировой экономики, системы производства, логистики, а также развития остальных пакетов мейнстрима — нано- и биотехнологий, природопользования. В перспективе базовыми для западного общества планируют сделать нанотехнологическую и биотехнологическую инфраструктуры. Несколько раньше для индустриальной фазы базовой стала транспортная инфраструктура.

Базовые институты — институциональные решения, давшие толчок формированию пакета. Их следует отличать от тех, которые обеспечивают его развитие. Для информационных технологий базовыми институтами стали правительственные инициативы поддержки исследований в данной области, а также венчурное финансирование. Обеспечивающими институтами в этом случае являются соответствующие элементы системы образования (программы повышения компьютерной грамотности населения, уроки «информатики»), цифровые телекоммуникации в бизнесе и т. п.

В общем виде развитие всех крупных технологических пакетов происходит одинаково. В «детстве» техническая система развивается медленно. Затем наступает пора «возмужания» и «зрелости» — техническая система быстро совершенствуется, начинается массовое её применение. С какого-то момента темпы развития замедляются — наступает «старость». Далее возможны два варианта. Техническая система либо деградирует, либо на долгое время сохраняет достигнутые показатели.

На первом этапе развития технологический пакет не сформирован до конца. Создаются парадигмальные

концепции, делаются основные технические изобретения. Представление о потребительском продукте отсутствует. Развитие происходит медленно, срок — порядка десятков лет. Основной фактор развития — интенсивность научных исследований и разработок.

Интересно, что на данном этапе на развитие пакета оказывает крайне слабое влияние объём вложенных средств. Причина в том, что пакет пока не имеет рыночного продукта, который можно было бы совершенствовать, продавать и таким образом обеспечивать возврат инвестиций. Любые вложения на данном этапе — это только вложения в НИР и НИОКР, причём часто в фундаментальные. Форсирование расходов не приводит к росту темпов развития пакета и не приближает формирование продукта. Причина — экономический «закон уменьшающейся отдачи».

Единственным «ускорителем» на данном этапе может быть некий внешний фактор, стимулирующий НИР в направлении развития пакета. Такими факторами могут быть безопасность или трансцендентная составляющая (к примеру, в случае с атомным проектом налицо были оба фактора; в случае с информационными технологиями — требования военного времени; в случае с авиацией — исключительно второй фактор, мечта летать). Одновременно происходит начальная работа по формулированию требований к пакету и осмыслению социальных и иных последствий его развития — на уровне научно-популярной литературы, футурологии, научной фантастики. Разрабатывается также основная мифология пакета. Прогностическая деятельность затруднена отсутствием продукта, основной формой прогноза является «видение».

Для информационных технологий этот этап развития начался в XVII веке (первые попытки механизации вычислений), а финал его был пройден ускоренным образом, в 1940-1960 годы. Требования военного времени, а затем технологической гонки начала Холодной войны привели к тому, что

все необходимые решения в данной сфере были разработаны достаточно быстро и комплексно. В 1969 году появляется прототип Интернета, в 1971 году — прототип микропроцессора современной архитектуры, примерно тогда же разработаны основные стандарты и языки программирования. В это же время созданы базовые прогнозы развития пакета — произведения писателей-фантастов, а также первые работы футурологов.

Пример пакета, находящегося сегодня на первом этапе развития, — нанотехнологии. Грубо сравнивая современное состояние нанотеха с развитием информационных технологий, можно сказать, что мы находимся примерно на уровне 1940-х годов: изобретение основных подходов, инструментов, концепций. С оптимистической точки зрения, это означает, что лет через 10-20-30 нанотехнологии может ожидать бурный рост. А с пессимистической — может и не ожидать. Все зависит от того, выйдут ли нанотехнологии на новый, второй, этап развития пакета.

Второй этап развития начинается с оформления потребительского продукта или услуги, «упаковывающих» технологический пакет. Формируется ядро пакета, основные периферийные компоненты, решаются вопросы с обеспечением развития и функционирования людьми, ресурсами и т. д. Этот этап характеризуется стремительным ростом всех характеристик пакета, его интенсивным развитием. Происходит формирование потребительского продукта, выход его на рынок и рост инвестиций в пакет. Начинается инвестиционный бум, доходность от вложений — огромная. Развитие идёт в рыночной логике, скорость напрямую зависит от объёмов вложений и их распределения по технологическим элементам пакета.

Именно на данном этапе критически важно наличие инфраструктур развития пакета технологий — научных центров, системы патентов, системы отношений между наукой и бизнесом, кадровых инфраструктур, необходимых стратегических документов. Скорость

Версия ускоренного развития нанотехнологий представляет практический интерес для России, поскольку позволяет сыграть на опережение и закрепить за собой важный участок мирового технологического пространства.

разворачивания инфраструктур и темпы решения возникающих проблем напрямую влияют на успешность развития пакета в отдельной стране.

При активном развитии пакета также возникают и основные связанные с ним проблемы, происходят первые серьёзные происшествия и т. п. Наблюдается расслоение общественного мнения на сторонников и противников, появляются «луддизм» и «страшилки».

Пакет начинает оказывать активное влияние на среды человеческой деятельности. Стремительно растёт число работ про развитие пакета применительно к какой-либо области деятельности или жизни. Появляется основная масса прогнозов экстраполяционного характера. Разрабатывается большинство концептов применения пакета в области предметного мира.

Для информационных технологий второй этап развития начался с разработкой компанией Intel 8086 процессора и созданием, при участии компаний Microsoft и Apple, концепции персонального компьютера и соответствующего продукта, доступного широкому кругу пользователей и способного решать широкий спектр задач. К 1981 году был создан стандарт персональных компьютеров в том виде, в котором мы их сегодня знаем. К 1995 году интенсивное развитие пакета практически закончилось, начался третий этап.

Третий этап — это переход от интенсивного к экстенсивному развитию. Он характеризуется следующими элементами:

- снижение темпов собственно технологического развития;
- расширение модельного ряда;
- снижение доходности инвестиций;
- конвергенция с другими пакетами;
- значительное влияние моды, дизайна, рыночных колебаний;
- пакет проявляется в литературе и искусстве.

На данном этапе развитие пакета становится почти полностью независимым от государства и переходит к бизнесу. Пакет полностью интегрируется в общество, про него уже говорят в залоге «непонятно, как раньше можно было



жить без...». Реализуются прогнозы и концепции, сделанные на предыдущем этапе. Прогностическая деятельность затухает, поскольку «всё и так ясно»; начинается рефлексия. К пакету проявляют активный интерес экологи, начинается регулятивная деятельность.

В качестве примера можно посмотреть на современное состояние ИТ-индустрии. Всё стандартизировано и зарегулировано (стандартами закрыто всё, начиная от языков программирования и заканчивая пользовательскими интер-

фейсами, а в ряде вопросов, таких как безопасность, «копирйт» и «вредоносная информация», ещё и предприняты попытки законодательного регулирования), компьютеры встраиваются во всё, пыльным цветом цветут дизайн и различная периферия, а вот очередные новости о росте производительности волнуют только любителей компьютерных игр.

Последний этап развития пакета — это его «старость». Использование и развитие пакета максимально регламентированы, стандартизированы.



Результатом быстрого проектного развития нанотехнологий станет, в первую очередь, новая революция материалов. В истории человечества таких революций было всего три: создание керамики, выплавка металлов, производство пластиков.

Инвестиции — малоэффективны, в основном происходит сбор дивидендов с вложений прошлых этапов. Пакет становится частью «обычной статистики» и «инфраструктурой повседневной жизни». Внешние факторы для пакета становятся более значимыми, чем внутренние. Иными словами, он постепенно теряет системные характеристики и становится частью других систем и пакетов.

Сценарии. Проекты

Говорить о том, какие формы примет развитие нанотехнологий, пока крайне сложно ввиду слабого присутствия таковых «в железе». На данный момент главный вопрос — какое направление исследований первым станет практически полезным и реализуемым в промышленных масштабах. Следует отметить, что развитие так называемых «эволюционных нанотехнологий» будет присутствовать в любом из сценариев мирового технологического прогресса. Улучшенные двигатели; более эффективные, избирательно действующие лекарства; новые возможности химической промышленности; дальнейшее уменьшение электронных комплектующих — эти и прочие подобные задачи будут решены вне зависимости от успеха нанотехнологий в целом. Однако необходимые технологии появились бы безо всякой всемирной PR-кампании и миллиардов долларов Национальной нанотехнологической инициативы. Равным образом «эволюционные технологии» не создадут достаточного объема новых рынков, т. е. пока не могут оправдать вложенные в «нанопузырь» огромные средства.

Проблема нанотехнологий заключается в том, что они до сих пор не породили ни одного серьезно значимого потребительского продукта или услуги, на которых мог бы собраться пакет. Иными словами, можно сколько угодно говорить о развитии нанотехнологий, но для людей их не существует до появления пакета продуктов (товаров и услуг). Ситуация усугубляется тем, что нанотехнологии и потенциально порождаемые ими товары и услуги в явной форме пока не решают ни одной реальной или иллюзорной проблемы. Таким образом, в области нанотехнологий наблюдается отсутствие системной связности, что существенно затрудняет их развитие.

Развитию пакета нанотехнологий препятствует также отсутствие необходимой литературной базы. Существует практически единственная научно-популярная книга, описывающая «светлое нанотехнологическое будущее», — «Машины

В «революционном» сценарии быстро появятся и распространятся «киборги» — люди, значительную часть тела которых составляют имплантанты, основанные на нанотехнологиях. Естественно, возможности таких людей будут существенно отличаться от обычных.

создания» Э. Дрекслера⁴ (правда, какие-то фрагменты можно найти у отдельных писателей-фантастов⁵). Количество форсайтов, проведённых по тематике нанотехнологий, считается по пальцам⁶. Даже в презентациях и документах военных ведомств нет чёткого понимания, что им могут дать нанотехнологии. «Нанотехнологическая революция» не имеет литературно оформленной «дорожной карты» и понятных перспектив развития, т. е. не встроена в язык и культуру.

По опыту бума информационных технологий, технологическое развитие персональных компьютеров сопровождалось:

- Концепцией информационной общества, прописывающей роль информатизации во всех сферах общественной жизни (или, если угодно, во всех процессах социосистемы);
- Несколькими концепциями в менеджменте и бизнесе, самая свежая из которых описана в книге Кьелла Нордстрема и Йонаса Риддерстрале «Бизнес в стиле фанк»;
- «Информационной экономикой» (информатизация стала ключом к запуску постиндустриальной экономической модели);
- «Революцией в военном деле» (концепция виртуального поля боя, информационное превосходство и т.д.);
- Огромным пакетом продуктов и социальных практик (об этом уже было сказано выше);
- Пакетом «страшилок» и «хотелок» всех уровней.

⁴ К. Eric Drexler. Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology. Anchor Books, New York, 1986.

⁵ Серьёзного упоминания заслуживают только работы Д. Симмонса. Можно в связи с этим вспомнить также ряд японских фантастических мультфильмов. Голливудские фантастические фильмы, что интересно, никакой конкуренции не выдерживают.

⁶ Анализ проведён автором по материалам европейской базы данных EFMN и данным из Интернет. Общее число релевантных материалов не превышает полутора десятков; сколько-нибудь любопытные данные по нанопродуктам присутствуют только в одной (!) работе.

По отношению к нанотехнологиям практически все указанные «сопровожающие факторы» отсутствуют. В случае формирования нанотехнологий как пакета подобные моменты, характеризующие процесс его встраивания в общество, неизбежно появятся.

Толчком для развития нанотехнологий может быть появление либо серьёзного вызова, либо определённой трансцендентной нагрузки. В качестве вызова можно рассматривать следующие варианты:

«Абсолютное оружие». Конфликт между развитыми государствами, обладающими атомным оружием, порождает потребность в принципиально новом оружии. Теоретически им могут стать определённые варианты применения нанотехнологий. Естественно, что «нанокиборги» появятся в любом сценарии.

Проект «Бессмертие». Страх перед смертью в настоящее время является мощным двигателем развития западной медицины. Нанотехнологии, вместе с биотехнологиями, способны существенно продвинуть западный мир в этом направлении.

«Нанокосмос». Развитие технологий получения новых материалов способно дать серьёзный толчок космическим исследованиям и освоению космоса. Не последнюю роль здесь играет увеличение полезной нагрузки ракет за счёт роста прочности и снижения массы материалов. Всерьёз также встанет проблема конструирования замкнутых экосистем.

«Человек 2.0». Развитие нанотехнологий и биотехнологий даст возможность перейти к серьёзным модификациям человеческого тела. Это приведёт к прекращению существования вида *homo sapiens* в том виде, в котором мы его знаем.

Сценарий ускоренного развития нанотехнологий — это прорывной

сценарий, требующий открытия эффективных и доступных способов манипулирования объектами на наноуровне. Версия ускоренного развития нанотехнологий представляет практический интерес для России, поскольку позволяет сыграть на опережение и закрепить за собой важный участок мирового технологического пространства.

В инерционном, или естественном, сценарии развитие будет идти путём коммерциализации уже существующих разработок. На практике можно будет говорить не столько о создании нового технологического пакета, сколько о том, что существующие пакеты обретут новый размерный уровень. Понятно, что в этом случае нанотехнологии не получат системной связности и институционального оформления.

В альтернативном сценарии «нанотехнологической революции» инерционный вариант присутствует как неизбежное будущее⁷. Принципиальным отличием является формирование системной связности. Это подразумевает, что некоторые технологии, которые мы сейчас относим к нано-, или вообще покинут технологический пакет, или уйдут на его дальнюю периферию (то есть окажется, что данные технологии «не про то»), в то время как будет достроен ряд других. Кроме того, потребуется институциональное и нормативно-правовое оформление технологического пакета.

Практически уровень различия между этими сценариями соответствует различиям между представлениями о прогрессе вычислительных технологий в 1950-е годы (вычислительная революция в области криптографии, статистических исследований, обработки результатов измерения, расчётов в небесной механике) и современным ИТ-пакетом даже в его узком, общепринятом понимании (социальные и информационные сети, глобальная навигация, компьютерные игры, рево-

⁷ Подробнее о методике сценарирования и сценариях технологического развития см. Построение базового и альтернативного сценариев. Препринт. НЦ «Курчатовский институт», 2009 г.



Магистральный путь развития нанотехнологий — это воплощение в материалах, механизмах и устройствах квантовых эффектов. В сущности, нанотехнологии переводят квантовые процессы на макроскопический уровень.



люция в офисной работе, управление базами данных, производственными процессами, военными действиями, виртуальная реальность).

Поскольку развитие нанотехнологий резко отстаёт как от информационных, так и биологических технологий, сценарий с обретением собственной онтологии и самостоятельного вектора развития имеет ещё меньшую вероятность, но может быть реализован проектно. В направлении его реализации работает принятая в США Национальная нанотехнологическая инициатива, соответствующие российские и европейские проекты. Первым шагом к реализации данного сценария должна быть разработка универсального инструмента для работы с материалами на атомарном уровне (пока подобный инструмент отсутствует).

Будет ли революция?

Результатом быстрого проектного развития нанотехнологий станет, в первую очередь, новая революция материалов. В истории человечества таких революций было всего три: создание керамики, выплавка металлов, производство пластика. Четвёртая позволит создавать материалы, не существующие в природе, обладающие принципиально новыми свойствами. В пределе появится возможность создавать материалы с определёнными функциями под определённую задачу.

В мире произойдёт новая промышленная революция, связанная с появлением нового класса производств и инфраструктур (грубо говоря, нанотехнологии создают новое поколение средств производства, новые «станки», которые, собственно, и будут производить «нанотехнологическую продукцию»). География мирового производства претерпит существенные изменения, равно как и его организация. Промышленные города окончательно

уйдут в прошлое. Обратной стороной вполне может стать тот факт, что новая производственная среда совершенно необязательно будет совместима с человеком. Так, новые производственные комплексы, обслуживаемые не сотней техников и рабочих, а одним высококвалифицированным инженером, необязательно должны будут соответствовать разработанным два столетия назад правилам техники безопасности.

В таком сценарии в мире разрешаются энергетические проблемы. Появляются «атомные нанореакторы», в т. ч. сверхмалые, а также значительно вырастает КПД традиционной энергетики и энергетики на возобновляемых источниках. Принципиально новые стандарты производства приводят к новой регионализации мира (так, необязательной станет привязка крупных производств к центрам расчленения и источникам энергии) и появлению специфических замкнутых территориально-производственных систем — нанотехнологических кластеров.

Принципиальным для этого сценария является ренессанс энергетических, двигательных, космических технологий. Новые материалы позволяют не только существенно увеличить КПД традиционных устройств, но и предложить новые решения в энергетике и транспорте. Они, кроме всего прочего, способны обеспечить разработку эффективного космического корабля многоразового использования, что может привести к новому толчку в освоении космоса. Аналогичный процесс пойдёт также и в области освоения Мирового океана (благодаря появлению действительно портативных дыхательных устройств и имплантантов вывода азота из крови для подводных пловцов).

Развитие нанотехнологий повлечёт за собой стремительный рост возможностей медицины. В первую очередь — вследствие использования имплантантов, в т. ч. нейрологических. Будет побеждена большая часть существующих болезней, вероятно, изобретена

«универсальная аптечка» с системой автоматической диагностики, создающая лекарства под задачу.

В данном сценарии быстро появятся и распространятся «киборги» — люди, значительную часть тела которых составляют имплантанты, основанные на нанотехнологиях. Естественно, возможности таких людей будут существенно отличаться от обычных. Это, в свою очередь, породит разделение человечества на две неравные части, с последующим предсказуемым конфликтом между ними. Весьма вероятно появление нового поколения компьютеров, а также принципиально нового интерфейса взаимодействия человека и информационной системы, основанного на нейроимплантах.

Важным моментом данного сценария является системная эксплуатация макроскопических квантовых феноменов, возможность которой предоставляют нанотехнологии. Магистральный путь развития нанотехнологий — это всё более полное воплощение в материалах, механизмах и устройствах квантовых эффектов. Весьма важно понять следующее: в сущности, нанотехнологии переводят квантовые процессы на макроскопический уровень⁸.

⁸ В настоящее время считается доказанным тот факт, что окружающий нас мир является квантовым в своей основе, и его квантовый характер на фундаментальном уровне подтверждается многочисленными физическими экспериментами.

Квантовая механика уже давно перестала быть наукой, описывающей поведение только одних микрочастиц. К настоящему времени вполне сформировался самостоятельный научный раздел, изучающий квантовые свойства макроскопических объектов. В университетах существуют соответствующие курсы, например, «Макроскопические квантовые явления» на физическом факультете МГУ.

Обычно под макроскопическими квантовыми явлениями понимают эффекты типа сверхпроводимости, сверхтекучести, ферро- и антиферромагнетизма, фермижидкостные явления и т. д. В этом случае предполагается, что существует некоторая система, описываемая единой волновой функцией (вектором состояния), и наблюдаются эффекты, не имеющие аналогов в классической физике.

<http://physmag.h1.ru>

Ускоренное развитие нанотехнологий — это прорывной сценарий, требующий открытия эффективных и доступных способов манипулирования объектами на наноуровне.

Биологические технологии играют в сценарии нишевую роль. Но ускоренное развитие ожидает технологии природопользования. Вероятно, главным направлением будет создание искусственных экосистем, в т. ч. для нужд нового освоения космоса.

В случае системного развития и реализации описанного сценария нанотехнологии как пакет будут иметь следующие характеристики:

- **Базовая технология** — прецизионные атомные микроскопы.
- **Базовая онтологема** — в настоящее время не определена. Возможен ряд вариантов: «внутренний космос», «квантовый мир», «новая революция материалов», «человек — творец неживого мира».
- **Замыкающая технология** — универсальная технология (или несколько технологий) манипулирования отдельными атомами.
- **Базовая инфраструктура** — национальные наноиндустрии, создаваемые в рамках национальных проектов.
- **Базовые институты (и институции)** — национальные инициативы развития нанотехнологий в США, ЕС, РФ и других странах. Комплекс правовых норм, регулирующих творчество в области создания материалов.

Рисками для реализации данного сценария являются:

Провал нанотехнологических инициатив: набор технологий не становится системным (не превращается в технологический пакет).

Проявление квантовых эффектов в «макромире». Данный вопрос пока даже не обсуждается, хотя последствия его могут быть сложны, опасны и чрезвычайно интересны. Суть про-

блемы в том, что нанотехнологии гипотетически позволяют создать устройства, всерьёз воплощающие квантовые законы в привычную нам реальность и в этом смысле совершенно необязательно подчиняющиеся её законам (см. сноску 8).

Новый класс экологических проблем — проблем искусственных сред. Конструирование сред и экосистем (сегодня наблюдаемое в виде опытов с замкнутыми экосистемами, адаптации экосистем к условиям города, попыток модификации экосистем путём интродукции новых видов и т. д.) в перспективе может дать возможности создания принципиально новых условий для жизни и работы человека (например, упоминаемый в фантастике комплекс сред и экосистем, дающий возможность человеку комфортно жить в условиях космической станции), но в то же время и проблемы, порождаемые новыми конструктами, могут быть в новинку для прогрессивного человечества.

Будет ли реализован данный сценарий или нет — сложный вопрос. С одной стороны, на него работают финансовые инструменты, государственные инициативы, ожидания рынка, а также сформировавшаяся привычка людей к технологическому развитию. С другой стороны, в развитии пакета нанотехнологий пока что слишком много пробелов, пустых мест, чтобы говорить о его успешности.

Возможно, настоящая нанореволюция произойдет не через 20, а через 120 лет, когда в мире наконец найдутся реальные, а не «маркетологические» проблемы, которые смогут решить нанотехнологии. А может быть, в следующие 20–30 лет мы станем свидетелями технологических прорывов, равных которым не знала вся история человечества.

Георгий Афанасьев, заместитель председателя Координационного совета по промышленно-энергетическому форсайту при Министерстве промышленности и торговли РФ. Руководитель некоммерческого партнерства по проведению экспертизы в области промышленности и энергетики «Экспертный клуб».



Есть проекты, которые сейчас трудно оценить, нанопроект относится как раз к этой категории. Я заранее согласен со всей критикой в его адрес. Но для России это второй шанс, который выпал после упущенных возможностей в области информационных технологий. Важно понять, что в мире сейчас идёт обновление технологического уклада. IT-технологии мы пропустили именно потому, что отнесли к IT как к отрасли. Мы стали развивать её, как какую-нибудь металлургию или легпром, в то время как мир посредством IT осуществил системную модификацию всех других отраслей. Наш подход лежал вне этого понимания: создание министерства электронной промышленности, заводов в его ведении привело к отраслевой изоляции работ по этой теме внутри страны.

А назавтра мы получили инфильтрацию IT с Запада уже в виде не столько самих технологий, сколько перестроенной металлургии, авиатранспорта, военной техники. Сами мы этого сделать не смогли именно потому, что была применена отраслевая логика развития как компонентной базы, так и информационных технологий. В России переход от IT к ICT оказался невероятно долгим, и сейчас, при том, что формальные параметры развития IT находятся на неплохом уровне, этот шанс можно считать упущенным.

Основной риск, связанный сегодня с нанотехнологиями, — не повторить ошибку. Потому что «нано» — это не отрасль, а новый технологический уклад производства вещей и систем вещей. Так сказать, изнутри вещи — то есть не способом отсечения лишнего материала, а построением по базовой структуре. Занимаясь нанотехнологическим проектом, необходимо внимательнейшим образом проанализировать всё, что мы делали и пытались делать по электронике и информационным технологиям. Важен обзор деятельности по этой теме ведущих мировых фабрик мысли, проведение кросс-отраслевого форсайта. Необходимо попробовать сделать выводы и рассмотреть «нано» даже не как «большой проект», а как новый технологический уклад, который меняет практически все другие отрасли. Соответственно, найти организационно-технические решения, которые могут стать основой для его развития в России. Потому что отстать ещё и в этом ключевом направлении, которое работает с самими основами построения мира, значит упустить критический шанс.