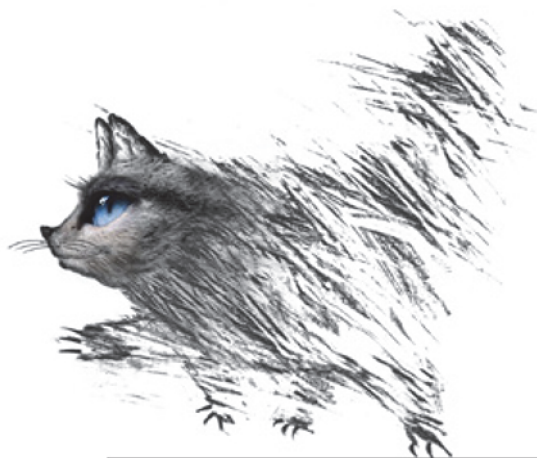


С. Б. Тараненко  
А. А. Балякин  
К. В. Иванов

# 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. — 4-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2024. — 251 с. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-771-8

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

12+

**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 978-5-93208-771-8

© 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
 <b>ЧАСТЬ I. НАНО ВОКРУГ</b> .....	<b>35</b>
Глава 1. Коварная прочность.....	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
Глава 2. Чудеса структуры .....	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
Глава 3. Страсти по квантам .....	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
 <b>ЧАСТЬ II. НАНО ВНУТРИ</b> .....	<b>113</b>
Глава 4. Будьте здоровы .....	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
Глава 5. У зеркала: это все еще я? .....	139
5.1. Бегун на протезах .....	139
5.2. Поцелуй на расстоянии .....	145

5.3. Мозг навынос .....	149
5.4. Кризис идентичности .....	154
<b>Глава 6. Нано – детям не игрушка .....</b>	<b>158</b>
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
<b>ЧАСТЬ III. НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ .....</b>	<b>189</b>
<b>Глава 7. Нарушение системы .....</b>	<b>191</b>
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
<b>Глава 8. Невидимые цели .....</b>	<b>218</b>
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

# Глава 1

## Коварная прочность

---

### 1.1. Голова или хвост?

*Желание избежать ошибки — вовлекает в другую.*

Квинт Гораций Флакк

*Когда исчезнет то, что зло сейчас, немедленно наступит то, что зло завтра.*

Фазиль Искандер

*Устранение факторов, способных привести к нежелательному исходу, обнаруживает новые такие факторы.*

Седьмой закон Мерфи

**Н**анотехнологии начинаются с материалов, как, впрочем, и все в привычном нам мире, — мире, начиная с древних шумеров, построенном на технологиях. Ведь если мы сделали какую-



то *материальную* вещь, то она обязательно сделана из материала. Много раньше мы строили и делали наши инструменты из дерева и камня. Потом настала эпоха меди и бронзы. Ее сменил век железа и стали, при котором мы научились делать механизмы. Алюминий и алюминиевые сплавы, а также титан позволили нам развить авиацию, штурмовать космос. Наш прогресс — это во многом прогресс материалов.

Конечно, в современную эпоху — эпоху информационных технологий — может последовать серьезное возражение, ранее не имевшее место. Спрашивается: из какого материала сделана компьютерная программа? А ведь она так же важна и полезна, как и любая материальная вещь! Она настолько полезна, что ее можно продать, и объем продаж таких программ давно превысил соответствующий объем для многих вполне материальных вещей, например мебели.

Действительно, в современном мире все сильнее становится представление о нематериальных ценностях и активах: будь то вполне «осязаемая» программа или совершенно эфемерный гудвилл — репутация той или иной фирмы, товарного знака, бренда, оцененная в деньгах. Говорят даже об экономике знаний как о новом этапе нашей технологической цивилизации. Знания — вот истинная ценность, которую стоит производить, а они нематериальны. Все это отчасти верно. Но представьте себе, что мы начали обменивать знания на знания, не производя ничего другого. Будет ли это экономикой?

Однако и знания мы сохраняем на *материальном* носителе. Сначала были глина и клинопись, потом папирус и иероглифы, затем пергамент и буквы, бумага и печать<sup>1</sup>. Сегодня — это компьютерная память, которая благодаря нанотехнологиям становится все более емкой и надежной. Развитие наших знаний тесно связано с материальными возможностями по их хранению и передаче.

Здесь уместно вспомнить простенький анекдот.

Заспорили как-то Интернет и Компьютерная программа — кто главнее. Интернет кипит:

— Ты, Программа, без меня ничего не передашь и не получишь. Где ты возьмешь данные для своей работы?

---

<sup>1</sup> Авторы не приводят действительную историческую последовательность событий. Это лишь иллюстрация общего принципа.

Программа возмущена:

— Да без меня какая же передача данных: кто запрос отправит, кто по полочкам все разложит?

— Глупости, — отвечает Интернет.

Тут пришло Электричество. Грустно улыбнулось... и всех выключило.

Мораль проста: даже если мы и не видим материального основания — оно непременно есть. Оно лежит в основе всего. Наш мир — это, прежде всего, мир материалов, по крайней мере сегодня. Без материального носителя нет программы: будь то электронный диск, микросхемы памяти компьютера или флеш-устройства. Да и работа всех электронных устройств — от хранилищ информации до процессоров — требует такого материального основания, как производство энергии. С появлением «нематериальных» вещей наш мир стал еще более материальным, чем раньше.

Правда, многие материалы стали другими. Появились совсем новые материалы, неизвестные и не используемые ранее, как, например, наноккомпозиты на основе фуллеренов или дендримеров, молекулярных конструкций, придуманных и синтезированных человеком. Кроме того, многие старые материалы приобрели новые качества, да такие, что мы вправе считать их совсем другими материалами. Такое случилось, например, с металлами. Действительно, мы не отказались от металлов. Однако теперь мы стали их специально обрабатывать — наноструктурировать. Мы можем наноструктурировать сам металл, его тело. Но чаще мы покрываем его специальными нанопокрытиями, чтобы сделать материал тверже, уменьшить трение, обеспечить его биологическую совместимость, т. е. для разных целей и по разным основаниям.

Действительно, покрытие может сильно изменить свойства материала — это давно известно, но мы часто не обращаем на это внимания. Мало кто догадывается, что алюминиевая посуда ядовита. Мы в ней готовим, иногда в ней храним продукты (что, правда, не рекомендуется). В чем же дело, почему никто до сих пор не отравился? Все дело как раз в покрытии. Алюминий, или его сплав, такой как дюралюминий, всегда покрыт окисной пленкой. Не специально. Она образуется сама — на воздухе. Окисная пленка не ядовита и прочна. Алюминий надежно изолирован от наших продуктов. А если вы все же поцарапали кастрюлю — новая пленка на воздухе образуется практически

мгновенно. Но вот если вы поцарапаете такую кастрюльку в вакууме или в инертной атмосфере и будете в ней готовить пищу (конечно, если это будет возможно), то результат будет крайне неожидан — ваша кастрюля начнет растворяться в супе (точнее — в воде) с бурлением пузырьков выделяющегося водорода от разложения воды. (Кто на уроках химии в школе бросал в воду калий и наблюдал, как он «горит» в воде, знает, о чем идет речь.) Увидев все это, вы вряд ли рискнете попробовать варить. И правильно — токсично!

Подчеркнем: когда мы имеем дело с материалом (например, трогаем его руками или храним в нем продукты), мы имеем дело не с ним, а с его поверхностью. А это не одно и то же! Алюминий — тот же калий, только покрыт прочной оксидной пленкой, и его не приходится хранить в пузырьке под слоем керосина.

Нанотехнологии — это в том числе и технологии изменения свойств материалов за счет изменения его поверхности. Мы либо изменяем структуру поверхности, ее строение, либо наносим на поверхность тончайшие слои чего-то другого. И свойства материала на поверхности меняются, причем зачастую принципиально. Поэтому с нанотехнологиями мы получаем что-то вроде алюминиевой кастрюли, только наоборот. В кастрюле мы были хорошо знакомы с поверхностью, но плохо знали, что скрывается под ней. А в нанотехнологиях мы можем иметь дело с вполне знакомыми материалами, поверхность которых — что-то совсем другое. И у нас есть шанс обмануться. Представьте, что мы держим в руках привычную, как нам кажется, вещь, например резец для обработки сверхтвердых материалов, думаем, что это — привычная нам сталь, свойства которой нам хорошо знакомы. А это и сталь и не сталь! Нет, «внутри» она такая же, а вот поверхность стали уже нечто совсем другое — ведь именно этого мы добивались, изменяя ее свойства, например твердость. Но где гарантия, что мы не изменили — ненамеренно — и других свойств поверхности? Впору писать этикетки-напоминания, как это теперь часто делают: «Внимание: привычный нам материал может нас обмануть».

И действительно, мы можем не ожидать от него опасности. Ведь многие из нас держали сверла в руках и знают — это вполне безопасно, не надо только руки сверлить! Конечно, сверла, покрытые специальным покрытием, как правило, безопасны. Но в этом «как правило» и скрыт наш риск. Если все делать «по ин-



струкции», вряд ли стоит ожидать каких-нибудь неприятностей, кроме какой-нибудь специфической аллергической реакции. Но мы не роботы. Обязательно что-нибудь придумаем и попробуем, например просверлить магниевый сплав<sup>1</sup>.

Итак, наноматериалы таят в себе опасность. Привычные нам вещи становятся не тем, что мы привыкли от них ожидать. Наш «опыт» может нас подвести. Только мы не всегда знаем как, где и когда!

Появление новых материалов всегда таило в себе опасность. Человечество уже сталкивалось с подобной проблемой. Во второй трети XX в. в нашу жизнь стремительно ворвались синтетические материалы органической химии. Корпус и клавиатура компьютера, на котором писалась эта книга, как раз и сделаны из таких материалов. Это пластики или пластмассы. Данные материалы оказались нам крайне полезны. Они хорошо обрабатываются — деталь или изделие можно вылить или формировать за счет высокой температуры, а не точить, как это мы делали с металлами. Они оказались хорошими изоляторами, никого сегодня не удивляет оплетка электропроводов из такого материала. Некоторые из них оказались достаточно прочны, чтобы делать прочные вещи. Но... Этих «но» — множество.

Все мы знаем о вреде «китайских» игрушек. Нет, конечно, дело не в том, что эти игрушки произвели именно в Китае — стране с великой культурой — или на подпольном заводике в подмосковном городе Долгопрудный — городе с высокими научными и технологическими традициями. Просто среди возможных материалов, удобных для производства игрушек, оказались материалы, со временем или под воздействием света «стареющие». Старение — это процесс разложения материала с выделением вредных, часто ядовитых, продуктов распада. И именно из этих материалов недобросовестный производитель производит детские игрушки, а недобросовестный продавец их продает. И добавим: недобросовестная мама уступает тормозящему ее ребенку, поддаваясь детскому «ну, мама, купи...». Повторимся — дело не в том, что игрушки «китайские». Дело в том, что

---

<sup>1</sup> Авторы из общих соображений, хотя и не пробовали, предполагают, что при тех режимах обработки, которые используют для наноструктурного режущего инструмента (высокие скорости обработки), можно устроить неплохой фейерверк.

большая часть производителей, продавцов и — что часто упускают из виду — *покупателей* во всем мире недобросовестна! И добросовестными они становятся с огромным трудом. Ведь производителю выгодно взять дешевый и удобный материал. Продавцу удобно продать относительно недорогую игрушку — ведь выглядит она вполне качественной. Покупателю дорогая игрушка была бы вообще не по карману. Да и думает он совсем не о том, что детям нужны *другие* игрушки — не те, которые ему навязывают реклама и продавцы.

Вот и ответьте теперь сами на вопрос: а почему с наноматериалами будет иначе? Неужели и производитель, и продавец, и покупатель будут другими: обуреваемыми чувством ответственности и не стремящимися к выгоде за счет других? Конечно, когда мы делаем ракеты, мы более ответственны<sup>1</sup>. Но вдруг дело и до «игрушек» дойдет!

Удивительно, но именно пластики демонстрируют нам и обратную сторону этой проблемы. Обратная сторона — это наша попытка избавиться от недостатков, в данном случае — от способности пластиков разлагаться. Вот мы разработали материалы, которые не разлагаются от солнечного света (а это действительно так). Пусть они дороже, сложнее в использовании, т. е. частью преимуществ, которых мы добивались, мы поступились. И приняли меры, чтобы «вредные» материалы не применяли — запретили их использование, тщательно следим за тем, чтобы никто не применял разлагающиеся пластики. Но хорошо ли это? Как оказалось, вовсе нет. К сожалению, это привело нас к новой проблеме — проблеме «пластиковых пакетов».

Массовое производство пластиковых пакетов, которые нам бесплатно или за небольшие деньги представляют магазины при покупках, — отличительная черта нашего времени. Ушли в прошлое авоськи и хозяйственные сумки — их сменил его величество *одноразовый* пластиковый пакет. И действительно, зачем нам носить свою сумку, ведь это же неудобно.

Но вот беда. Пакетов стало так много, что они составили значительную часть нашего мусора — а мусор «одноразовым» не бывает. Тем более что такой пакет разлагается очень и очень долго. Ведь

---

<sup>1</sup> Оказалось, что и здесь — в отсутствии должного контроля — картина та же. Сегодня СМИ сообщают о выявленных случаях производства деталей для ракетополетов на «заводах в сарайчиках».

мы его таким сделали: он должен быть безопасным с точки зрения выделения вредных примесей, тех самых вредных примесей, за которые мы ругали «китайские» игрушки — мы же в него пищевые продукты кладем. И, естественно, лишь на то время, которое нам нужно, чтобы сходить в магазин: никто не говорит о том, что при долгом разложении в итоге токсичных веществ выделится меньше.

И накапливаются наши пакеты, загрязняя планету, — там, где мы их нечаянно обронили или беспечно бросили, там, куда их принесло ветром или прибило прибоем. Лежат себе у реки, на лесной полянке, на пляже и не разлагаются. Лежат и на полигонах — так застенчиво мы называем громадные отвалы свозимого мусора. Уж нет в живых того, кто бросил пакет, а «напоминание» о нем живет — тот мусор, который он оставил своим потомкам. Ведь не банановая шкурка — не гниет.

Пластики как новые, искусственные материалы демонстрируют нам ту принципиальную сложность, которая связана с созданием неестественных, чуждых природе, материалов, а такими и являются все наноматериалы. Избегая одной проблемы, мы тут же становимся жертвами другой. Обязательно! Эту ситуацию образно можно назвать дилеммой «головы и хвоста»: голову выдернул — хвост увяз, хвост выдернул — голова увязла, т. е. пластики или не разлагаются, или травят нас удушливыми газами. Авторы не утверждают, что эта дилемма неразрешима в принципе. Просто на ее решение нужно время, нужно затратить усилия, другие ресурсы и немало. Пройдет 40 лет и более, и возможно, проблема перестанет быть столь острой. Тот, кто помнит запах первых отечественных болоньевых курток шестидесятых (сегодняшние «китайские» игрушки по этому «параметру» все же здорово не дотягивают), тот понимает, насколько мы сегодня успешны в решении этой проблемы. Но это не отменяет самой проблемы относительно новых материалов — как сегодня, так и на длительную перспективу.

В подтверждение можно привести еще один пример.

Пластики применяются для изоляции. И там, «где есть электричество», их применяют для обеспечения безопасности людей. Этого требуют нормы электробезопасности. Однако многие из пластиков горят. И их применение запрещено, но уже другими нормами — противопожарными. Выход, казалось бы, прост: применить пластик, который не горит, благо такие пластики есть. Но пластики не горят за счет содержания в них фто-

ра — все, что могло бы гореть, связано с фтором; а фтор — более сильный окислитель, чем кислород, вот пластик и не горит в 21%-й кислородной атмосфере. Но этот, так сказать, выход — классическая демонстрация нашей дилеммы «голова-хвост». Гореть-то он не горит. Но вот, если что горит рядом, а гореть всегда есть чему, — он хорошо разлагается от температуры соседнего горения. И выделяет фтор и его ядовитые соединения! От огня при пожаре вы, может, и не погибнете, а вот от дыма, содержащего соединения фтора, — наверняка! И эти материалы также запрещены противопожарными нормами. Получается, что по одним нормам вы должны покрыть металлические проводящие поверхности пластиком — чтобы током не «шарахнуло», по другим — пластики применить нельзя: одни горят, другие травят. Этот казус не решен и сегодня. За пожарную безопасность нового здания проектировщик вынужденно берет ответственность на себя — в надежде, что пожара не будет. А пожарные знают — не так страшен огонь, как дым. Берегитесь дыма — вот лейтмотив современного пожарного дела.

Итак, наш опыт, касающийся появления принципиально новых, не встречающихся ранее в природе материалов, говорит нам в отношении нанотехнологий следующее.

Во-первых, будь осторожен, не доверяй своему опыту, наш опыт — обманщик (вот ведь как интересно получилось, ранее мы, прежде всего, полагались именно на опыт). То, что кажется привычным и понятным, таковым не является.

Во-вторых, в погоне за столь желаемыми преимуществами и новыми возможностями, которые нам дают новые материалы, основанные на новых технологиях, всегда полезно помнить принцип: хвост вытащил — голова увязла. Решенная сегодня проблема — обязательно источник новой.

А в сумме: главный риск применения новых материалов в том, что риска мы часто и не видим. А он есть! Обязательно. Следи за хвостом!

#### **Краткая таблица рисков**

Риск опыта — «привычные и знакомые» материалы могут быть не тем, к чему мы привыкли.

Риск незнания — поведение новых материалов может быть неожиданным и иметь непредсказуемые последствия.

Риск добросовестности — новые материалы служат источником возможного недобросовестного поведения как производителя, так и потребителя.

Риск преодоления риска — решая одну проблему, порождаешь другую.

## 1.2. Порошок или пыль?

*Наука не может быть виновата. Виноваты только те люди, которые плохо используют ее достижения.*

Фредерик Жолио-Кюри

Конечно, есть риски, которые мы осознаем и понимаем, которые мы учитываем уже сегодня, которые мы пытаемся оценить и предотвратить. Вот тому пример.

Нанотехнологии, что называется, генетически связаны с манипулированием наночастицами и их совокупностью, нанопорошком — огромным количеством наночастиц примерно одинакового или различного размера. Нанопорошок применяется для создания множества самых различных наноматериалов. Это и нанокомпозиты на основе специальных пластиков с добавлением упрочняющих нанодобавок (употребляют мудреное слово «препреги»), это и покрытие поверхностей нанопорошком, это и создание керметов<sup>1</sup> — спекание смеси нанопорошков металлов в металлокерамику. Это и многое другое — конечно, если использовать наночастицы «похитрее», такие, например, как дендримеры (дендримеры подробно описаны в п. 2.1 «Фрактальная симфония»). Но факт остается фактом. При производстве нанопроductии часто используется нанопорошок. А бывает, что наноматериал содержит этот наноразмерный порошок в себе (так, например, устроены нанокомпозиты).

Риски, связанные с применением нанопорошков, изучены лучше всего. В чем здесь основная опасность? Частицы нано-

---

<sup>1</sup> **Кермет** — керамический металл, металлокерамика, искусственный материал, представляющий собой гетерогенную композицию металлов или сплавов, в том числе с неметаллами.

порошка настолько малы, что клеточные мембраны (а в них есть маленькие «окошки» для того, чтобы обеспечить необходимый обмен веществ, работающий на принципах осмотического калий-натриевого насоса) не препятствуют проникновению наночастиц в клетки. Попадая в организм, возможно наш, наночастицы любят накапливаться в определенных его органах и тканях. Чтобы понять это, в жертву науки была принесена не одна мышка, естественно, не компьютерная. Таких мышей специально выводят для проведения экспериментов. Это так называемые чистые линии<sup>1</sup>. Все они ближайшие родственники, поэтому про каждую из них известно очень многое — с ее копией уже проведено множество экспериментов. Но что еще важнее — результаты различных опытов, проведенных различными научными группами в разное время и в различных местах нашего мира, можно сравнивать! Ведь опыты ставились — пусть почти — на одной и той же мыши.

Вот на основании результатов множества опытов с различными нанопорошками ученые выработали свои рекомендации: это представляет опасность, это нет, данная концентрация порошка или экспозиция (концентрация, помноженная на время) безопасна, а вот эта — нет.

Свои рекомендации они оформили в виде СанПиНов. СанПиНы (санитарные правила и нормы) — это нормативные документы, обязательные к применению. Следует отметить, что российская система СанПиНов в сравнении с зарубежными наиболее адекватна возможным угрозам. Во-первых, если ее сравнивать с европейской или американской системой санитарных норм, она наиболее тщательно проработана, наиболее научно обоснована, опирается на мощнейший действующий институт Российской Федерации — Роспотребнадзор. Пусть вас не введет в заблуждение слово «санитарные» в названии — СанПиНы регулируют практически все вплоть до света лампочек, о чем речь идет в п. 1.5 «Светло, да не видно», а служба контролирует все, что регулируется СанПиНами. Кто не знает Геннадия Онищенко!

Но кроме общей «мощности» системы норм, устанавливающих санитарные правила, российский подход к разработке

---

<sup>1</sup> **Чистая линия** — группа организмов, имеющих некоторые признаки, полностью передающиеся потомству в силу генетической однородности всех особей.

таковых для нанотехнологий отличается от мировых (американского и европейского) в лучшую сторону вот еще чем.

Европейский подход рассматривает нанотехнологии как один из видов технологий, которые регулируются уже существующими нормами. Возможно, их надо подправить, но они уже есть — написаны и зафиксированы. Очевидно, что такой подход не учитывает особенностей, связанных непосредственно с нанотехнологиями, а эти особенности есть. Во всяком случае они ожидаются: мы связываем с нанотехнологиями большие надежды, которые не реализуются в рамках традиционных технологий, значит, должны предполагать и их принципиальные особенности.

Американский подход, напротив, «пренебрегает» накопленным опытом. Нанотехнологии — это принципиально новое. И все должно строиться по-новому.

Российский подход — синтетический. Не отвергая накопленного опыта (надо заметить, громадного!), для нанотехнологий создают самостоятельные СанПиНы в рамках уже существующей единой системы СанПиНов.

Важно подчеркнуть, Российская Федерация — мировой лидер в области обеспечения нанобезопасности, понимаемой как санитарная безопасность (а это понимание крайне широко, как мы только что отмечали), как гарантия непричинения вреда здоровью отдельного человека: взрослого и ребенка, здорового и больного, потенциальной матери и беременной женщины. Для каждой группы населения, в том числе для отдельных профессиональных групп, — свои требования, свои нормы. И дело не только в том, что выбран правильный подход. В Российской Федерации проведен огромный объем практических исследований по обеспечению такой безопасности. И на основании полученных результатов создана система СанПиНов, рассматривающая нанобезопасность во множестве ее аспектов.

Правда, по утверждению самих разработчиков, далеко не все риски удалось устранить. Есть один риск, который трудно поддается анализу. Это риск долгосрочных последствий. Конечно, в опытах на животных мы заглянули далеко в будущее. За несколько лет исследований на мышах можно заглянуть за горизонт 50—70 лет человеческой жизни — учитывая разные темпы жизненных процессов. Но заглянуть дальше — трудно. Не все опыты можно ставить на быстроживущих дрозофилах, как это делают генетики.

Правда, один опыт природа сама поставила в долгосрочной перспективе. Есть такой материал — асбест. Это природный минерал, состоящий из нановолокон. Его применяют не только как огнеупорный материал (нановолокна — отличный термоизолятор), но и как термоизолирующий материал в строительстве. Было время, когда нельзя было найти дом, в котором при его строительстве не был применен асбест — где-то в большом объеме, где-то совсем немного. К счастью, это уже в прошлом. Оказалось, что этот материал, попадая в легкие человека, приводит к тяжелым последствиям. Астма — наименьшее из зол. Среди самых тяжелых последствий — рак дыхательных путей. И все это исключительно в силу механических свойств нановолокон асбеста, тех свойств, которыми обладают любые нановолокна. Следовательно, контакт нановолокон с органами дыхания должен быть исключен. СанПиНы это предусматривают уже давно.

То, что размер частиц может иметь последствия — и не только для здоровья человека, — хорошо демонстрирует факт запрета курения в машинных залах электронно-вычислительных машин в 70—80 годы прошлого века. Дело вовсе не в том, что заботились о здоровье сотрудников, — из-за табачного дыма выходили из строя дисковые накопители, ласково называемые ЭВМ-щиками «кастрюлями». Размер частицы табачного дыма соответствовал ширине зазора между диском и магнитной головкой. Попадая в этот зазор, дым работал как абразив, стачивая магнитную поверхность диска. И для организма человека (да и животного) тоже есть «критические» размеры частиц, например «дыма» из нановолокон, когда в нашем организме что-то «истирается». И СанПиНы это учитывают — этот размер частиц безопасен, а этот нет.

Но одними СанПиНами дело не ограничивается. Во-первых, совершенно все ими отрегулировать попросту невозможно. На каждый случай правило не напишешь. А во-вторых, там, где правила есть, их надо соблюдать, а это сложно.

И дело не только в потенциальной недобросовестности. Мы просто часто думаем, что делаем правильно, поступая так, как не следовало бы. Вам любой химик скажет, что с ионами металлов — любых металлов, в том числе серебра, — нужно быть осторожными. Их растворы лучше не пить. Однако еще совсем недавно было широко распространено изготовление



«святой воды»: опускаешь в воду серебряную ложку, и вода не портится. И правда — не портится, потому что микробы передохли. И ключевое слово здесь «передохли». Но мы отчего-то уверены, что нам это не во вред, мы — не микробы! И если раньше это могло быть оправданно — не пить же воду, рискуя заразиться холерой или брюшным тифом, то сегодня у нас есть иные источники безопасной воды, в том числе благодаря нанотехнологичным фильтрам. И ионы серебра глотать для этого не обязательно.

Вы скажете, что пример «притянут за уши». Мало ли каких заблуждений раньше не было? Но именно этот пример сегодня «успешно» реализуется в нанотехнологиях.

Конечно, в условиях космического полета очень трудно часто менять носки. Да и для военнослужащего в условиях боевых действий, учений, к ним приближенных, просто в сложных условиях, актуальна та же проблема. Поэтому носки, ткань которых содержит серебряные наночастицы, не дающие ногам «потеть», — вещь, безусловно, полезная. Но это не отменяет того факта, что наночастицы серебра в целом для организма вовсе не полезны. Но за дело принимается реклама — и носки с наночастицами серебра становятся предметом моды. Они становятся «желательными». Мы носим такие носки на том же основании, которое побуждает нас чистить зубы. Неряшливо поступать иначе!

А может быть лучше чаще менять носки? Мы же не космонавты — нам это не трудно. Но что мы будем делать, если других носков попросту не будет? А такое вполне может случиться, например по экономическим причинам. Зачем выпускать дешевые носки, если можно делать их дороже? Они не только носки, но и антисептик. Два в одном. Значит — дороже! Вам это не нужно? А ответьте себе, сколькими опциями своего мобильного телефона вы активно пользуетесь? Заплатили-то вы за все!

С применением санитарных норм связано и следующее обстоятельство. Для разных категорий людей, как мы уже отмечали, установлены разные нормы. И это справедливо! Для детей — одно, для взрослых — другое. Все верно! Вот только осталось объяснить, почему учеников кормят школьными обедами такого качества, что взрослый есть не станет. Он-то, взрослый, имеет — пусть ограниченную — возможность выбирать, а школьник

нет. Вот захотели взрослые дяди дать в руки ребенку планшетник вместо привычной книги. И оказывается одни СанПиНы можно изменить (что равносильно отмене), а другие придумать: нельзя же «бедному» ребенку носить тяжелые книги — вредно это, а на остальное — наплевать. Наплевать на зрение, на навыки, на... Впрочем, подумайте сами.

Риск, что с нанотехнологиями будет так же, можно считать уже состоявшимся (планшетник, кстати, проходил по статье «нано», правда трудно понять, с какой стати<sup>1</sup>).

Вы можете заметить, что все это «человеческий фактор». Просто власть должна быть более эффективной и не принимать неверных решений, как это имеет место с вышеприведенным планшетником, что дельцы должны быть не дельцами, а бизнесменами, не лоббирующими такие решения, что рынок должен быть совершенным, конкуренция на котором не позволяет принуждать нас к ношению чудо-наноносков с вредным для здоровья серебром, что, наконец, мы сами должны быть готовы... И так далее... Да, наверно, фактор действительно «человеческий». Вот только не бывает технологий в отрыве от «человеческого» фактора — мы об этом вас предупреждали еще во введении.

Предполагать идеальные условия — это значит отказаться от учета рисков в принципе. Природа риска такова, что нежелательного может и не быть. Мы вообще-то надеялись и надеемся, что нежелательного не произойдет. Вот только «карты легли» как-то не так. И то, что казалось в идеальных условиях безопасным, безвредным, вдруг оказалось пренеприятной гадостью.

Конечно, при анализе рисков следует различать технологический и человеческий факторы, хоть они и принципиально связаны. И лишь технологическая составляющая позволяет риску иметь место — не можем же мы устроить взрыв из ничего, какой человеческий фактор ни прикладывай, а вот из мелкодисперсного порошка — пожалуйста. Если взять бумажный пакет сахарной пудры, «хлопнуть» его, чтобы пудра разлетелась, и бросить в облако пудры горящую спичку... Пудра, продававшаяся в конце 60-х, первой половине 70-х годов в каждой московской булочной, — технологический фактор. Юный возраст одного из

---

<sup>1</sup> Конечно, можно считать, что все, что делает Роснано, — по определению нано, но строго обратное утверждение, по мнению авторов, гораздо больше соответствует фактам.

авторов этой книги — человеческий фактор. К счастью, в те далекие годы все закончилось относительно благополучно. А вот взрыв на мукомольном производстве — а такое, наверное, было не раз — имеет куда более тяжелые последствия. И поди пойми, какой человеческий фактор сработал: закурил ли какой-нибудь идиот, не досмотрел ли за электрическим контактом электрик, что привело к искре, — скорее всего, этого никогда не узнать. Важно помнить: если есть технологическая возможность — человеческий фактор найдется, например в лице ребенка, ставящего небезопасный эксперимент с сахарной пудрой, или взрослого, испытывающего очередную версию вакуумной бомбы (о которой речь пойдет ниже) на основе взвеси нанодисперсных частиц, нашего нанопорошка — разница часто бывает не велика. Заодно запомним: если нанопорошок получен из материала, который в принципе может гореть — а это наши фуллерены и нанотрубки, то над ним лучше не проводить подобных экспериментов по распылению. А производства должны иметь соответствующую систему взрывобезопасности — как на мукомольном производстве, с учетом всех «человеческих» факторов.

#### **Краткая таблица рисков**

Риск вреда наночастиц здоровью человека на производстве.

Риск применения материалов с содержанием нанопорошка для здоровья потребителя.

Риск побуждения к неправильному применению изделий с содержанием наноматериалов.

Риск долговременных воздействий наноматериалов на организм человека.

Риск недостаточности или несоблюдения санитарных норм и правил.

Риск сознательного искажения санитарных норм и правил в силу нетехнологических причин.

Риск неучета человеческого фактора при обращении с наноматериалами.

### 1.3. Коварная прочность и оловянная чума

*Чтоб доверие было прочным, обман должен быть длительным.*

Дон Аминадо (А. П. Шполянский)

**Н**аша санитарная безопасность применения наноматериалов, как написано выше, во многом зависит от поверхности материала. Но безопасность — не только санитарная. Что мы хотим от материала? Прочности? Пластичности? Электропроводности? Конечно, для разных материалов — разного. Но только ли этого мы хотим? Нет! Прежде всего мы хотим, чтобы материал, любой, нас не подвел, чтобы он в любых разумных условиях был прочным, пластичным или электропроводящим. А это зависит, как правило, не от поверхности, а от всего материала целиком. Соответственно риски, которые мы рассмотрим здесь, — это риски применения объемно наноструктурированных материалов. А с ними связана одна принципиальная особенность.

Наноструктурное состояние — это так называемое метастабильное состояние. Пояснить это можно следующим образом. В разных условиях материал предпочитает находиться в различных состояниях: для каждого условия — свое состояние. Так, вода выше 100 градусов должна быть паром. Это ее нормальное, стабильное состояние. Она и закипает. Но можно воду — очень чистую воду, не содержащую ни пузырьков газа, ни пылинок, ни растворенной соли (всего того, что может быть центрами закипания), — нагреть до температуры и выше 100 градусов. Вода бы закипела, но она не знает, откуда начать. Но стоит бросить в нее крупинку, вода «взорвется», мгновенно превратится в пар. Перегретая жидкость (в нашем случае — вода) — это нестабильное состояние. Метастабильное состояние в чем-то похоже на стабильное — оно относительно устойчиво. Одновременно оно похоже и на нестабильное — также относительно. Дело только в степени этой относительности. Как правило, мы считаем метастабильные состояния столь же устойчивыми, сколь и стабильные. Твердое тело — а именно для него не только возможны, но и характерны метастабильные состояния — может находиться в различных состояниях. Замечательный тому пример — углерод.