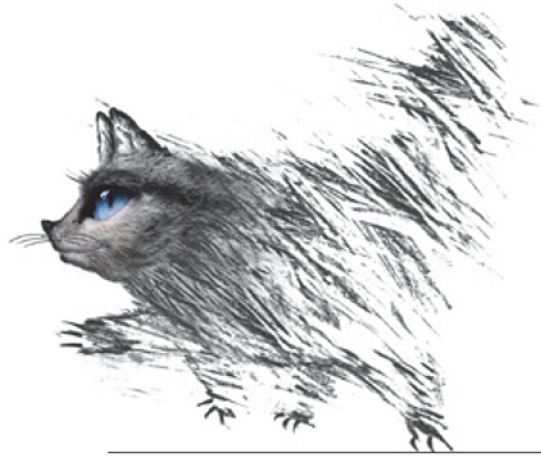


С. Б. Тараненко
А. А. Балякин
К. В. Иванов

НА ПОЛОВИНУ
МЕРТВЫЙ **КОТ,**

**ИЛИ ЧЕМ НАМ ГРОЗЯТ
НАНОТЕХНОЛОГИИ**



УДК 621.3
ББК 20
Т19

Тараненко С. Б.

Т19 Наполовину мертвый кот, или Чем нам грозят нанотехнологии / С. Б. Тараненко, А. А. Балякин, К. В. Иванов. — 3-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2020. — 251 с. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-00101-734-9

В книге в легкой и непринужденной форме рассказывается о совсем непростых и серьезных вещах — о рисках нанотехнологий. Серая слизь и боевые нанороботы — вот всё, что знает рядовой потребитель об угрозах, связанных с нанотехнологиями. Но это лишь капля в море.

Велик разрыв между миром «нано» и миром «макро», поэтому понять характер угроз, исходящих от этого наномира, очень сложно. Но именно от этого понимания зависит, насколько человек сможет овладеть нанотехнологиями, научиться безопасно обращаться с наноматериалами, контролировать распространение нанопродуктов, не допускать использования результатов научно-технического прогресса во вред себе и окружающей среде.

Для широкого круга читателей.

УДК 621.3
ББК 20

Деривативное издание на основе печатного аналога: Наполовину мертвый кот, или Чем нам грозят нанотехнологии / С. Б. Тараненко, А. А. Балякин, К. В. Иванов. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 248 с. : ил.

ISBN 978-5-9963-1516-1

18+

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ISBN 978-5-00101-734-9

© Лаборатория знаний, 2015

Оглавление

| | |
|----------------------------------------------------|------------|
| <i>Введение</i> | 5 |
| Риск или плата? | 5 |
| Это многоликое нано | 10 |
| Квантовый мир нано. Чего мы не знаем... .. | 17 |
| Нано и новый технологический уклад | 22 |
| Итак, риски..... | 31 |
| ЧАСТЬ I. НАНО ВОКРУГ | 35 |
| <i>Глава 1. Коварная прочность</i> | 37 |
| 1.1. Голова или хвост? | 37 |
| 1.2. Порошок или пыль? | 45 |
| 1.3. Коварная прочность и оловянная чума..... | 52 |
| 1.4. Энергетические консервы..... | 57 |
| 1.5. Светло, да не видно | 65 |
| <i>Глава 2. Чудеса структуры</i> | 70 |
| 2.1. Фрактальная симфония | 70 |
| 2.2. Антиструктура и мы | 77 |
| 2.3. Оставив свободу с носом | 81 |
| 2.4. Нейронное минное поле..... | 85 |
| 2.5. Программируемая материя..... | 89 |
| <i>Глава 3. Страсти по квантам</i> | 95 |
| 3.1. Квантовые эффекты — это актуально? | 95 |
| 3.2. Занять все, или черная пурга | 98 |
| 3.3. Немного мертвый кот, или компьютер-демон..... | 101 |
| 3.4. Завышенные ожидания..... | 110 |
| ЧАСТЬ II. НАНО ВНУТРИ | 113 |
| <i>Глава 4. Будьте здоровы</i> | 115 |
| 4.1. Хорошую вещь ГМО не назовут | 115 |
| 4.2. Превентивная медицина | 123 |
| 4.3. Невинные липосомы | 128 |
| 4.4. Homo autofaber. Запчасти для любимой..... | 133 |
| <i>Глава 5. У зеркала: это все еще я?</i> | 139 |
| 5.1. Бегун на протезах | 139 |
| 5.2. Поцелуй на расстоянии | 145 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.3. Мозг навынос | 149 |
| 5.4. Кризис идентичности | 154 |
| Глава 6. Нано – детям не игрушка | 158 |
| 6.1. Безопасный динамит | 158 |
| 6.2. Электронный вертел | 166 |
| 6.3. Умный песок | 174 |
| 6.4. Самоходный чип и кошмар Дрекслера | 179 |
| 6.5. Наноголем | 184 |
| | |
| ЧАСТЬ III. НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ | 189 |
| | |
| Глава 7. Нарушение системы | 191 |
| 7.1. Ключи от мира. Технологические пакеты | 191 |
| 7.2. Усложнение систем. Риск сложности | 201 |
| 7.3. Упрощение систем. Бездорожная экономика | 205 |
| 7.4. Вперед в прошлое. Риск не состояться | 208 |
| 7.5. В капкане ложных целей | 211 |
| | |
| Глава 8. Невидимые цели | 218 |
| 8.1. Наш враг — стереотип | 218 |
| 8.2. Борьба мифов и реальности | 223 |
| 8.3. Этика нанотехнологий | 226 |
| 8.4. Экология нанотехнологий | 231 |
| 8.5. Ответственность перед обществом и моделирование новой реальности | 234 |
| Вместо заключения: будут ли нанотехнологии управлять человеком | 238 |
| Литература (неожиданная глава) | 242 |

Квантовый мир нано. Чего мы не знаем...

Если тебе нравится мешок, купи его вместе с котом, которого тебе хотели в нем продать.

Станислав Ежи Лец

Развитие нанотехнологий связывают во многом с теми неожиданными возможностями, которые нам предоставляет квантовый мир, точнее, те законы мироздания, которые проявляются в масштабах атомов и молекул и которые так не похожи на знакомые нам со школьной скамьи.

И степень непохожести мы часто недооцениваем.

Многие из нас, конечно, знают или слышали о туннельном эффекте — эффекте, на котором построена работа транзистора, уже ставшего рутинным. Но этот эффект в квантовом мире может проявиться не только в транзисторах. В чем же его суть?

Знаем, скажут некоторые. Если электрон не может в обычной — классической — физике пройти сквозь стенку, то в квантовой может. Ну да, что-то вроде этого. Но это далеко не все. Проще всего объяснить это на ставшем классическим — с подачи Ричарда Фейнмана¹ — примере работы мазера (а заодно и лазера).



¹ Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Тома 8, 9: Квантовая механика: пер. с англ. 3-е изд. Эдиториал УРСС. С. 152.

Допустим, у вас есть молекула аммиака. Она изображена на рис. В1, например слева. И есть еще одна такая же — справа. Но не совсем такая — это зеркальное отражение первой. И как ни старайся, первую во вторую не превратишь — не вывернешь же ее наизнанку. А вот в квантовом мире такое возможно — из-за туннельного эффекта. Но — внимание — это не все! В результате получится вообще нечто неожиданное. Реальными будут не «левая» и «правая» молекулы аммиака, между которыми возможен переход, а их смеси. Первая смесь — половинка «левой» плюс половинка «правой» молекулы. Вторая — половинка «левой» минус половинка «правой». Чудно? Авторы, конечно, в своем «объяснении» многое упустили. Пропустили такие слова, как «суперпозиция волновых состояний», «разница между бозе- и ферми-статистиками» и многое другое. Но для этого надо учиться «кванты».

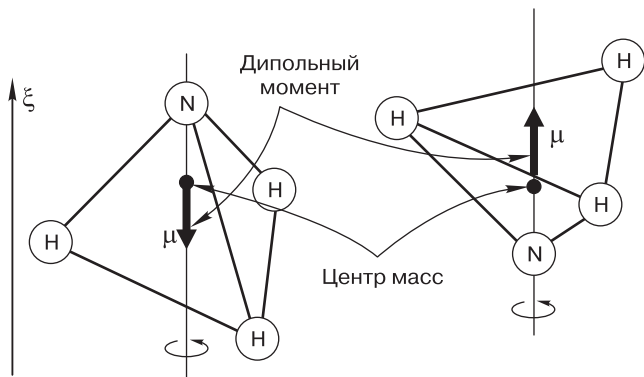


Рис. В1

Физическая модель двух базисных состояний молекулы аммиака

Но это «чудно» имеет удивительное последствие. Если «левая» и «правая» молекулы ничем не отличались, и переход из одной формы в другую ничего не менял, ни к чему не приводил, то в случае наших смесей это не так. «Первая» смесь отлична от «второй». Они имеют разные внутренние энергии, и переход между ними осуществляется за счет поглощений (в одну сторону) или испускания (в другую сторону) кванта света. Вот этот квант, испускаемый молекулой, и есть то, из-за чего мазер (а также лазер) работает. Не будет преувеличением сказать, что мы *видим* тот факт, что состояния вовсе не одинаковы, а, напротив, различны, и значит, мы *реально* имеем дело не с «правой»

и «левой» молекулами — реальны наши квантовомеханические смеси.

Этот пример имеет далеко идущие последствия. Вот мы говорим, что атомы можно разместить так, можно иначе — на то и наши нанотехнологии, которые и осуществляют манипуляции с атомами. А на деле реальны не «так» и не «иначе», а их абстрактные математические комбинации. И у этих комбинаций, кроме того, и свойства другие.

Здесь можно возразить: ну хорошо, это в квантовом мире такие «фокусы», а в нашем все проще. Возражение отчасти верно, но лишь отчасти. Наша убежденность в том, что нанотехнологии позволят нам воспользоваться теми свойствами, которые присущи квантовому миру, и есть утверждение того, что эти свойства окажутся у нас здесь, так сказать, «под руками» и «перед глазами». И непонимание этого — само по себе огромный риск.

Лет двадцать назад одному из авторов этой книги довелось присутствовать на физическом семинаре, посвященном возможности холодного термояда — «поджечь» термоядерную реакцию без токамаков и других огромных, сложных и дорогостоящих установок. Докладчик уверенно рассказывал о том, что успех обеспечен: вот еще чуть-чуть, и он на своем рабочем столе, пусть не в центре Москвы, но в жилом, в общем-то, районе, этот термояд подожжет.

Первым ему был задан следующий вопрос: а если «бабахнет»? «Не должно», — ответил докладчик. Больше вопросов к докладчику не было — было ясно, что он и сам не верит в успех своего эксперимента. Итак, если мы верим в нанотехнологии, в их квантовые возможности, — а это так, — то возможность того, что «бабахнет», не должна сбрасываться со счетов. А наш пример лишь про один из множества квантовомеханических «фокусов» показывает нам, что наше рассуждение по привычке может оказаться — и наверняка окажется! — ошибочным.

Вот еще один пример ошибочного рассуждения, диктуемого нам нашим неквантовым опытом. Давайте подбросим две монетки. Какова вероятность, что выпадут два «орла»? Кто немного знаком с теорией вероятности и элементарной математикой, легко ответит: одна четверть, или 25%. И в самом деле, давайте переберем возможности. Первая — наши два «орла». Вторая — две «решки». А еще третья и четвертая. Первая монета — «решкой», вторая — «орлом». И, наоборот: первая — «орлом», вто-

рая — «решкой». Всего четыре равновероятные возможности. И только одна нас устраивает. Вот и получается *одна четвертая*. С монетками так и есть, можете проверить, немного поиграв в орлянку.

А теперь «следите за руками»! У электрона есть два состояния: спин вверх и спин вниз — своеобразные «орел» и «решка». Какова вероятность найти два электрона спином вверх (пусть электроны имеют разную энергию, чтобы не было проблем с ферми-статистикой)? Думаете одна четвертая? Ничуть не бывало. Одна треть. Считаем состояния. Два вверх. Два вниз. Один вверх, один вниз. Всего три состояния. Стоп, — скажете вы. Ну, один, два, а затем три — первый вниз, второй вверх, и четыре — первый вверх и второй вниз.

А вот и нет. Два электрона не бывают первым и вторым — они настолько одинаковы, что *принципиально* не различимы. Один вверх (неважно какой), один вниз — и никак иначе! Физики эту вероятность померили, что называется, поиграли в орлянку. И подтвердили — одна треть!

В нашем мире любые два объекта — хоть братья близнецы — принципиально различимы. А в квантовом — наоборот: два электрона — это два электрона, а не первый и второй — пальцем в них ткнуть нельзя! Неразличимость одинаковых квантовых объектов (а это могут быть и нанокластеры) — удивительное отличие квантового мира от нашего. Что будет, если мы создадим точную атомарную копию какого-либо предмета — атом за атомом? Мы это еще не пробовали! А нанотехнологии нам такую возможность предоставят.

Еще раз повторимся: мы многого не знаем. Нет, мы знаем, как «удивительно» ведут себя молекулы, атомы и их составные части — элементарные частицы. Но мы до конца не знаем, как ведут себя их ансамбли при условии, что действие квантовых эффектов будет «продолжено» до надлежащих размеров. А то, что такое «продление» будет, сегодня уже можно не сомневаться. Помните про спины электронов? Вот с ними имеет место совершенно удивительный «фокус», уже частично «продолженный» в наш мир. На основе этого «фокуса» работают флешки — память, не требующая энергопотребления.

Электроны — фермионы, т. е. они подчинены так называемой ферми-статистике. Это означает, что два электрона в одно состояние запихнуть нельзя. Если «коробочка» занята, то будьте

любезны — в другую. Помните, как в химии электроны химических элементов с ростом номера элемента заполняют электронные оболочки? Это оно и есть. Они не толпятся все на нижних орбитах — там занято и приходится забираться на следующие.

Впрочем, на каждой «орбите» все же не один электрон, а два, ведь есть еще спин, вверх и вниз. В каждой клеточке по два электрона, спины которых смотрят в разные стороны. И если мы у одного электрона перевернем спин, то у другого он тоже обязательно перевернется. На этом — или почти этом — принципе работают так называемые спин-спиновые взаимодействия, или спиновые волны. Это передача сигнала очень странным способом — без привычных нам сил. Кстати, на этом принципе работает и так называемый квантовый компьютер, которому посвящен отдельный раздел (см. п. 3.3 «Немного мертвый кот, или компьютер-демон»).

Исчерпываются ли «чудеса» и «фокусы» квантового мира тем, что мы рассказали? Конечно, нет! Например, мы можем с удивлением узнать, что, повернувшись на 360 градусов вокруг собственной оси, мы не очутимся в том же положении — оказывается, надо повернуться дважды! И многое-многое другое. Но обо всем этом — позже, конечно, лишь в том объеме, который нам необходим для разговора о рисках привнесения особенностей квантового мира в нашу жизнь.

Нано и новый технологический уклад

...Эта промышленная революция была вызвана изобретением паровой машины, различных прядильных машин, механического ткацкого станка и целого ряда других механических приспособлений. Эти машины... изменили весь существовавший до тех пор способ производства...

Фридрих Энгельс

«СЕПУЛЬКИ — важный элемент цивилизации ардритов (см.) с планеты Энтеропия (см.). См. СЕПУЛЬКАРИИ».

Я последовал этому совету и прочел:

«СЕПУЛЬКАРИИ — устройства для сепуления (см.)».

Я поискал «Сепуление»; там значилось:

«СЕПУЛЕНИЕ — занятие ардритов (см.) с планеты Энтеропия (см.). См. СЕПУЛЬКИ».

Станислав Лем. «Звездные дневники Ийона Тихого»

Для понимания рисков, связанных с развитием нанотехнологий, очень важно ответить на, казалось бы, простой вопрос: что нам даст это развитие — наноартефакты неизвестной нам сегодня природы или привычные продукты, созданные на иной технологической основе? Иными словами, что мы ожидаем: будем ли мы продолжать изготавливать «табуретки» не из дерева, а из композитных наноматериалов, будем насаживать топор с нанопокрытием лезвия на рукоять из легкого и прочного наноматериала, чтобы нарубить дров для печного отопления, труба которого термоизолирована от потолка термозащитой из наноматериала во избежание пожаров, или речь о другом? Мы, конечно, утрируем. Но производство самолетов, ядерных реакторов и многого другого, что мы на сегодня умеем, в сущности — «табуретка» современности. Нанотехнологии найдут широкое применение и в авиастроении, и в традиционной электронике, и в большинстве традиционных областей: от медицины до космонавтики, но важно помнить, что это далеко не все. Манипулирование материей на атомарно-молекулярном уровне, использование в нашем мире эффектов квантового мира дают

нам основание предполагать, что те возможности, которые предоставляют нанотехнологии, существенно шире «повторения пройденного». А если изменения — как мы, собственно, ожидаем — носят принципиальный характер, то мы должны ответить и на вопрос: как они могут изменить наши производство, потребление, а вместе с ними и сам «стиль» жизни, т. е. все? (См. главы 7 и 8.)

Итак, по факту (так уже сложилось в реальной жизни) есть два рода нанотехнологий, которые условно можно назвать «традиционные» и «квантовые». И дело не только в «квантовости» того или иного эффекта — дело в том, о чем шла речь выше: ручка ли топора это или что-то принципиально новое, как когда-то были первый телефон, первое радио, первое телевидение, первый компьютер, антибиотики и наркоз, воздушный шар и первый самолет. Конечно, такое разделение не следует рассматривать как категорическое и вполне точное. Достаточно заметить, что имеют место и так называемые «промежуточные» нанотехнологии, которым одновременно присущи некоторые системные черты и тех, и других.

Под «традиционными» можно (и как авторы полагают, следует) понимать технологии, лежащие в русле эволюционного раз-



вития, т. е. такого развития, которое вовсе не требует изменения наших базовых представлений или как минимум не требует их быстрого, а потому сложного изменения. Во многом такие представления уже сложились.

Каковы же эти базовые представления?

Даже если мы не знаем точно, то в целом понимаем, зачем нам необходимы изменения свойств материалов и сред, применяемых в нашей технологической деятельности. Зачем и почему нужны материалы более прочные и легкие, более долговечные и способные работать в агрессивных средах, материалы, обладающие низкими коэффициентами трения и надлежащей адгезией и несмачиваемостью, и далее... — список может быть продолжен.

Так же и с электроникой в различных ее аспектах: мы знаем, зачем нужна миниатюризация, ведущая к высочайшему быстродействию и колоссальным объемам памяти (как оперативной, так и «архивной»), к снижению энергопотребления (что среди прочего делает эти электронные устройства возможными, купируя проблему «отвода» рассеиваемой мощности).

Иными словами, речь идет о нашем технологическом опыте, включая не только набор доступных нам технологий, а значит, возможностей, но и технологические «привычки» и стандарты мышления, наши рутины (см. п. 8.1 «Наш враг — стереотип»).

Так, человечество в области металлургии давно и с успехом (ранее — опытным путем, впоследствии — на строгой научной основе) создает и массово производит материалы с желаемыми свойствами. При этом, как физик в области твердого тела, так и металлург-технолог, оперируют понятиями о строении вещества на уровне малых размеров, когда говорят о дислокациях, доменах, когда изучают фононную и иные «квазичастичные» структуры материала. И все это уже давно представлено в нашей практической жизни: прочные и надежные конструкционные материалы, инструментальные материалы, включая материалы, применяемые для медицинского протезирования, и многое другое.

И если предел такого технологического развития, основанного на традиционных для XX в. технологиях, наступает (а во многом он уже наступил), то нанотехнологии «подхватывают» эту эстафету, которую вполне можно охарактеризовать, перефразировав олимпийский призыв: «прочнее, легче, практичнее».

Да, нанотехнологии часто требуют иного инструментария, иных технологических принципов для реализации и этих вполне

традиционных «улучшений». Но не всегда. Пример тому — нанопорошки, получение которых часто основывается на вполне традиционных технологиях¹. При этом благодаря своим полезным свойствам такие нанопорошки имеют широкий спектр применения — от доставки лекарств в клетки и органы человека до создания поверхностей материалов с заданными свойствами.

Но наибольшего эффекта следует ожидать от применения «традиционных» нанотехнологий в создании материалов на основе уже существующих технологий, может, и значительно модифицированных, использующих в качестве сырья нанообъекты. Примером тому может быть процесс создания волокон на основе фуллереновых трубок. Фуллереновая трубка — нанотехнологический объект, допускающий над собой традиционные манипуляции. Это возможный «шелк» будущего: на основе фуллереновых волокон возможно создание материалов и устройств самого различного назначения. Среди них есть и фантастические, такие как космический лифт (поднятие спутников на орбиту «на веревочке»), реализация которых сомнительна, но не по причине недостаточной прочности и легкости нити². Но вот создание легких и чрезвычайно прочных материалов: нитей, полотна и на их основе композитов (для менее экзотических применений) вполне вероятно уже в среднесрочной перспективе. Такие материалы и композиты — основа многих будущих технических решений от создания брони и бронезилетов до развития авиа-, автомобиле- и судостроения.

Применение новых конструкционных материалов — основа качественного изменения самих конструкционных решений высокотехнологической продукции. Не исключено, что те или иные решения, представляющиеся неэффективными или даже технически невозможными и непредставимыми сегодня, получат существенный импульс к развитию и станут нормой технологий недалекого будущего.

¹ Среди таких технологий — размол, т. е. размельчение материала мельницей.

² Не очень сложный теоретико-механический расчет поведения всей системы (орбитальный спутник, поднимаемый спутник и пусть легкий, но все же весомый канат) в гравитационном поле Земли, изменяющемся с высотой, показывает, что система ведет себя совсем не так, как это предполагают апологеты космического лифта.

Но не только фуллерены и структуры, основанные на них, являются перспективным направлением технологического развития по пути «традиционных» технологий. Другой перспективный путь — образование на поверхности материалов нанопленок с заданными свойствами. Достигается это путем как их нанесения, так и обработки поверхностей. Использование лазерного излучения, ионных пучков для нанесения таких поверхностей не должно скрывать от нас того обстоятельства, что это нанотехнологическое продолжение такого технологического процесса «со стажем», как оцинковка кровельного металла.

Но такое продолжение открывает совсем новые технологические возможности применения материалов, которых ранее не было. Так, речь идет о создании покрытий, обеспечивающих длительное и надежное функционирование материалов в критических условиях. При этом одновременно решаются задачи обеспечения надежности и соблюдения сроков эксплуатации, что объединяется термином «ресурс», принципиально важным в таких областях, как авиадвигателестроение, энергомашиностроение, двигатели и генераторные агрегаты в целом.

Нанопокртия решают и вопросы повышения энергоэффективности, технически понимаемой как коэффициент полезного действия (КПД). Так, благодаря покрытию лопастей газовой турбины тепловой электростанции нанопленкой может быть существенно повышена рабочая температура, что в соответствии со «школьной» формулой тепловой машины¹ позволяет значительно поднять КПД электрогенерации.

С проблемами КПД, долговечности и надежности также тесно связаны вопросы, решаемые в рамках нанотехнологического вектора развития по снижению трения в различных агрегатах, в том числе двигателях. Снижение на порядок трения за счет нанопокртия — ближайшая технологическая перспектива.

В этом контексте следует отметить и упоминавшиеся нанопорошки как основу смазочных материалов, применяемых с обычными агрегатами (без нанопокртия), как способа продления их ресурса. Одновременно другие нанопорошки будут использоваться и как абразивные материалы, применяемые в таких традиционных сферах, как бурение нефтяных и газовых

¹ КПД зависит от разности температур нагревателя и холодильника тепловой машины. Нанопокртия позволяют существенно увеличить температуру.

скважин. В целом, это направление также справедливо рассматривать как традиционное, начатое технологиями по созданию искусственных технологических алмазов и производством уже полностью искусственного, т. е. не существующего в природе, фианита. При этом твердость созданного инструмента (не только бурового, но и иного) может быть выше или соразмерна твердости алмаза, как, впрочем, могут повышаться и его прочностные свойства в целом за счет снижения хрупкости.

Традиционные области применения нанотехнологий требуют и ряда «простых» решений, таких как повышение надежности и качества соединений. Последнее решение стало особенно актуальным при строительстве подводных газопроводов, где качество сварных швов трудно периодически контролировать.

В этом же — решение проблемы сродства¹ различных материалов сборных конструкций, актуальной, в частности, в авиационной. Так, отсутствие надлежащих материалов при проектировании в целом удачного воздушного судна ТУ-134/154 не позволило найти решения, исключающие процедуры технического обслуживания самолета, требующего периодическую частичную разборку фюзеляжа для проверки состояния стрингеров в местах соединений с корпусом.

В этом же ряду стоит задача обеспечения необходимой адгезии² поверхностей, имеющей место в процессах склеивания, пайки, сварки, нанесения покрытий, решение которой, в частности, позволит «склеивать» разнородные материалы, например керамическую пластину с металлической.

Итак, отчетливо просматривается перспектива «традиционных» нанотехнологий как продолжение уже сформировавшихся технологических потребностей и трендов технологического развития, но уже на новой технологической базе. При этом — и это принципиально — конечный продукт данных технологий, как правило, являет собой привычное нам изделие промышленности — от горных лыж, достаточно прочных и эластичных,

¹ Сродством к электрону называют энергию, выделяющуюся в процессе присоединения электрона к свободному атому. Если два металла имеют различное сродство, то при их контакте возникает электродвижущая сила — как в батарее. Текущий ток разрушает материал.

² **Адгезия** (от лат. *adhaesio* — «прилипание») — слипание поверхностей двух разнородных твердых или жидких тел.

обеспечивающих скольжение по любому снегу, а возможно и асфальту, до летательных аппаратов, пусть и с большим ресурсом и грузоподъемностью. Конечно, новые материалы дают нам перспективу новых конструктивных решений, позволяющих получить «новое качество», которое в свое время было достигнуто в авиации в виде принципиально новых видов техники и транспорта. Но данное технологическое развитие будет основано на уже имеющихся базовых представлениях, опираться на уже развитые модели, понятную нам математику в форме инженерного дела.

Конечно, не все так просто и последовательно. Следует отметить тенденцию по изменению классического характера некоторых ранее «классических» технологий (назовем такие технологии «переходными»). Ярким примером таких «переходных» технологий могло бы стать создание материала, обеспечивающего обтекание крыла без образования турбулентности, т. е. завихрений потока, приводящих к повышению сопротивления движению в разы и на порядки. Такой ламинарный (не турбулентный) поток по обтеканию «классического материала» демонстрирует нам природа в «лице», а точнее в теле дельфина. Казалось бы, создание «дельфиной кожи» на основе классических технологий, пусть и нано-, ожидать сложно. Однако научные лаборатории дают нам иные сигналы. Так, разработанная в Институте физических проблем Сибирского отделения Российской академии наук технология создания массивов микродатчиков на основе нанотрубок на достаточно большой поверхности позволяет говорить о создании «думающей» поверхности летательного аппарата, которая будет подстраиваться под аэродинамический поток, затягивая ламинарно-турбулентный переход и уменьшая сопротивление. А это важный шаг к созданию принципиально нового летательного аппарата, «плывущего» в атмосфере подобно дельфину. Вообще, улучшение тех или иных качеств, уже в принципе достигнутых, традиционных, может приводить к изменениям, носящим принципиальный характер. Так, вполне традиционное «легче и прочнее» может сделать реальным полет на Марс, ранее невозможный по простейшим технологическим причинам. И это всегда надо иметь в виду.

Однако в долгосрочной перспективе, по оценке большинства экспертов, нанотехнологии произведут такую же революцию в манипулировании материей, какую произвели (а она еще дале-

ко не окончена) компьютерные технологии в манипулировании информацией. Нанотехнологии обещают радикальное преобразование как современного производства и связанных с ним технологий, так и человеческой жизни в целом. И этот главный нанотехнологический «приз» — а в контексте нашей книги — вместе со всеми рисками.

По мнению директора Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» М. В. Ковальчука, принципиальная особенность нынешней нанотехнологической революции состоит в том, что в ходе нее наблюдается смена парадигмы развития науки. Раньше мы шли «сверху вниз», т. е. двигались в сторону миниатюризации создаваемых предметов. Сейчас мы идем «снизу», с уровня атомов, складывая из них, как из кубиков, нужные материалы и системы с заданными свойствами. В этом суть нанотехнологий. Атомно-молекулярное конструирование материалов с необходимыми свойствами принесет ощутимые выгоды в экономии и энергетических, и материальных ресурсов.

Атомно-молекулярное конструирование означает становление индустрии в целом на иных, непривычных, и во многом на сегодня не понятых нами принципах. В этих условиях — когда мы многого не понимаем — полезно применение следующего методологического принципа. Если мы хотим представить, что будет через 20 лет, мы должны спрогнозировать, что будет лет через 50, согласиться с этим как с гипотезой, и подумать, что будет сделано за 20 лет по достижении 50-летней цели. При этом за 20 лет технологическое развитие приведет к тому, что сами 50-летние цели станут иными, потеряют актуальность, точность или, возможно, даже смысл. Но именно они в итоге определяют развитие в более короткой 20-летней перспективе.

А что мы ожидаем в 50-летней (а многие эксперты говорят, что много ранее) перспективе? В долгосрочной перспективе нас ждет иная *материальная капитализация* индустрии. За этими сложными словами скрыта необходимость повторения того, что делало человечество для достижения своей индустриальной фазы развития. Примитивно это можно пояснить так. Для того чтобы выплавить сталь, надо было добыть коксующийся уголь, температура горения которого достаточно высока и достаточна для плавки стали. Но, чтобы добраться до угля, нужны металлические инструменты, пусть даже медные, ведь сталь

мы еще не выплавляли. Медь можно выплавить с применением дров. И так далее — до самого первого знакомства человека с огнем. В «квантовых» нанотехнологиях мы только зажгли первую спичку. Инструменты наши примитивны. Но не они будут определять лицо «квантовой» nanoиндустрии в долгосрочной перспективе, как не определяет кремневое огниво пещерного человека современное производство.

Но — внимание! — появление новой индустрии подразумевает отказ от старой. Мы уже разучились строить пирамиды, мы скоро разучимся производить электронные лампы — опыт Чернобыля и Фукусимы наглядно показал, как опасен отказ от них: бывший Союз ССР сумел создать робота для работы вблизи активной зоны, Япония — уже нет. Мы утратим многие технологии, и если среди них окажутся те, которые принципиально важны для нашего выживания в экстраординарных условиях — а так оно и будет, — то последствия трудно представить. Давайте предположим, что на год-два отключили электричество. Всё. Повсеместно. Сможем ли мы когда-нибудь снова обеспечить его подачу?

Но каков будет новый технологический уклад, основанный на «нано»? И какие риски с этим связаны? Об этом говорится в последней главе нашей книги. Одни вопросы разобраны достаточно подробно, другие только обозначены, многое пропущено. Но чтобы обо всем подробно и точно написать, пришлось бы здорово отклониться от того, что мы называем «нано». Нам бы пришлось окунуться в эмпирию футурологии и научно-технологического прогноза. А эта книга все же о другом.

Здесь мы затронем только один из самых «популярных» аспектов нового технологического уклада. Содержательным аспектом «квантовых» технологий являются наномеханизмы, в том числе наноактюаторы и наносенсоры, образующие особую группу механизмов, основанных на нанопринципах.

Микроразмеры определяют не только чрезвычайно разнообразные, но и принципиально новые области применения наномеханизмов — вплоть до глобального контроля сред. В широком смысле слова роль наномеханизмов заключается в формировании нового технологического уклада, такого уклада, при котором производство конечного продукта, привычного нам, будет осуществляться на нанопринципах, а новым конечным продуктом будут наноустройства, которые невозможно

представить в существующем технологическом укладе. Само производство и его инструментарий будут реализовываться за счет наноустройств и наноинструментов.

«Конечным пунктом» такой «квантовой» nanoиндустрии можно назвать нанорепликацию — когда наноустройства, совмещенные с наносенсорами по предложенной и «помещенной» в них программе, будут производить (собирая атомы в нужном порядке) письменные столы, продукты питания, биопротезы и органы для имплантации, и даже лемовские сепульки — что бы в будущем это ни означало. Это, вне всякого сомнения, далекая цель, но цель, которая позволяет нам оценить более близкие перспективы нашей погони за ней. При этом далеко не фантазийный характер мира наносенсоров и активных наноустройств демонстрируют ситуация и перспективы в «смежном» направлении — биотехнологиях, для которых наличие такого рода нанообъектов, как РНК- и ДНК-машины, — непреложный медицинский факт.

Итак, риски

Разумный риск — самая похвальная сторона человеческого благоразумия.

Джордж Сэвил Галифакс

Итак, мы определили основные понятия, вокруг которых пойдет разговор о рисках, связанных с нанотехнологиями, и шире — с технологическим развитием и ожидаемой сменой технологического уклада, т. е. того, что ожидают от нанотехнологий как многочисленные эксперты — специалисты различных дисциплин и направлений, так и все мы.

При этом мы уже договорились, что риски нанотехнологического развития могут быть разными. Среди них риски собственно технологические, риски экологические, экономические, социальные, политические, и наконец, риски системные.

Но перечисления недостаточно: все это требует — пусть краткого — предварительного пояснения.

Технологические риски достаточно разнообразны. Прежде всего применение технологий всегда связано с риском того, что

что-то опасно, что-то может пойти не так. Технологические процессы могут быть нарушены, возможно их катастрофическое развитие. Трубы газопроводов не должны взрываться, самолеты и автомобили — сталкиваться, страховочные альпинистские веревки — обрываться, но все это и многое другое происходит. Наша задача сделать наши технологии безопасными в том смысле, чтобы это происходило как можно реже.

Нанотехнологии столь разнообразны, что с ними может быть связано большинство традиционных производственных рисков, присущих современному производству. Но нанотехнологии — это технологии в «превосходном» качестве, ведь и в области традиционных технологий мы их применяем затем, чтобы получить больший эффект. Значит и риски могут быть значимее.

Необходимо сразу договориться: с оценкой риска не все так просто. Во-первых, есть риск как вероятность того, что произойдет нежелательное. А во-вторых, есть степень этого риска — тот результат, который получится, когда нежелательное все же произойдет. В развитии нанотехнологий явно наметился тренд по снижению вероятности нежелательного. Но одновременно с этим могут расти риски, измеренные как степень или тяжесть последствий.

Технологические риски также связаны с возможностью наших неверных оценок, просчетов, наконец, просто с недостаточностью знания. Квантовый мир — важный источник возможных неверных оценок. Здесь нас может подвести обыкновенный здравый смысл. Но и недостаток знаний, который у нас в последнее время «в достатке», — также немаловажный фактор. Авторы несколько лет назад давали рецензию на проект федерального закона «Технический регламент по безопасности устройств и систем, предназначенных для производства, хранения, транспортировки и использования водорода», а тема водородной энергетики тесно связана с нанотехнологиями. В проекте данного закона за безопасное количество водорода было предложено считать один килограмм. Но это *очень* много! Ведь водород легкий. Один килограмм взрывчатки — разве мало? Один килограмм водорода — это почти 30 килограмм в тротиловом эквиваленте! Заметим, что цена за незнание может быть еще выше, чем непреднамеренная детонация 30 килограмм взрывчатки.