

ИНТЕРНЕТ-ЖУРНАЛ

# ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

АПРЕЛЬ 2014



Статьи для журнала направ-  
лять, указывая в теме пись-  
ма «For journal».

Журнал содержит материалы  
найденные в Интернет или  
написанные для Интернет.

Журнал является полностью  
некоммерческим. Никакие го-  
норары авторам статей не  
выплачиваются и никакие оп-  
латы за рекламу не принима-  
ются.

Явные рекламные объявления  
не принимаются, но скрытая  
реклама, содержащаяся в  
статьях, допускается и даже  
приветствуется.

Редакция занимается только  
оформительской деятельно-  
стью и никакой ответствен-  
ности за содержание статей  
не несет.

Статьи редактируются, но  
орфография статей является  
делом их авторов.

При использовании материа-  
лов этого журнала, ссылка  
на него не является обяза-  
тельной, но желательной.

Никакие претензии за не-  
вольный ущерб авторам, за-  
имствованных в Интернет  
статей и произведений, не  
принимаются. Произведенный  
ущерб считается компенсиро-  
ванным рекламой авторов и  
их произведений.

По всем спорным вопросам следу-  
ет обращаться лично в соответ-  
ствующие учреждения провинции  
Свободное государство (ЮАР).  
При себе иметь, заверенные ме-  
стным нотариусом, копии всех  
необходимых документов на афри-  
каанс, в том числе, свидетельства  
о рождении, диплома об  
образовании, справки с места  
жительства, справки о здоровье  
и справки об авторских правах  
(в 2-х экземплярах).



## СОДЕРЖАНИЕ

| История                                   |     |
|-------------------------------------------|-----|
| История атомного проекта СССР (окончание) | 3   |
| Ликбез                                    |     |
| Молекулы (окончание)                      | 76  |
| Введение в биотехнологию (окончание)      | 105 |
| Химичка                                   |     |
| Некоторые методы органической химии       | 138 |
| Электроника                               |     |
| Введение в электронику (продолжение)      | 179 |
| Техника                                   |     |
| Спинтарископ                              | 199 |
| Дискуссии                                 |     |
| Где российский хайтек?                    | 204 |
| Литпортал                                 |     |
| Цветы техножизни                          | 222 |
| Разное                                    |     |
| Простые демонстрационные опыты            | 292 |
| Новости форума                            | 297 |

## НА ОБЛОЖКЕ

Привет из мира высоких технологий. Читаем статью  
«Где российский хайтек?».



## ИСТОРИЯ АТОМНОГО ПРОЕКТА СССР (окончание)

### Построение реакторов

19 июня 1948 г. на комбинате N 817 ("Маяк") в г. Челябинске-40 (г. Озерск Челябинской области) первый в СССР промышленный ядерный реактор для наработки оружейного плутония был выведен на проектную мощность.

В сооружении первого промышленного реактора были задействованы лучшие научные и производственные силы.

Постановлением Совмина от 9 апреля 1946 года установлен срок ввода диффузионного завода N813 - к 1 сентября 1947 года, чтобы уран-235 своевременно поступил на переработку в котел 817-го завода.

Завенягин участвует в разработке мер помощи строительству, укомплектования будущего производства кадрами (включая вопросы зарплаты, жилья, бытоустройства, снабжения и культурного обслуживания научных и инженерно-технических работников и рабочих). У него своя "строка" в документах о поставке качественного оборудования, проектировании и изготовлении спецарматуры, сооружении тоннелей-хранилищ для сбросных растворов завода "Б".

А.М. Петросьянц:

"Одно время я вплотную занимался строительством и пуском завода N813. Эту задачу поставил передо мной А.П. Завенягин. "У нас есть, - сказал он, - два важных дела. Наладить производство ядерного горючего, плутония - на Комбинате N817, под Челябинском, и высокообогащенного урана-235 - на другом заводе, в Свердловской области. Ваша задача - построить этот завод и освоить технологию".

На строительстве диффузионного завода работало до 40 тыс. человек, главным образом заключенные. Как-то пожаловался Завенягину на медлительность строителей, очень сложные условия жизни заключенных (надо было наладить их питание, одеть, обуть), плохое обеспечение техникой (кирка, лом; машин практически не было). А.П. приехал, разобрался, помог. И так не раз.

Оборудование для нас делали в основном два предприятия - Ленинградский Кировский завод и Нижегородский завод N92, бывший пушечный. Там директором был Елян. Прекрасный организатор. Несомненно, А.П. хорошо знал и ценил директора Горьковского машиностроительного завода А.С. Ельяна. Того самого, о котором И.К. Кикоин вспоминал: "Заводы, которые нам прикрепили для создания необходимого оборудования, были очень удачно выбраны, особенно один из них.

Директора этого завода А.С. Ельяна называли Богом войны. Завод, точнее, директор завода с первых же дней войны, остановив производство на две недели, пошел на огромный риск, приняв на себя всю ответственность за реконструкцию завода, и скоро увеличил выпуск продукции с 8-10 до 100 пушек в день".

Пристрастное отношение к Амо Сергеевичу объяснялось, видимо, и тем, что Завенягин помнил его брата, делового В.С. Ельяна, с которым ему довелось работать еще в Норильске.

У разработчиков диффузионной технологии были трудности, и в 1949 году на завод прибыл Берия. Вместе с руководством ПГУ. Выслушав доклады, в том числе и мой, он прервал совещание: "Все, что вы просили и требовали, страна дала в избытке при всех трудностях. Поэтому даю вам срок три месяца на решение всех проблем по пуску завода. Но предупреждаю: не выполните - готовьте сухари. Пощады не будет. Сделаете все как надо - наградим". И уехал. "Пощады не будет?" "Как-то, - вспоминал В.С. Емельянов, "я зашел поздно ночью к Завенягину и в стеклянном стаканчике с притертой пробкой принес небольшой "королек" плутония. Он долго рассматривал его и вдруг задал вопрос: "А ты уверен, что это плутоний? - И он, оторвав глаза от стаканчика с металлическим шариком в нем, посмотрел на меня, как мне показалось, с каким-то страхом и озабоченно произнес: "А может быть, это еще что-то, а не плутоний?" В общем, завод пустили, весной он выдал свою первую продукцию. Были и награды".

В дальнейшем (1951 год) именно А.П. Завенягин дал добро на строительство самого крупного по тому времени диффузионного завода Д-5 (введен через четыре года). Когда была кардинально улучшена конституция разделительных фильтров диффузионных машин, на министерском уровне (1953 год, приказ А.П. Завенягина) приняли решение строить на Комбинате N813 крупный цех по производству новых фильтров.

"Подчеркну внимательное, чуткое отношение А.П. к новой технике, поисковым работам", - продолжал А.М. Петросьянц. "Особенно тем, которые могли преподнести сюрприз, неожиданный результат. Когда было неясно, дадут ли они что-то эффективное.

В 1950 г. на Южном Урале заработал завод, который по технологии, основанной на диффузии газа через пористые фильтры, начал производить обогащенный уран проектных кондиций. Коллективом под руководством И.К. Кикоина эта сложнейшая проблема была решена за пять лет (в США считали, что для овладения этим методом нашей промышленности понадобится не менее 20 лет). Конец 1948 г. - начало

пусковых работ на комбинате N813 по получению обогащенного урана.

Александров А.П. вспоминает:

Первый диффузионный завод пошел, в общем, довольно успешно. Но в такой громадной системе, которая состоит из двух-двух с половиной тысяч ступеней, ждать равновесия, пока оно установится, это несколько месяцев. Вот оно пошло работать, работает само на себя, без отбора, его запитали - оно еще без отбора и видно что не получается нужной концентрации в конце. Это была буквально трагедия. Вот меня тогда привлекали к этому делу. Ну, в общем, там разобрались с этим всем.

Об этом я расскажу подробно позже. В конечном счете, все пустили таким образом, что стал получаться конечный продукт. И стали это направление развивать. Построили несколько крупных заводов, они очень дорогие. Причем это огромнейшие цеха. Все они автоматизированные, и автоматический контроль. И значит, у тебя на пульте известно, когда какая машина начинает барахлить. Нужно туда подъехать посмотреть в чем дело. Человек садится на велосипед и едет по цеху.

Дело в том, что обогащенный уран это был и запасной вариант и, кроме того, некоторые виды оружия требуют значительного количества урана 235. Он, в общем, дешевле плутония. Для очень больших мощностей очень выгодно его применять. Я просто не могу вдаваться во все подробности этого дела, тут важны разные вещи - например, и плотность вещества, так как она определяет скорость разлета, а скорость разлета определяет те давления максимальные, которые могут возникнуть.

Но это не по моей специальности, поэтому я не хочу говорить об этом, а кроме того, это секретно.

В какой то момент на Урал приехал Ванников. Он посадил меня в свой вагон и сказал, что нам нужно ехать на Кикойнское предприятие. И мы поехали туда. По дороге захватили мы еще Харитона, который являлся главным конструктором и научным руководителем разработки оружия. И тут зашел совершенно для меня неожиданный разговор. Ванников стал говорить о том, что завод разделительный, который построен и работает, выпускает конечную продукцию не той кондиции что нужно, меньше дает обогащение, чем было необходимо. И так как конечной задачей было сооружение и этого типа оружия и сопоставление одного вида плутониевого - с урановым, то это создавало очень большую трудность. И вот когда мы ехали, в вагоне шел разговор об этом, что нельзя ли сконструировать оружие на вот этом продукте более низкого обогащения.

Ну, тут всякие расчеты, прикидки мы делали, со всех сторон обсуждали этот вопрос. И, в конечном счете, пришли к такому заключению, что такой вариант возможен. Что это будет гораздо более громоздкая вещь, но, тем не менее, она реализуема. Ванников был страшно доволен, потому что он должен был докладывать Берии о ходе работ на этом заводе.

А туда должен был приехать Берия для обсуждения положения вопроса о том, что же делать с этим заводом. Ну и когда мы туда приехали, тогда Ванников уже сказал там, что мол и на этом продукте может быть получен результат, только будет немножко потяжелее это изделие. Ну и это тогда сняло остроту, потому что острота действительно была такая, что могло кончиться совершенно по-разному. Вообще Ванников в этом смысле был молодец. Удивительно такой трезвый и разумный человек.

Мы с Ванниковым и Харитоном приехали на этот завод и стали знакомится с тем, что же там делается. Оказалась очень любопытная вещь.

Весь завод такой представляет собой колоссального объема вакуумную систему. Конечно, туда есть некоторые подсосы воздуха - ничтожные правда, но все же есть, да и просто сами детали газили немножко в течение длительного времени.

Поэтому происходило понемножку разложение шестифтористого урана, и он превращался в четырехфтористый и оседал на стенках. Это само по себе было совершенно не страшно. Но когда сделали потом подробные расчеты то оказалось, что постоянный вывод на всех ступенях каскада все более и более обогащенного продукта приводил к тому, что конечного обогащения достигнуть было нельзя. Ну, получалось три четверти того, что было нужно.

Так что серьезная очень была проблема. Ну, вместе мы там пытались разобраться, что к чему и как с этим делом можно побороться, ну и в частности вынесли такое решение, что дополнить существующий завод группой маленьких машин еще - ну что значит группой - это значит несколькими сотнями маленьких машин, в которых бы просто из-за малой их поверхности по возможности меньше был бы вот этот процесс вывода газа из игры. Ну, быстро была разработана конструкция и вот тут я приехал как-то на завод, где делались эти машины, а там делались значит части для реакторов, я по своим реакторным делам приехал.

И вдруг ко мне обратился руководитель этого направления, который на заводе находился, и сказал такую вещь. Слушай, мы говорят тут перепробовали сто одну пластмассу для того чтобы сделать разделительную перегородку между ротором и статором двигателей. Не можешь ли ты нам в этом деле помочь, ты когда-то занимался всякими полимерами и пластмассами. Я посмотрел список того, что они перепробовали, посмотрел конструкцию этих рубашек, и сказал, что я думаю, что может оказаться хорошим очень простой выход. Что нужно взять и ваши керамические рубашки покрыть олифой, натуральной только обязательно. Что она создаст такую пленку, которая как раз меньше всего будет реагировать с вашим гексафторидом. Они, значит, начали страшно хохотать, что неужели такой простой выход. Я говорю - я берусь вам это дело сработать. Действительно, с завода моментально дали людей, мы с ними поехали на разные производства в этом городе, в конце концов, добыли такое производство, где делали натуральную олифу. Достали от них хороших образцов натуральной олифы. Привезли это дело на завод. Первые керамические рубашки покрыли этой самой олифой, обожгли их. Ну, не обожгли, а высушили там прогрев полагается делать примерно до 110 градусов. Мы это сделали, получились великолепные блестящие рубашки без всяких дефектов. Их поставили на испытания, и уже на другой день оказалось, что никакого разложения газа при этих рубашках нет. И никакой потери вакуума нет. Было по этому поводу совещание у директора завода. Там как раз докладывались эти результаты. После чего я встал, меня стали там благодарить, потому что действительно они уже измучились с этим делом - а я встал и говорю руководителю этого направления - ну что, ты думаешь, я на тебя даром работал - гони десятку. Он, значит, вынул десятку и такую премию я получил за эту работу. Кстати после этого скоро была девальвация и десятка превратилась в рубль.

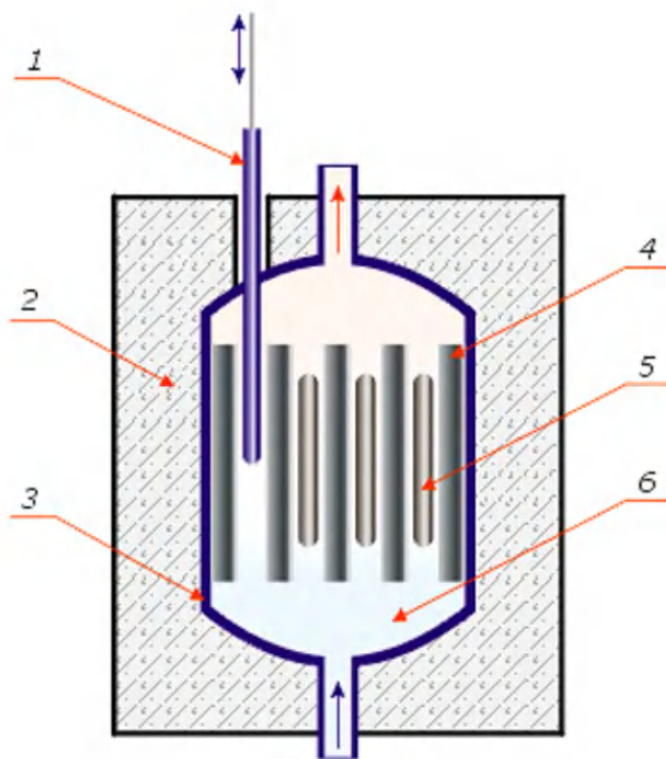
Вот такое мое было совершенно ничтожное участие в этом деле, но об этом вспомнили, когда мы праздновали 30 лет со дня пуска первого такого разделительного каскада. Но вот что характерно. Вот мы сделали этот эксперимент. Мы его сделали в два дня и три ночи. И на заводе был организован участок по изготовлению вот этих пропитанных рубашек. И он был организован в течение трех-четырех дней. И пошло это производство. С отделом технического контроля, со всем как полагается. Но действительно, чтобы это сделать работали день и ночь. И мои собственные сотрудники, которых я вызвал туда, а это был Димка Регель и Лазуркин, я их просил организовать эту вещь как раз, вот полимеризацию олифы той самой, чтобы все было грамотно и хорошо сделано. Они тоже там проработали два дня и две ночи, и это производство было пущено. Этот случай характеризует тот необычайно напряженный темп, который у нас тогда был во всей работе.

В том, что касается других работ, я там со всеми варился, и мы занимались там и вопросами химическими и металлургическими, все это мы обсуждали вместе.

И какой радиоактивный фон, за счет чего, и так далее, все это мы переваривали вместе. Тогда там главный был Бочвар, был Черняев, был Виноградов Александр Павлович. Были последователи (последыши как мы их называли) Хлопина из Радиевого института, потому что они занимались процессом химической переработки до передачи уже окончательного продукта на последнюю производственную стадию. А радиохимическая переработка облученного урана, это была их технология тогда.

Игорь Васильевич был занят строительством первого большого реактора. Реактор был спроектирован у Долежаля и в 1948 г. строительство подходило к концу. Игорь Васильевич непрерывно сидел на Урале. А я в это время у него в лаборатории занимался разработкой проекта следующего реактора.

Я уже знал подробно, как устроен строящийся реактор, я к этому времени уже хорошо разбирался в инженерной стороне всего этого дела. Это надо сказать важно, что я много времени употребил на то, чтобы понимать чертежи как следует быть. И мне было очень легко по чертежам ориентироваться во всем том, что сооружалось. Я привык, имея дело с проектированием этого реактора, да еще и раньше, вот по нашим корабельным всем делам – привык смотреть на чертежи не только с точки зрения понять, что на нем изображено, но и как это можно сделать.



Схематическое устройство гетерогенного реактора на тепловых нейтронах: 1 – Управляющий стержень; 2 – Радиационная защита; 3 – Теплоизоляция; 4 – Замедлитель; 5 – Ядерное топливо; 6 – Теплоноситель.

После окончания строительства первого реактора руководил работами на нем и столкнулся с некоторыми трудностями.

На первом реакторе козел получился уже на второй день его работы. Козел – это когда нарушается теплообмен в каком-то канале, все это разогревается и часто сплавляется. Эту штуку надо удалять из активной зоны, чтобы зона нарушенного теплообмена не распространялась.

Мы не понимали собственно, в чем дело. Потому что если был нормальный теплоотвод то казалось бы ничего плохого не должно быть. А тут вдруг есть, есть

теплоотвод - а потом вдруг бац - нет расхода воды, и есть козел.

Конструкция была такая: вода подавалась насосами в коллектор реактора. Из коллектора она попадала в канал и шла вниз, и самотеком потом оттуда выходила.

Канал - это прямая труба, в которой сидели урановые блоки. Урановые блоки примерно около 100 мм длины, около 35 мм диаметром. Они одеты были в алюминиевую оболочку. Труба была ребристая, ребра у нее внутри, чтобы блоки к стенке не прикасались. Блоки загружались туда между ребрами, такой столб большой. И через это дело прокачивается вода. И эта вода вдруг переставала идти. Причем раньше это все фильтровалось, вода была чистейшая.

Вода настолько чистая, что скажем на семи метровой глубине видно двугривенный, который лежит на дне резервуара. Так что эта очистка производилась самым тщательным образом. Потом происходили вот такие штуки, и это было непонятно. Был у нас первый козел, потом был второй, третий, четвертый, пятый пара козлов была, ужасных козлов. Мы их значит там высверливали, страшно мучились с этим делом, страшно бились.

А оставить их нельзя, будет выгорать графитовая кладка. И вот они все время там эти козлы проклятые получались. И я помню как мы расправлялись с одним козлом, мучились страшно. Уже у нас стоял реактор две недели. Мы все время там сверлили, сверлили, что-то вынимали, вынимали.

Где-то сверлить надо на 20-метровой глубине это такой огромной бор - штангой. Вдруг - трах - сверло лопается пополам. Я помню, лопнуло, значит, такое здоровое сверло - что делать? Я говорю, братцы, давайте сейчас сделаем электромагнит. Попробуем его электромагнитом подцепить. А как в него засверлиться и его захватить на этой 20-метровой глубине когда там ни черта не видно и не знаешь попал туда или не туда - черт его знает. Сделали мы магнит. Все не верили, что это дело возможно. Опустили его туда и вытащили на магните это проклятое сверло, вот такую блямбу, конец сверла. У нас тогда был там очень интересный мужик, Фролов-Домнин. Он сейчас работает у нас в институте. Ну, он собственно не так работает, как он уже пенсионер, но мы его держим поскольку он был ветераном всего этого дела. Отличный механик-самоучка. И вот он придумывал всякий инструмент для раскулачивания этих самых "козлов". Я помню, как-то я прихожу на реактор, он бросается ко мне, говорит, вот, Анатолий Петрович, мы, наконец, придумали, как с козлами бороться. Надо его сверлить, когда он мягкий. Надо выводить реактор на мощность и сверлить, вот смотрите как сверло идет. Я смотрю, действительно у него эта штанга идет туда, я прямо за голову схватился. Тебе, говорю, кто разрешил? - Начальник смены. Я значит начальнику смены, что ты мать твою так и перетак, что ты делаешь? Ну-ка говорю, остановите все к чертовой матери, выньте оттуда штангу. Значит, они вынимают ее оттуда - идет, идет она сначала, потом начинает идти красная, потом белая и вместо всех сверел там такой обсосок этой штуки.

Я помню, мы тогда корчевали, корчевали какого-то "козла". Мы сверлили, сверлили, и вот уже вроде мы должны были бы все просверлить насквозь. По отметкам выходит так, что мы сейчас должны уже пройти разгрузочный аппарат. А разгрузочный аппарат это там такие нержавеющие конструкции, поперек всего реактора. Значит, начинаем пробовать разгрузочную конструкцию вот эту самую, балку так сказать, потянуть и - свободно. А по всем отметкам уже должна была бы эта штука войти туда. И вдруг этот Фролов говорит - Анатолий Петрович, а давайте мы соседние подержаем? Одну дернули - ничего. Вторую дернули - не хочет дергаться. Оказывается вот это сверло на этой 26 метровой длине ушло вот так в сторону и соседнюю эту штуку пробурило насквозь. В общем, чего там только не бывало. Надо сказать, нахватались мы тогда всякого излучения невероятное количество.

Вот как-то мы один "козел" там раскулачивали, и удалось захватить.. мы зна-

чит обычно цангой хватали за верхний блок и вынимали потом - столько вынимается. Дальше начинаем сверлить. Это техника такая - сначала разгрузить вниз - сколько вылезло, столько вылезло. Потом, значит, сверху вынуть сколько вынул. Ну а там в середине один может сплавился, может десять сплавилось. Сначала мы его постучим. Иногда бывало так что - называлось зависание - постучим и он выскочит, в конце концов. Если уж не выскакивает, тогда сверлить. И вдруг, когда мы вытаскивали блок, вдруг вытащили такую длинную колбасу, штук вероятно двадцать этих блоков и среди них два почему-то блестящих. Все черные такие, обгоревшие, а два почему-то блестящих. Значит, мы все стоим за выступом стены и так только выглядываем оттуда посмотреть. Потому что светит же оттуда по-сумашедшему. Я говорю Ефиму (Ефиму Павловичу Славскому) - что это за черт, - два блестящих. Он говорит, да где ты там видишь блестящие? Я говорю - да вот смотри. Он, значит, взял, выбежал туда - я не вижу, где блестящие! Я значит, к нему прибежал - вот, смотри где блестящие.

Ну, выбежал из-за защиты, что поделаешь. Вся защита, перископы, это все есть. Но все это приспособлено для нормальной работы. А вот когда такая авария так тут что-то надо быстро делать. Я помню, это уже на пару лет позже было, на тяжеловодном котле случилась авария. Там выгружали блоки из реактора, ну их в такие кубеля, в такие бадьи всегда разгружают. Это все под водой делается, все честь честью. И вдруг значит, оказалось, что эта течка - устройство, через которую засыпаются блоки в кубель, забились. Там образовалось сколько-то блоков, вода начала кипеть, значит, как только получился пар - уже охлаждения нету, все эти блоки стали там плавиться, получился грандиознейший "козел", реактор вышел из строя. Вот тогда Ефим там раскулачивал этот реактор и там был такой Замков, конструктор хороший очень. Очень оперативно, он страшно быстро все это соображал, как что сделать, и сразу в ремонтно-строительном цехе изготовляли все это. Буквально, дал чертеж, через 20 минут ты получаешь вещь. Вот так было тогда сделано. Ну, работали люди день и ночь, напряженно, а туда нельзя было даже подойти поближе посмотреть, что к чему. Тогда построили такой вроде танка с свинцовой защитой кругом громаднейшей, такие толстые листы свинца, и это называлось "сазан". И вот на этом сазане Ефим значит подъезжал к этой штуке и смотрел как ее разбирать, потому что нельзя было ничего себе представить как там сделать. И это очень помогло тогда.

Еще вот я помню, мы как-то один "козел" значит раскулачивали, раскулачивали, в конце концов раскулачили. Все. Начинаем выходить на мощность. Даем команды и идем обедать. За обедом мы тянули бутылочку портвейна. Вдруг прибегает Дубовский, а мы обедали там прямо рядом, в здании реактора. Прибегает Дубовский - Анатолий Петрович, два козла. Снова. Эх, ты, черт возьми! Побежали мы туда бегом, скорее. Еще только-только выходили на мощность. И вот тут нам удалось понять в чем дело. Я стал подробнейшим образом расспрашивать Дубовского, а была такая именно замечательная вещь, что чаще всего вот эти козлы получались сразу после выхода на мощность, не после того, как работает длительно аппарат, а сразу после выхода на мощность. И что оказалось. Там было сделано таким образом - вот идет водовод, по которому вода подается в канал, на нем стоит расходомер. Это так называемая рабочая вода. После расходомера стоит обратный клапан, и подходит труба аварийной воды, то есть если у тебя перестала подаваться вода от насосов, то у тебя открывается этот обратный клапан, и вода течет прямо из бака - без напора, но течет. При этом у тебя срабатывает аварийная защита, мощность реактора снимается, а остаточное тепловыделение должно сниматься этой водой.

И вдруг мне говорит Дубовский, что я, говорит, никак не думал, потому что я лично осмотрел все расходомеры, всюду был расход в норме, а на этих двух каналах расход даже был больше нормы. Я, говорит, обратил на это внимание, что

расход был больше нормы. И вдруг именно на них образовались козлы. И вдруг меня как ударило, Что, а может быть этот клапан обратный не прикрывается полностью и вода идет не в канал, а перекачивается в бак хранилища воды? Ну, с этими "козлами" мы довольно быстро расправились, потому что они были легонькие сравнительно. Но мы тогда это дело поняли. И мы тогда сделали сигнал аварийный, который включал аварийную защиту, не только на снижение расхода, но и на повышение расхода.

И вот оказалось, что это спасает нас от "козлов". Это и была причина. То есть их стало, по крайней мере, в 10 или 20 раз меньше. Это перестало быть таким бедствием каким-то ужасным. "Козел" это такая вещь, что почему-то вдруг прекращался расход воды через канал, после этого там уран расплавлялся, получались карбиды урана с графитом, распирали они всю эту штуку. И все это начинало гореть. И нужно было потом высверливать... достать все блоки, которые еще не расплавились, потом высверливать те блоки, которые расплавились, об-сверливать их кругом по графиту. И это, в общем, приводило к очень тяжелым авариям.

Очень интересное обстоятельство - это деформация урановых блоков. Мы это наблюдали когда мы искали причины "козлов", и рассматривали выгружаемые из канала блоки. Выгружали мы их в нормально работающем канале, в аварийном канале, все это подробнейшим образом исследовалось. И вот мы заметили, что если урановые блоки нормальные - это хорошо обточенные урановые болванки, одетые аккуратно в алюминиевую оболочку. А когда ты их вынимаешь из реактора, то они имеют вид каких-то грубых поковок. Как будто по этой алюминиевой оболочке били молотком. И мы пробовали, в горячих камерах, раздевать их, снимали эти алюминиевые оболочки и потом рассматривали сам уран, как он выглядит.

Рассмотреть было довольно трудно детали, но мы тогда делали такую вещь, мы снимали отпечатки на пластилине. Оболочку сдирали, а потом с самого уранового блокча снимали отпечаток. И что получалось - очень интересная вещь. Оказывается поверхность урана вместо гладкой, со следами от резца, которые были там глубиной порядка пяти сотых миллиметра, вместо этого получалось, что он совершенно горбатый, как поковка действительно. Оказалось, что следы от резца, которые нормально все идут параллельно друг другу, изогнуты, расходятся, об-рываются и так далее. То есть видно было, что идет какой-то очень сильный макроскопический процесс. Наблюдалась сильная, именно такая как при ковке де-формация всего урана. Надо сказать, что у нас уран изготавливался в свое время по техническим условиям физиков, только. И он был довольно крупнокристаллический, он был чистый, довольно пластичный. И вот оказалось, что вот эта круп-нокристалличность его здесь себя и проявила. Потому что оказалось, что кри-сталлы урана в одном направлении растут, в другом направлении под действием излучения уменьшаются, и вот эта гладкая поверхность, вышедшая из-под резца, она превращалась в такую сильно деформированную на больших расстояниях. От-дельные участки следа резца относительно других участков смещались, скажем, на 2-3 миллиметра, такие колоссальные смещения были.

Нам это мешало, потому что многие из блокчей вот в такую сардельку превра-щались, изгибались, даже они не хотели после этого разгружаться. Это называ-лось "зависание". И иногда эти зависания доходили и до козлов. Потому что ко-гда уран так гнуло и корежило, то, в конце концов, это приводило к ухудшению охлаждения. Я помню, тогда как раз тоже мы как-то анализировали все эти слу-чаи зависаний - обычно мы их не учитывали как "козлы" - а тут значит, мы их начали учитывать, и я всю статистику подбил и оказалось, что это все пропор-ционально числу делений. Число зависаний грубо говоря пропорционально числу делений то есть на периферии меньше, в середине больше. Это мало зависит от температуры, вот, а главным образом зависит от числа делений. Вот тогда это привело к тому, что мы тут же выставили другое требование - чтобы делать бло-

ки мелкокристаллическими. И их стали делать с термообработкой - и после этого они перестали таким образом пухнуть. Так что постепенно с этими делами всеми мы управлялись и управлялись хорошо.

Когда пускали первый из этих больших котлов, Игорь Васильевич очень боялся что не хватит средств регулирования, и поэтому распорядился чтобы вставить дополнительные поглотители. Их делали так: взяли трубы алюминиевые, и туда набили, насыпали борной кислоты, и трубы потом заварили. И их поставили в реактор. Их называли ХИВсы. Хивсы это было такое не очень приличное название - хреновина Игоря Васильевича. Когда начали работать на мощности, вдруг первый Хивс с ужасным грохотом взорвался. Оттуда вылетел сразу такой туман, мгла образовалась в центральном зале. Это вся борная кислота, причем все это было уже активное, все это оттуда вылетело к черту. Потом второй рванул. Тогда значит, остановили это дело. И доперли, что это же борная кислота, а не борный ангидрид. А в борной кислоте кристаллизационной воды до черта. Там значит, получалась гремучка из-за радиолиза, и эта гремучка рвала. Ну, тогда выбросили эти ХИВсы к чертям.

У нас было представление о том, примерно к чему облучение приводит. Мы всячески старались, чтобы всерьез не облучался народ. Но сама по себе дозиметрия тогда еще не была толком отработана. То есть в это время уже были у нас у всех фотокассеты, которые проявляли и устанавливали, кто сколько получил. И поначалу было такое положение - что кто переоблучился, по результатам фотокассет, - тому давали сразу отпуск на несколько дней. Чтобы привести в норму. Чтобы за длительный период времени было бы среднее облучение в норме. Работяги это быстро сообразили и стали эти кассеты совать на всякие трубопроводы активные и так далее, или в кубеля, где хранились блоки, для того чтобы побольше иметь отпусков на этом деле. На работу это дело сильно влияло. Тогда стали штрафовать начальников смены, если у него люди переоблучились.

Тогда кассеты стали оставлять в своем костюме и не нести с собой на работу. Так что, в общем, это длительное дело было, пока нашли такие способы, что все стало довольно разумно. Но и сейчас еще не очень разумно, потому что, например, попробуй кого-нибудь снять с пайков и дополнительного отпуска по вредности, перевести в безвредные условия работы - это же кошмар, никто не хочет.

Но бывали и такие случаи. Игорь Васильевич сказал Фролову-Домнину что ты мне покажи блочки, которые вытащили из козла. Причем они хранились в кубеле, в галерее, под водой и можно было там посмотреть, и перископ там есть и все... А тот понял это чересчур буквально. Игорь Васильевич сидел в центральном зале. Вдруг туда прет Фролов-Домнин. Вдруг включается вся сигнализация, значит, по радиоактивности. Что такое? Он прет целый лоток с этими блочками и ставит перед Игорем Васильевичем. А Игорь Васильевич в недоумении смотрит - чего он вынес. Потом глянул на эти блочки... Ты говорит, что принес?! Вот я, говорит, вы мне сказали блочки принести, я их вынул из кубеля, вот принес... И вот такие номера были постоянно. Он не понимал. То есть он совершенно ничего не понимал. Например, в какой-то момент он, значит, достал сколько-то блочков там из козла, и он знал, что всегда начальство все страшно ругается, если где-то блок какой-то лежит, это вообще так сказать гигантское нарушение. Он должен быть или в канале, или в кладовой, но просто так блок не может лежать. А тут он, значит, вытащил их из канала. Он, значит, не знал, куда их деть, он в зале их в уголок положил и накрыл какой-то тряпкой. Вся сигнализация звонит, а ему неважно, отчего она там звонит. Значит, вот такие номера бывали все время.

Проект первого реактора делал Доллежалъ. Я к нему приехал и изложил соображения насчет того, какой должен быть следующий реактор. А именно наш институт, Атомной энергии, он должен был являться научным руководителем. Тот мне гордо заявил, что надо повторять первый. А я уж к этому времени понимал это

дело прилично. И я ему сказал, что вот там-то, там-то и там-то сделаны решения неудовлетворительные. Но он как-то ко мне противно отнесся, что ему мол виднее, какие решения удовлетворительные, какие решения неудовлетворительные. Ну, тогда я сказал ему так. Ну, ладно, раз у нас общего языка не находится, то я буду искать другие пути. Ну, мы с ним распростились тогда.

После неудачной попытки наладить контакт с Долежалем я по рекомендации Ванникова (или Завинягина?) познакомился с Ельяном, директором и генеральным конструктором 92 завода в Горьком. Это был очень сильный человек, инженер великолепный. Он называл Доллежала "Дирижабль", видимо ненавидел так сказать всеми фибрами своей души. И старался сделать что-то другое. Ну и вот мы тогда занялись разработкой следующего варианта реактора. Это был 48 год собственно говоря. Первый реактор пошел в середине 48 года. И когда он пошел, оказалось, что в целом все что там придумано, это хорошо придумано. Но некоторые вещи оказались плохие. Ну, например, система разгрузки блоков оказалась не очень хороша, гораздо проще разработал Елян тот же самый. Ее и поставили.

Был неудачно выбран способ влагоудаления. Он приводил к тому, что влага конденсировалась на алюминиевых трубах и происходила коррозия этих труб. Она шла очень интенсивно, потому что графит с алюминием и между ними прослойка воды - это просто гальваническая пара. Трубы эти проедало буквально моментально. Это вызвало огромные трудности. Ну и потом большие трудности вызвала еще система контроля расхода воды через каналы и так далее, в общем, это привело к большому количеству очень тяжелых затруднений. Потом это все это дело постепенно ликвидировали.

Я помню, как я докладывал тогда проект нашего следующего реактора на научном совете первого главного управления. Председательствовал Курчатов. Были все там, Ванников, Первухин, Завенягин, в общем, все начальство и все члены совета, поскольку это был очень важный этап. Собственно говоря, первый реактор давал плутоний, но давал его чересчур мало, и нужно было увеличивать производство. А тут мы вышли с предложением сделать реактор, по крайней мере, в три раза мощнее.

Для бомбы годился или плутоний, или уран 235. Проблемой разделения изотопов урана занимался Кикоин, это другая линия. Но моя прямая задача была получить плутоний. В то же время строился первый завод, который должен был производить 235 уран, там были большие очень трудности, потому что он не давал достаточно обогащенный уран и, во всяком случае, плутоний... опережал. И мы стали разрабатывать проект с этим заводом, внесли в него много важных изменений. В этом проекте в теоретической разработке участвовали Коптев и Файнберг а инженерная часть она главным образом уже мной руководилась, участвовал Африкантов, тогда главный конструктор, очень талантливый человек.

И тогда значит, была такая ситуация. Вот, я докладываю... и вдруг я вижу что все жмут на меня, все начальство, почему я объявляю мощность этого аппарата как 300 тыс. квт. И, в конце концов, постановление совета 250 тыс. квт. Их предложение было 200 тыс. квт. И все-таки называли Берии цифру мощности в 2,5 раза большую мощности первого реактора. Потому что боялись. Фактически мы эксплуатировали длительно на мощности в три раза большей, а потом мы ее еще в четыре раза увеличили.

Но это было не по проекту, хотя по проекту я там заложил возможности дальнейшего повышения мощности, но не до такой степени. А потом мы совершенствовали все системы переменные и постоянно повышали, повышали, повышали и вот так доехали. Это уже была совместная работа и наша, и научных деятелей, и эксплуатации.

Там все портится постепенно. Гарантия на первый реактор давалась один год. Портятся, прежде всего, все стальные конструкции, в том числе и опорные. Но сделано было с таким запасом и с такими подстраховками, что вот уже работает

25 лет первый реактор с начальной гарантией год, а на второй реактор я давал гарантию 3 года. А они все работают уже больше 20 лет и на мощности в четыре раза большей, чем их первоначальная мощность.

Резерва там было достаточно. Тогда мы пустили эту разработку в серию. Это был собственно первый серийный завод по производству плутония. И сделали большое количество этих аппаратов, потом сделали в той же компании... проект следующей серии аппаратов. Мы требовали, чтобы они были по 700 тыс. квт., а нам дали только 500 тыс. И вот они стали работать все на 1.5 млн.

В общем, Игорь Васильевич после первого реактора буквально полностью мне все это дело передал и никакие вопросы, которые к нему приходили по поводу этих реакторов, он не решал, - он всех отсылал ко мне, так он решил. Вот это было интересное его свойство, что казалось естественно желание как-то сохранить за собой дело. Ничего подобного. Как только он увидел, что я с этим делом управился и управился как надо, он полностью доверил эту отрасль мне.

Тогда я первый раз поехал на Урал, чтобы этот проект обсудить с теми, кто уже сейчас уже имел опыт работы на первом реакторе там и обсудить новый проект и защитить его. И надо сказать, что это было очень нелегко. Потому, что каждый человек, с чем бы он не работал, но он к этому привыкает, и давать ему что-то новое, это можно сказать смерть. Обычно это чрезвычайно трудно идет. После длительной ругани там, мы получили все их замечания, в конце концов. Но, тем не менее, я остался при убеждении, что то, что мы разработали - это хорошо. Некоторые замечания были правильные, большинство было совершенно неправильные. Ну, например, на первом аппарате были применены ртутные расходомеры. А так как там тысяча каналов была, значит тысяча штук этих расходомеров, а в каждом около 200 кубиков ртути. Какая вредность в эксплуатации, ужас что такое. Мы, конечно, разработали расходомер не ртутный. Было все, были всякие там доносы, что замена ртутных расходомеров на новые - это будет гибель и так далее. Мы вынуждены были уже во время строительства этого реактора выставить группу расходомеров, кажется сто штук, их гонять непрерывно круглосуточно, менять как угодно режимы, и показывать каждый день всякому начальству, что они работают, не выходят из строя.

В этот период я занимался строительством второго реактора и был научным руководителем первого, который построил Курчатов. Когда проектировали первый реактор, тогда очень долго шел спор по казалось бы непринципиальному вопросу. Делать его с вертикальными каналами или делать его с горизонтальными каналами. Да, вдоль или поперек. Причем, в общем-то, это технически казалось бы было довольно все равно. Кроме того, было еще такое соображение - как его делать, в виде свободного реактора или упирающегося на мощную облегающую его конструкцию. Вот такой был еще вопрос. Какие причины были этих споров? Дело в том, что эта штука вообще холодная, цилиндр, диаметр которого примерно равен высоте, это графитовая кладка - она холодная. Когда она уже входит в действие - она должна разогреться - там графит до температур скажем градусов триста, потом до более высоких температур, и он сильно довольно расширяется. И значит, он тогда упирался бы в эту внешнюю конструкцию. Но с другой стороны она бы его фиксировала. Потому что ведь эта кладка вся делается из отдельных кирпичей, которые будут от нагрева ездить друг относительно друга как угодно, и в случае скажем остановки реактора, а это внезапное охлаждение, она должна будет усаживаться, а потом, будет расширяться относительно какого центра, относительно какой оси будет расширяться? Это тоже было не ясно, ось-то эта никак не фиксирована.

А в лежащем реакторе, горизонтальном, казалось бы все более определенно. Все построено значит и лежит на такой основе, а расширяется она только вверх и вниз потом при охлаждении, казалось бы, что все должно быть спокойно. Ну и вбок конечно. Но тут ты можешь сделать так слегка коническую вот эту часть,

где она расширяется, и все будет фиксировано.

Все-таки решили сделать вертикальный, и так как его пронизывает тысяча труб, то эти трубы его должны держать, и он не расползется. И оставили зазор между графитом и защитой, большой, метровый зазор. И вот оказалось, что это было необычайно удачное решение. Когда начали работать с этими реакторами, и собственно говоря, уже только на втором реакторе мы обнаружили что есть радиационное распухание графита. Причем это радиационное распухание графита больше гораздо, чем температурное расширение.

Графит при облучении делается очень твердым, он превращается в такой материал как чугун по твердости. Он сильно расширяется, потому что его атомы смещаются из положения равновесия в решетке, и занимают какие-то промежуточные положения. Он пухнет, но так как они все находятся в каких-то метастабильных положениях, то он запасает огромное количество энергии. И если, например такой графит начать потом разогревать, то где-то около температуры 600-700 градусов он вдруг сам начинает бешено разогреваться дальше. Причем, эти метастабильные все атомы начинают возвращаться на свои равновесные места. Вот это тепло Вигнера, оно так называется теперь, мы его открыли одновременно с американцами. Но у нас это все произошло благополучно, а у них и у англичан потом это кончилось крупной неприятностью. И вот какой. У американцев конструкция была рассчитана только на температурное расширение графита. После чего графитовая кладка упиралась в конструкцию защиты. И так как сила давления этого радиационного распухания огромная, то у них все котлы вышли из строя в Стенфорде, потому что разрушилась графитовая кладка, и разрушилась система защиты. А у англичан, это было позже, там произошла такая вещь. У них были реакторы с газовым охлаждением, с более высокой температурой кладки. И в какой-то момент, когда они хотели повысить еще мощность своих реакторов, вдруг у них начало выделяться это самое Вигнеровское тепло. И тогда у них произошла просто крупнейшая авария. У них значит один из реакторов производственных, на которых они делали плутоний, разрушился, кладка раскалилась до бела, весь уран конечно к чертовой матери расплавился, выбросило этот и уран, и осколки, все. И даже там коровы, которые были в радиусе 100 километров от этого реактора, давали радиоактивное молоко. Так что это привело к очень крупной неприятности в свое время.

У нас обдумывали все варианты, конечно. Но, в общем, это обстоятельство не знали. Просто решили взять большие запасы.

И вот оказалось, что это было очень разумное решение. Ну и... больше того, потом уже в следующих реакторах у нас было сделано так, что труба, в которую загружаются блоки урановые, она помещалась не прямо в сверление в графитовых блоках, а сначала туда вставлялись втулки графитовые. Почему мы пошли на такой "втулочный" вариант? В первом реакторе этого не было. Потому что к этому времени уже было несколько случаев "козлов" в первом реакторе. А "козел" это значит такая вещь, что почему-то вдруг прекращался расход воды через канал, после этого там уран расплавлялся, получались карбиды урана с графитом, распирала они всю эту штуку. И все это начинало гореть. И нужно было потом высверливать... достать все блоки, которые еще не расплавились, потом значит высверливать те блоки, которые расплавились, обсверливать их кругом по графиту. И это, в общем, приводило к очень тяжелым авариям.

Надо сказать, что когда мы построили первый большой реактор, то очень серьезно стоял вопрос, удастся ли нам им управлять теми средствами, которые были запроектированы. Кроме того, нам нужно было при пуске понять, а безопасен ли он в случае всякого рода аварийных ситуаций. Например, такая аварийная ситуация как прекращение подачи воды. Это всегда может быть. И что при этом произойдет. Вода все-таки является кроме замедлителя еще и поглотителем нейтронов, довольно сильным. Замедление на уран-графитовых реакторах в основном

идет на графите. Так что замедление в воде особой роли не играет.

И поэтому была такая опасность, что вдруг вода прекратилась, ушла из реактора. Поэтому у меня поглощение нейтронов уменьшилось благодаря уходу воды - или ушла, или вскипела допустим.

И поэтому у меня может быть разгон, ядерный разгон, цепная реакция в этом реакторе и тогда все может к чертовой матери развалиться и неизвестно чем кончится. Поэтому мы должны были вот все эти вещи оценить. Оценить мы их могли только прямым опытом при запуске реактора. То есть мы всегда делали так. Мы начинали загружать реактор ураном и следили как у нас меняется коэффициент размножения этой системы по мере увеличения количества загруженных каналов. Наконец мы находим минимальную критическую массу. Именно минимальную, то есть еще воды нет, ничего нет. Тогда мы подавали туда воду. Тогда мы для начала взвешивали действие стержней регулирования. Но все это было очень неточно, потому что количество-то урана не то, которое по проекту положено, а скажем раз в пять меньше. Поэтому тут нужно было действовать таким методом постепенного приближения. Вот мы взвешивали стержни. Потом мы давали воду, определяли как вода действует на это дело. Но мы еще не могли его выводить на мощность естественно. Потом мы его достраивали сколько-то. Опять повторяли эту же сумму экспериментов - и еще раз, и еще раз. Потом, в конце концов, мы получали какие-то кривые, которые можно было куда-то экстраполировать. И вот эти экстраполяционные значения они для нас и были чрезвычайно важны, это были такие опорные точки. Но результирующий опыт должен был быть такой - что когда уже загружен полностью весь реактор нужно было потихонечку начинать выпускать воду и смотреть, что при этом будет получаться, как будет подниматься реактивность. И вот я помню, мы запускали один из этих реакторов, его научным руководителем я был, а дежурным научным руководителем при пуске был один из сотрудников Курчатова. И это был такой бойкий довольно человек, он, значит, дает команду перекрыть воду на такой-то коллектор, перекрыть воду на такой-то коллектор...

Потом еще дает команду такую же. А тут значит, на пульте управления там сидит Ванников, еще масса какого-то народу, начальства. А я значит за всем делом наблюдаю, я не мешаюсь в то, что делается на пульте. И вдруг я смотрю, начинает реактор разгоняться, по гальванометру. Дежурный научный руководитель нажимает кнопку на опускание стержня - немножечко просело, опять начинается разгон. Он нажимает второй стержень, немножечко просела, опять начинается... реактор пошел. Все это делается на мощностях еще нулевых. Но реактор полностью загружен. А идет то разгон по экспоненте. Так что тут прозевать это... Я значит выскочил на балкон, который над центром зала и рявкнул там был такой Пентакин, начальник смены - и ему кричу - открывай воду! Во все коллекторы, немедленно, быстро! Тот, значит, бросился открывать всю воду. А в чем оказалось дело.

Между блоками и трубой алюминиевой, в которую они вставлены - очень маленький зазор, там около двух миллиметров. А вне графитовой части она переходит в толстую алюминиевую трубу большого диаметра. И там полно воды. И когда руководитель пуска стал закрывать воду в каком-то коллекторе - то он скомандовал закрыть воду, но реакции не увидел, потому что еще вода из этой трубы не стекла. И он быстро второй коллектор закрывает, третий коллектор закрывает, а потом вдруг оно начало из всех более или менее подряд выливаться, и реактивность поперла кверху. Я, значит, выскочил оттуда с этого балкона и сразу взял и опустил все стержни. Это единственный раз был, когда я вмешался на пульте, я эти тумблеры, которые опускают стержни, все повернул вниз. И реактор заглох. Через три минуты было все кончено.

Как контрольный прибор у нас существуют специальные ионизационные камеры, которые работают на шелкун. А шелкун он дает щелчки пропорционально току в

этих камерах. И ты можешь не смотреть на приборы, а слышишь - пошло так ти....ти....ти..ти.ти. Потом переключается на следующий диапазон и опять ти....ти....ти..ти.ти - опять перерыв - в общем там порядка на четыре в общем мощность успела выскочить, на четыре-пять порядков. Я, значит, спрашиваю у руководителя пуска - почему ты не сбросил сразу все стержни? Но вот оказалось, что он недостаточно изучил проект. А у нас там было сделано так, что поднимать стержни ты можешь только по одному, а опускать можешь хотя бы и все сразу. Это было впервые на этом реакторе сделано. На первом этого не было. Значит, остановили мы это дело, а у меня... буквально пот с меня, я стою, платком вытираю себе башку. Ванников ко мне подходит. А что же, говорит, лошадка могла убежать? Я говорю - могла. Ну, говорит, вы оправдали свою зарплату за всю жизнь. Тогда я так взволновался, что я закрыл работу в этот день. Мы все разошлись. На следующее утро только там собрались. На следующее утро собрались и разбирали, что могло произойти. Потому что мы не знали, какая температура могла уже развиться в урановых блоках. И поэтому надо было очень внимательно обсудить всю ситуацию до следующего захода пуска. А дежурного руководителя я тогда отстранил от дальнейшей работы по пуску. Страшное дело было.

После серии тех реакторов, которые были построены по проекту 2-го реактора, нам было дано задание разработать следующее поколение. И мы разработали проект реакторов следующего поколения, и их тоже стали строить - не только на одном заводе, но и на многих заводах Советского Союза. В вот на этом собственно и создан был главным образом весь военный потенциал. Это просто играло огромную роль. Следующее поколение было по расчетам в семь раз большей мощности, чем первый реактор, и в два с небольшим раза больше чем второй реактор. Потом мы к ним уже прикрепили электростанционные блоки, потому что повысили немножко температуру охлаждающей воды и могли получать достаточные количества пара. Это так называемая Сибирская электростанция, это очень совершенная была аппаратура.

В общем, в результате усовершенствования уже в период эксплуатации, в результате применения более высокотемпературных материалов, более хорошей структуры урановых блоков, более совершенной системы управления и так далее - мы подняли мощность реакторов против проектной, по крайней мере, в четыре раза. Это привело к громадной экономии государственных средств, во-первых. Ну, один реактор стоит, грубо говоря, 500-700 миллионов. И вот очень интересно показать, так сказать, степень доверия. Достаточно было моей подписи на всех этих чертежах, чтобы дальше принимали решение строить завод без всяких дополнительных каких-то экспертиз и так далее. Завод, который стоит 500 миллионов, 700 миллионов.

Вспоминает С. Сандлер:

"Однажды меня вызвал к себе министр Хруничев, вручил кусок трубки из алюминиевого сплава с внутренней нарезкой и поручил мне организовать выпуск таких трубок (оболочек для урановых стержней). Через несколько дней я ознакомился с секретным решением (особая папка), которое обязывало наладить производство оболочек в определенном количестве. Меня освобождали от всякой другой работы. При утверждении технических условий на изготовление оболочек, подготовленных металлургом академиком Амбарцумяном и коррозионистом член-корреспондентом Акимовым, возникли острые разногласия, и меня с Завенягиным вызвал Берия. Он грубо отругал нас и потребовал ежедневно докладывать (за двумя подписями - моей и министра) о выполнении суточного графика. Оболочки изготавливали в отдельном помещении с особым режимом. Никто, конечно, меня от других обязанностей не освободил, до обеда я был в цеху, а потом ехал исполнять "другие обязанности". Оболочкам придавалось тогда такое большое значение, что постоянно

на завод приезжали Ванников, Первухин, Завенягин. Часто звонил Курчатов".

В конце концов, наступил день 19 июня 1948 года, когда первый промышленный реактор был выведен на проектную мощность 100 МВт. Началась наработка плутония.

Вспоминает В.С. Емельянов:

"В тот год (1949-й) мы все были в особенном нервном напряжении. Ведь никто из нас не знал, взорвётся бомба или нет. Испытание должно было подвести своеобразный итог всей деятельности, огромному пути, ибо создавалось то, чего ещё не было. Мы должны были получить плутоний и из него создать бомбу. Мы его получили. Но плутоний ли это? Помню, в то время мы работали до 3-4 часов ночи, и я как-то шёл с одного из таких бдений вместе с А. Завенягиным. Стали мы вспоминать нашу учёбу в горной академии. Но, видно, думал он совсем не о далёких днях учебы, так как неожиданно сказал:

"А вдруг мы получили не плутоний в этом «корольке»? - Вдруг что-то другое?". Радость, связанную с пуском реактора, омрачили серьёзные неприятности, преодоление которых не обошлось без А.П.

Вспоминает Б.В. Брохович:

"Уже тогда, при первом подъёме мощности, из-за неполного закрытия шарового клапана урановые блоки недостаточно охлаждались, что привело к закозлению ячеек (17-20). Сначала попытались "протолкнуть" рабочие блоки вниз (проектная схема), но не вышло. Тогда решили извлечь трубу технологического канала вместе с блоками наверх, с помощью мостового крана. Потянули - Обрыв! Нижняя, заклиненная, часть трубы осталась в ячейке реактора. Попробовали выдавить её домкратом снизу. - Безрезультатно. Пришлось разработать, а затем изготавливать специальные фрезы, с помощью которых и шла потом расчистка ячейки. Когда часть работы была сделана, обнаружилось, что дефектная ячейка светится: горит и сплавляется с ураном графит, образуя карбиды. Есть опасность пожара кладки (как много лет спустя в Чернобыле).

Курчатов осмотрел ячейку. По его команде козла заблокировали каналами с водой, после чего он и Завенягин подняли мощность. (Да, вдвоём! Ответственность не делили. А кого спрашивать? Берию? Сталина? Другого выхода не было. Это делалось впервые! Компетентен ли был Завенягин? По-моему, более, чем персонал Чернобыльской станции в 1986 году). Подняли, и пожара не произошло!

А расчистка ячейки продолжалась. До 30 июня! По мере эксплуатации выяснилось, что в "Аннушке" (так с лёгкой руки Е.П. Славского стали называть объект "А", или "котел") не хватает реактивности. Не помогла и дополнительная загрузка - реактор останавливался.

Оказалось, идёт электрохимическая коррозия технологических труб. К концу 1948 года процесс приобрёл массовый характер, и вода, охлаждающая урановые блоки, стала попадать в графитовую кладку, реактор заглох, остановился. Так как новые трубы на столбы блоков в реакторе одеть не удалось, действовали в соответствии с решением, которое сообща приняли Курчатов и Завенягин: сначала извлекли присосками урановые блоки, затем установили новые, более стойкие анодированные трубы и, предварительно откалибровав извлечённые активные блоки (резерва не было - не было урановой руды), загрузили их повторно. (А подписал решение Завенягин. Игорь Васильевич, научный руководитель, не мог удостоверить, что в стране не хватает урана и нет блоков!..)

Хотя на калибровку пошли блоки с относительно небольшой активностью, "разрез по А.П. Завенягину" обошёлся персоналу почти в 1000 рентген (но не больше ста на человека), а сами работы продолжались 66 суток. (Платили, конечно. По 10 рублей за извлечённый блок.) Сильно облучился и И.В. Курчатов".

Вспоминает А.К. Круглов:

"В установленных в реакторе алюминиевых каналах в первой загрузке не была анодирована поверхность труб. При попадании воды в графитовую кладку из-за контакта графит-вода-алюминий возник интенсивный коррозионный процесс, и уже в конце 1948 г. началась массовая протечка труб, замачивание графитовой кладки. Эксплуатировать реактор с этими трубами стало невозможно.

20 января 1949 г. реактор был остановлен на капитальный ремонт. Возникла сложнейшая проблема, как заменить такие каналы и сохранить все ценные урановые блоки. Можно было разгрузить урановые блоки через сконструированную систему разгрузки. Однако их прохождение вниз по технологическому тракту (канал - бассейн выдержки) привёл бы к механическим повреждениям оболочек блоков, не допускающим повторную загрузку их в реактор. А запасной загрузки урана в то время не было. Нужно было сохранить уже частично облучённые и сильно радиоактивные урановые блоки.

По предложению А.П. Завенягина делалась попытка извлечь разрушенные в реакторе трубы и, оставив в графитовых трактах урановые блоки, поставить новые, анодированные трубы. Это оказалось невозможным, так как при извлечении разрушенных труб, которые имели для центровки урановых блоков внутренние рёбра, центровка столба блоков нарушалась - блоки смещались к стенкам графитовых кирпичей. Работниками службы главного механика реактора были разработаны приспособления, позволяющие специальными "присосками" из разрушенных технологических труб извлекать урановые блоки через верх в центральный зал реактора. Без переоблучения участников этой операции обойтись было нельзя. Надо было делать выбор: либо остановить реактор на длительный период, который Ю.Б. Харитон оценивал в один год, либо спасти урановую загрузку и сократить потери в наработке плутония.

Руководством ПГУ и научным руководителем было принято второе решение. Урановые блоки извлекали "присосками" через верх реактора с привлечением к этой "грязной" операции всего мужского персонала объекта".

Кроме аварии, о которой рассказали Б.В. Брохович и А.К. Круглов, была ещё одна: второй козёл образовался 25 июля в ячейке 20-18.

Вспоминает П.И. Трякин:

"Доложили в Москву. Оттуда команда: "Реактор не останавливать, к вам вылетает Завенягин". "По прибытии А.П. Завенягин взял на себя общее руководство ликвидацией аварии. Короткое совещание, детальный план, непрерывный график, контроль. Создаётся бригада из опытных слесарей - тех, кто участвовал в расчистке первого козла. Руководил ими главный механик объекта. Итак, ячейка открыта, излучение активное. Но решение принято, и высверливание канала началось. Из-за частой смены инструмента загрязнённость в ЦЗ (Центральный зал) повысилась, а Завенягин как прирос к стулу - сидит прямо в центре реактора, в генеральской шинели и хромовых сапогах. Он не командовал слесарями, не шумел на руководителей - просто наблюдал, чтобы не было простоев, чтобы выполнялся график. Но ведь можно было наблюдать за работой и на отдалённом расстоянии, не подвергая себя облучению! Похоже, Авраамий Павлович пренебрегал воздействием радиации, контрольную кассету с собой не брал и о своём здоровье в этот момент не заботился. Находясь рядом с работающими, он тем самым подчёркивал важность и срочность всей операции. Рабочие это видели и понимали: раз генерал рядом, значит...!

Но после вечернего разговора с И.В. Курчатовым, согласно докладу дозиметристов, генералы Музруков и Завенягин пришли на следующий день в Центральный зал как положено: поверх шинелей накинуты халаты, на сапогах - калоши.

А.П. отбыл в Москву только после того, как авария была ликвидирована полно-

стью.

Вспоминает В.И. Шевченко:

"Несмотря на принятые меры предосторожности и применение имевшихся в то время далеко несовершенных средств защиты, избежать переоблучения персонала не всегда удавалось. Специалистам дозиметрической службы приходилось вести постоянную борьбу с нарушителями, пренебрегающими правилами радиационной техники безопасности, и в первую очередь с высокопоставленными руководителями.

В Центральном зале реактора (его не останавливали) бригадой слесарей велись работы по расчистке "закозлившегося" канала. Зашёл в лабораторию дежурный инженер-дозиметрист и сказал, мол, что-то надо предпринимать: руководство завода, и в частности Б.Г. Музруков, А.П. Завенягин и другие, ежедневно находятся в Центральном зале в личной одежде и обуви.

Выслушав его и войдя в Центральный зал, я увидел следующую картину: А.П. Завенягин, в генеральской форме, в своей обуви, сидел на стуле в центре "пятка" реактора и наблюдал, как ведутся работы по расчистке ячейки, при этом, доставая из кармана шинели мандарины, чистил их и здесь же ел. На моё напоминание, что находиться в личной одежде, а тем более кушать здесь нельзя, он ответил: "Ничего со мной не случится" - и продолжал своё занятие. Рядом стоял Б.Г. Музруков, тоже в личной одежде и обуви, но молчал. Я вынужден был об этом рассказать И.В. Курчатову".

Вспоминает Б.Г. Дубовский:

Впервые я встретился с Завенягиным в 1949 году: И.В. Курчатов представил меня как научного руководителя объекта "А" (первый промышленный ядерный реактор для производства плутония). Когда в результате гальванокоррозии случилась авария, для расследования её причин была направлена комиссия во главе с А.П. Завенягиным. Он запомнился мне своей рассудительностью, спокойствием. А ведь обстановка в коллективе - почти трагическая: ядерный реактор не работал! Подробно изучались все вахтовые журналы, специалистов и рабочих вызывали для уточнения обстоятельств развития аварии.

Меня удивило, что Завенягин вникал в технологию и суть дела очень профессионально. К сожалению, все, кто участвовал в ликвидации аварии (пришлось извлекать активные урановые блоки), получили определённую дозу облучения. В том числе и А.П. Завенягин.

Я был разработчиком дозиметрических приборов, всей системы дозиметрии и часто подходил к И.В. Курчатову, А.П. Завенягину с просьбой отойти подальше от активной зоны. Но мне отвечали: "Видишь, как люди работают в самом пекле. Нечего на нас навешивать дозиметры, нечего заниматься ерундой!" Однажды в те дни случилось, что моя машина забарахлила, и Курчатов попросил А.П. Завенягина подбросить меня до дому на своём автомобиле. По дороге я завёл разговор об аварии, но Завенягин никак не реагировал. На следующий день шофёр А.П. говорит мне: "Что же ты делаешь? - он никогда в машине не разговаривает, для него это время для раздумий. А ты ему мешал!".

Вспоминает М.П. Грабовский:

"[Когда дозиметрист рассказал И.В. Курчатову о поведении начальства ("Что за пример подают рабочим!"), тот] нашёл выход. Он предоставил дозиметристу свою служебную машину и приказал сделать сейчас же профилактический замер фона в квартире Музрукова. Уровень радиоактивности превышал норму в десятки раз. Шевченко показывал супруге директора комбината на зашкаливающий прибор в прихожей и туалете и приговаривал: - Всё потому, что не переодевается Борис Глебович. В личной обуви заходит прямо на "пятачок". Разгневанная женщина попросила подвезти её сию же минуту поближе к тому атомному устройству, где на-

ходилась в этот момент её супруг. Курчатов приказал на пост пропустить её в здание и проводить прямо в Центральный зал. [Нетрудно предположить, что услышали муж и Завенягин]!.

Когда Авраамий Павлович уезжал в Москву, Курчатов очень просил его нажать на металловедов в НИИ-9, чтоб срочно доработали технологию покрытия оболочки. "И ещё меня очень беспокоит одна проблема, - признался Игорь Васильевич. - Трубы начинают подтекать. До выгрузки, возможно, и простоят. Но нужно уже заранее готовить резервные, анодированные. Завенягин обещал разобраться и помочь. Разобрался и помог.

Вспоминает Б.Г. Дубовский:

"В 1950 году мне удалось, под руководством Курчатова, разработать оптимальную конструкцию технологического канала для реактора. По моему мнению, она могла предотвратить образование козлов. Многие из руководства были против эксперимента, а Завенягин всё-таки разрешил замену труб, но осмотрительно, без лишней спешки. В телеграмме директору ПО "Маяк" - Б.Г. Музрукову он распорядился: "устанавливать только по одной технологической пятиребристой трубе Дубовского в месяц". Моё предложение дало хороший результат, но это стало очевидным позднее, а тогда А.П., конечно, рисковал. Не случайно в Москву пошла "телега", что допускается "самоуправство". И это не единственный пример, когда Завенягин активно поддержал экспериментальные работы на реакторе, которые проводились по инициативе И.В. Курчатова".

### Плутоний

Идентификации плутония осуществлена в Беркли в феврале 1941 г. Гленом Сиборгом и его сотрудниками. Реакторы-производители плутония были построены в Хэнфорде (штат Вашингтон), где также был запущен химический завод для выделения плутония из облученного урана.

Вспоминает Александров А.П.:

От американцев было известно, что они делали на плутонии бомбу. Но какие сечения, что и как - это было ничего не известно. Но велись детальные наблюдения над изменением реактивности в первом реакторе и вот в этом экспериментальном реакторе, который у нас в Институте атомной энергии. Велись измерения изменения реактивности во времени по мере накопления там плутония вместо выгоревшего урана 235. Это трудно, но это можно. Причем это эффект довольно существенный. И вот этим образом можно было сопоставить критические массы урана 235-го и плутония 239-го. И все остальное довольно хорошо там сокращалось, и оставалось такое чистое отношение критических масс. Вот это было собственно решающим обстоятельством. И то, что был все время рост реактивности, это было конечно очень такое важное и тонкое наблюдение.

Плутоний американцами был открыт, у нас то его не было. У нас его получили ничтожное количество ускорительной техникой, но это были сотни атомов, или там тысячи атомов, на этом сделать ничего нельзя было. После первого реактора, который разрабатывали Игорь Васильевич с Доллежалем, мы разработали второй проект в 3-4 раза большей мощности, после этого было решено их построить серию. И у нас каждый год входило, по крайней мере, по одному реактору в дело. Примерно 100 тыс. киловатт тепловой мощности приводит к получению около 40 килограмм плутония в год.

Те, которыми я занимался, они давали 100-120 килограмм. А вот эти скажем 120 кг - это было два десятка бомб, таких как были в Хиросиме. Вот такого порядка. Так что отсюда можно себе составить представление, какой сразу масштаб производства в нашей стране был. И именно смысл то был в том, что у нас го-

раздо быстрее развернули производство серьезного масштаба, чем успели развернуть американцы.

Химически плутоний и уран отличаются сильно, но худо было то, что все процедуры разделения нужно было делать дистанционным образом. Аппараты, которые могли за этим следить еще и разработаны не были по настоящему, так что все было очень сложно. И нужно было получить плутоний очень чистый с очень малым количеством остаточной радиоактивности осколочной. Это было важно, чтобы не было чересчур большого нейтронного фона у этого плутония. Но он, в общем, настолько был хорош, что я, например, совершенно спокойно мог держать половинку в руке.

Завод химической переработки приводил к тому, что получался плутоний в виде соли, и эта соль передавалась на другой завод, который уже должен был сделать половинки изделия (бомбы).

На этом заводе происходило восстановление соли плутония до металла, раз. Во-вторых, из металлических кусочков путем прессования при повышенной температуре получалась нужная форма, причем она должна была получаться с высочайшей точностью. Проверка велась по числу интерференционных полос.

Бочвар занимался восстановлением до металла и изготовлением изделия, то есть из маленьких слитков, которые у него получались, он прессовал затем вот эти полушария. Он разрабатывал такой способ прессовки, который должен был дать уже окончательную форму и чистоту и так сказать полное отсутствие всякого рода раковин и так далее. Немножко доводка делалась и механической обработкой. Причем это было все очень не просто, потому что обрабатывать его плутоний тяжело, во-первых, он чрезвычайно альфа-активен. Во-вторых, он имеет склонность загораться на воздухе. Он очень сильно окисляется. Поэтому обрабатывать его нужно обязательно было, так сказать, в специально приспособленном станке, специальным инструментом. В общем, это было очень сложное дело. Это все на макетах всяких было отработано. Так же и покрытие мы делали тоже на макетах. Это совсем не простая вещь. Потому что это же такая сферическая штука, да еще со сферической выточкой внутри. Вот эти острые грани - их покрыть, это оказывается очень дело хитрое. Приходилось специально этим заниматься.

Очень смешно было то, что несмотря на то, что на это затрачивались огромные средства, но вот эта лаборатория, вернее это не лаборатория а в общем большой кусок производства, был в старом щитовом доме. Даже не умудрились построить новое помещение. Вокруг этого самого щитового дома было, значит, невероятное количество всякой охраны, и надо сказать что в этом смысле контроль был очень сильный, чтобы ничего оттуда не сперли. Но однажды, например, произошел такой случай, что через потолок провалился пожарный, который дежурил на чердаке. Провалился прямо в лабораторию. Насколько это было ветхое здание.

Вот там мы с этим делом работали. Я помню такую штуку, что как-то поздно вечером, часов вероятно в 11 или 12 я там сидел, и вдруг приезжает громадное количество генералов. Среди них Завенягин, Махнев, еще целый ряд мне неизвестных генералов. Про некоторых я знал, что они как раз режимные генералы. Музруков был, директор комбината этого. И вдруг они меня начинают спрашивать, почему я думаю что то, чем я занимаюсь, что это плутоний. Я значит говорю, а как же, это же вся технология построена для получения плутония. Облучается уран, в нем получается при этом плутоний, потом ведется химическое разделение. Потом значит, это поступает сюда к нам вот, восстанавливается так-то и так-то. А почему вы думаете, что это плутоний все-таки? Я говорю - вся технология это показывает. А вдруг вам там заменили по дороге, и это что-нибудь другое? Я говорю - ну, как же, удельный вес, там, то се другое третье - все свойства, плутоний. Они говорят - а вдруг все-таки это не плутоний, вдруг вам какую-нибудь подсунули совсем другую вещь? Мне как-то надоело это. Я долго с ними толковал - минут 20 или 30, пытался убедить, что это плутоний. А у меня

значит, там в сейфе лежит половинка одна. Тогда я вынул эту самую половинку, покрытую уже - вот, говорю, возьмите, она горячая. Какой другой может быть материал горячий? Значит, они пощупали - да, горячая. А почему она горячая? Я говорю - вот там идет радиационный альфа-распад, она от этого горячая. А может ее нагрели? Ну, вот сидите говорю здесь сколько хотите, положим ее сейчас в сейф, пусть она полежит, опять возьмете. Она же охладиться должна. Ну, в конце концов, значит, они поняли, что, похоже, это то, что нужно. Но это показывает, насколько все-таки там была настороженность и недоверие к тому, что действительно им не вкручивают, и что мы не куда-то в трубу расходовали миллионы, ясное дело, что у них были некоторые сомнения. Но это, в общем, как-то очень занятно выглядело. Что, почему, вдруг так на последней стадии возник такой вопрос.

Постепенно объёмы продукции завода росли. И настал час, когда она отправилась промышленному "потребителю": 27 марта 1948 года Спецкомитет обязал ПГУ при СМ СССР (М.Г. Первухина, А.П. Завенягина) перевезти до 15 апреля 1948 года с завода №12 на Базу-10 (Комбинат №817) весь предназначенный ей наличный груз. Перевозка - литерными поездами в составе двух эшелонов разными маршрутами. "Эшелоны направить с тройной переадресовкой в пути следования". В дальнейшем предписывалось перевозить груз для Базы-10 отдельными вагонами, по мере его накопления. Как следует из утверждённых мероприятий по перевозке груза, подача вагонов под погрузку и сама перевозка - только по письменному указанию заместителя начальника ПГУ А.П. Завенягина. Со временем выпуск металлического урана дополняется производством диффузионных фильтров, затем - тепловыделяющих элементов; завод осваивает ряд других видов продукции для атомной промышленности - в её военном и гражданском варианте.

#### Радиохимический завод

Прошло 50 лет с того далекого времени, когда был пущен завод 235. В те дни он назывался объектом "Б". Строительство объекта началось 1 декабря 1946, а уже два года спустя, в декабре 1948 года, в цеха поступила продукция с атомного реактора.

Объект "Б" готовился к пуску по технологии, которую создавали в Ленинградском радиевом институте под руководством академика В.Г. Хлопина и изучали на установке полупромышленного масштаба в Московском институте, где директором был В.Б. Шевченко.

В октябре 1948 г. монтаж оборудования был в полном разгаре. Вскоре начали изучать компоновку оборудования, проверять правильность сборки схемы и обучать тех, кто будет работать. Люди были собраны с разных заводов страны, демобилизованные воины, учащиеся техникумов и средних школ.

В период строительства объекта и в начале его пуска начальником был П.И. Точеный. Энергичный руководитель, очень старательный. Главным инженером был Б.В. Громов, исключительно образованный и умелый руководитель. На пуск объекта приехали ученики В.Г. Хлопина - академики А.П. Виноградов, А.А. Бочвар. А.А. Спицин. Немало было и административных руководителей, среди которых особенно заметным был Е.П. Славский.

22 декабря 1948г. дежурный сменный инженер А.И. Неретина, тогда еще совсем юная, но смелая и решительная, приняла первую порцию реальных блоков в растворитель и начала процесс по нормам инструкции.

Наблюдателей, консультантов, больших руководителей было много, работать было сложно, но она справилась. В Москве мы уже проверяли на опытной установке весь процесс, и теперь было сравнительно нетрудно.

Значительно труднее осваивался конечный процесс, где использовалась фторид-

ная технология с применением плавиковой кислоты, от которой материал аппаратов и труб подвергался коррозии и в перерабатываемом растворе накапливались продукты коррозии. Очистка была хуже расчетной, процесс был неустойчив. Руководителем отделения был Н.С. Чугреев, техническим руководителем – М.В. Гладышев. Дело в том, что тогда экстракционная технология показала неплохие результаты, но мы еще не знали других экстрагентов, кроме этилового эфира, а он легко воспламеняется, и, кроме того, процесс экстракции контролировать не умели. Реактор делали из стекла, обвязка стеклянными трубами была ненадежна, поэтому сразу не решались такую технологию вводить в эксплуатацию. Начали производство на фторидном процессе, и, несмотря на сложность его, нам все же удалось в конце февраля 1949 г. наскрести столовой серебряной ложкой пастообразной массы серо-зеленого цвета в эбонитовую коробку, и эта первая порция явилась первой выдачей концентрата плутония потребителю. Так началась эксплуатация нового производства.

История строительства завода изобиловала героическими, трагическими и курьезными эпизодами.

Порой все это перемешивалось, и получались трагикомические ситуации, ставившие в тупик десятилетия спустя следующие поколения эксплуатационников. Так, на многие аппараты не было технической документации – она из-за соображений секретности просто-напросто уничтожалась в первые же дни запуска оборудования. И следующие поколения знакомились с предметом своей заботы со слов ветеранов. Впрочем, не это было самым неприятным. В ходе эксплуатации выяснилось, что завод, спроектированный по принципам общей химической технологии, не отвечает требованиям радиационной безопасности, имеет ряд конструктивных недоработок. Саму технологию удалось довести до устойчивых результатов, но условия труда оставались тяжелыми, появилось профессиональное заболевание, назрела острая необходимость менять условия труда. С этой целью по ходатайству руководителей Б.В. Громова и Б.Г. Музрукова Совет Министров СССР принял решение строить новый завод – дублер "Б". Было начато на этой же промышленной площадке строительство нового завода, спроектированного с учетом прежних ошибок.



Радиохимический завод №235 (Челябинск-40) .

Технология была принята от первого завода в ее улучшенном варианте, а компоновка оборудования и размещение зон задумана новая, такая, которая облегча-

ла обслуживание и снижала вредные воздействия.

В период освоения дублера с самого начала вводились в технологию и конструкцию оборудования новейшие, оригинальные идеи, которые внедрялись при остановках на профилактику, на капитальный ремонт и на ходу. В результате уже в первые годы освоения дублера были достигнуты такие показатели, что решили вторую очередь не строить. Началась борьба за качество.

Ввели новую сорбционную технологию на конечном переделе и уже в первые пять лет эксплуатации дублера выбрали из ацетатной технологии все ее возможности. Чтобы двигаться дальше, нужно было обновить все производство. Неугомонная натура специалистов и рабочих-инициаторов требовала новых решений.

Была создана специальная, инициативная группа, которая поставила себе цель внедрить последние достижения науки и техники и создать экстракционную технологию. Решение было непростым не только из-за новизны, но и потому, что действующее производство вполне обеспечивало план и качество, и в этих условиях надо было перешагивать через мнение руководства: "А зачем это надо?" Перестройки производства мы добились, реконструкцию сделали. Но какая основная движущая сила была при этом? Зачем все делалось, когда и так все было нормально? Вот на этот вопрос и хочется дать ответ.

Когда зарождалась технология в стенах Московского института, работу начинали те, кто еще не снял полевых погонов, вернувшись с фронта. Немало было и тех, кто трудился в условиях военного времени, а темпы труда были самые высокие. Фронтовики с жадностью набросились на работу, а трудяги с производства задали свой темп. Никто никого не понукал, а работали так, как могли, не считаясь со временем. Одному бывшему фронтовику поручили срочно проверить растворение металла, так он трое суток не выходил из института без сна и отдыха, только когда сел писать результаты проверки, уснул за столом. Никто его не принуждал, никаких похвал он не ждал, никаких отгулов не предлагалось. Просто действовал закон - "надо".

Все эти "начинатели" не имели научной литературы, где бы описывались элементы технологии. Единственная книга под названием "голубая" хранилась в сейфе. Можно было заглянуть на одну-две страницы, где скупо описывалось то, что тебя касалось, но так мало, что познавать приходилось путем проб и ошибок. Самым большим авторитетом для нас была З.В. Ершова, которая когда-то училась у М. Кюри и перевела вместе с В.Д. Никольским книгу М. Кюри "Радиоактивность". Это была единственная наша настольная книга, если не считать учебников по аналитике, общей химии.

В первые годы освоения производства люди не знали покоя, у них не было выходных, рабочих часов дня, не было других забот, более важных, чем производство. Они болели за дело с каким-то повышенным переживанием. Они с самых первых дней совместной жизни в коллективе стремились делать все, что полезно общему делу. Вот этот стиль бескорыстного труда сохранился в 60-е годы и продолжился, уже, правда, в меньшей степени, в 70-е годы. Труд был потребностью. Мы не можем согласиться с утверждением, что те годы были годами застоя везде и всюду. Нет, у нашего коллектива, наших заводов застоя не было. Наоборот, тогда развитие нашего производства продолжалось, и оно сохранило уровень последних достижений науки и техники. Важно, чтобы стиль постоянного обновления сохранялся и дальше. Уже сейчас жизнь требует очередного скачка в развитии нашего производства. Необходимо безотлагательно решать проблему отходов, а также создавать безотходную технологию. Необходимо создавать инициативную группу новаторов, которые могли бы решать эту архитрудную, но реально выполнимую задачу. Надо начинать с подсчета и отказа от ненужного, трезвой оценки необходимости действующих производств. Сейчас пора остановиться, оглядеться, хорошо подумать и начать делать то, что действительно надо.

Много лет прошло с тех пор, когда начинали создавать новое производство.

Много лучших людей посвятили себя этому делу, не мало среди них тех, кто сделал все, что мог, потерял здоровье, а затем и жизнь.

Верховным руководителем отечественной промышленной радиохимии был соратник И.В. Курчатова В.Г. Хлопин, академик, директор радиевого института, создатель технологии обогащения руд и технологии промышленной радиохимии. В 1948 г., уже тяжело больной, он принимал нас и слушал доклад о первых итогах проверки технологии, лежа в коляске, давал советы, делал замечания. Он был на пределе своих сил, но все еще работал.

Его ученики Б.А. Никитин и А.П. Ратнер довели дело до конца. Б.А. Никитин был руководителем темы при проверке и внедрении технологии, создал новый ее вариант и впервые внедрил экстракцию. Молодой, обаятельный ученый, член-корреспондент Академии наук СССР, он отличался необыкновенной аккуратностью и умением коротко и ясно излагать свои суждения. К сожалению, он рано умер. А.П. Ратнер - научный руководитель объекта "Б" - осваивал технологию и учил персонал, как надо ею управлять. Не щадя сил и времени, сутками находился на рабочих местах, порой опасных, искал пути отладки процесса, подорвал свое здоровье и уже через 2 года после возвращения в институт преждевременно скончался.

Талантливый главный технолог проекта - доктор технических наук Я.И. Зильберман - в период освоения постоянно находился на производстве, которое еще не было обеспечено безопасными условиями труда, также заболел раком желудка и, когда он прощался с жизнью, то передал свой завет: "Мудрость - в простоте".

Они отдали свои жизни, выполняя долг перед Родиной. Нет среди нас и тех видных и заметных людей, которые с самого начала не только трудились, но и постоянно улучшали производство, обеспечивали его надежную бесперебойную работу, постоянно совершенствуя технологию.

Б.В. Громов - первый главный инженер, затем начальник объекта - имел необыкновенную память, знал почти всех заводчан по имени, обладал огромной эрудицией, отлично знал классиков марксизма-ленинизма, почитал классическую музыку, не терпел бюрократов и всегда был победителем в любых дискуссиях. Именно он, вместе с А.П. Ратнером и Н.Г. Чемариным, создали третий вариант аффинажного передела и добились устойчивой работы производства. В те годы он ещё был кандидатом технических наук, затем стал доктором, профессором.

Н.С. Чугреев с самого начала подбора технологии, проектирования, начала строительства объекта, его освоения был в гуще событий и даже возглавлял одно отделение в самое трудное время. Многие знают его и как автора технических решений и направлений. Это он возглавил инициативный коллектив для создания завода РТ. Это он проявил особую заботу о реконструкции завода 35. До конца своей жизни он занимался решением проблемы нашей отрасли, а его последние разработки по захоронению отходов сохранили свою ценность до последних лет.

Сохранилась память об истинных героях труда, тех, кто ценой своего здоровья, а затем и жизни создавал наше производство. Это Семен Борисович Ифасман, главный приборист объекта, это Михаил Ефимович Сопельняк - главный механик объекта, слесарь Алеша Кузьмин, механик Саша Ведюшкин, слесарь Геннадий Лутовинин, старший инженер, начальник исследовательской группы Николай Григорьевич Чемарин, Анатолий Федорович Пашенко, Владимир Петрович Балановский, Владимир Дмитриевич Мельников, Ольга Степановна Рыбакова, Валентина Ивановна Парамонова, Герман Дмитриевич Торопов, Борис Петрович Никольский, Виктор Борисович Шевченко, Марс Юнусович Думанов, Сергей Егорович Степанов, Григорий Иванович Чечерин, Геннадий Васильевич Митрофанов, Александра Ивановна Неретина, Алексей Павлович Потехин, Анна Васильевна Кузьмичева, Яков Иосифович Колотинский, Василий Иванович Акимов, Владимир Павлович Павлов. Список может продолжаться...

В Гамбурге воздвигнут памятник погибшим от лучевого рака. На лицевой стороне центральной стены памятника высечена надпись "Памятник посвящается рентгенологам и радиологам всех наций, врачам, физикам, химикам, техникам, лаборантам и сестрам, пожертвовавшим своей жизнью в борьбе против болезней их близких. Они героически прокладывали путь для эффективного и безопасного применения рентгеновских лучей и радия в медицине. Слава их бессмертна".

При создании монумента в нем в алфавитном порядке были высечены имена 169 человек, умерших к тому времени от мучительных радиационных поражений. Позже мемориал был дополнен еще двумястами именами. В 1959 году вышло второе издание "Книги почета", в которую внесено 360 фамилий, в том числе 134 наших соотечественника. Создатели ядерной энергетики, ставшие жертвами ее освоения, заслуживают такого же преклонения, но их честь и слава остались пока только в памяти тех, кто еще не успел умереть. Кто они, эти люди, каков их образ, что они создавали и какой ценой – об этом должны знать живущие ныне и творящие новые открытия, полезные для людей. О некоторых из них написаны книги-воспоминания, но хочется еще раз оглянуться и вспомнить их лица, их добрые дела.

Новое предприятие должно было вступить в строй в 1958 году, но чуть раньше, в сентябре 1957 года, грянула нежданная беда: взорвалась одна из емкостей, в которой хранились высокоактивные отходы радиохимического производства. Сегодня этому событию посвящено столько научных исследований и журнально-газетных статей, что можно подготовить целое собрание сочинений. Для завода и комбината, для тех, кто на нем работал и его охранял, эта авария стала испытанием на прочность. А испытание было серьезным: взрыв полностью разрушил емкость из нержавеющей стали, в которой хранилось около восьмидесяти тонн жидких радиоактивных отходов, и отбросил на двадцать пять метров плиту перекрытия каньона. 18 миллионов кюри радиоактивности остались на промплощадке, а 2 миллиона кюри поднялись в воздух на высоту до одного километра. Радиоактивное облако накрыло многие объекты комбината, в том числе и новый радиохимический завод. Загрязнение объекта стронцием-90, цезием-137 было значительным, но комиссия во главе с министром среднего машиностроения СССР Е.П. Славским приняла решение отмывать все: стены, перекрытия крыши, дороги. В ликвидации последствий аварии участвовали сами химкомбинатовцы и военные строители. Эта авария стала просто производственным ЧП – она разделила историю на "до" и "после". До – это те ошибки первопроходцев атомной промышленности страны, за которые они заплатили жизнями и оставили их исправление следующим поколениям. После – это десятилетия только выполнения производственных планов, но и работа во имя будущего – остекловывание отходов, засыпка Карачая и многое другое.

### Завод "В"

Завод "В" (завод 20) – завод по получению металлического плутония и изделий из него.

В конце июля 1949 года нам, выпускникам Сталинградского машиностроительного техникума, была вручена путевка-направление в распоряжение Совета Министров. Уехали мы из Сталинграда вчетвером: Н. Барков, Ф. Ничипоров, В. Селин, А. Чариков. И вот мы в Москве. Явились по указанному адресу. Нам объяснили, что мы будем работать на Базе-10, а сейчас надо пройти практику. Нас направили в Электросталь, на завод 12. После непродолжительной стажировки (практики), мы снова были вызваны в Москву, на Солянку. Там получили направления на Базу-10 в распоряжение Т. Сурмача. Нам объяснили, что от Челябинска мы должны доехать до Кыштыма, там нас встретят. На этом поезде таких, как мы, оказалось доволь-

но много. Нас встретили, отправили на "Дальнюю Дачу". После оформления документов поздно вечером погрузили в коломбины и привезли к проволоке (зоне). Снова проверка документов, и вот мы внутри зоны.

Нескольких из нас отправили в пос. Татыш, а остальных - в город. Первым жильем для нас стал дом № 2 по ул. Трудящихся. В отделе кадров дали направление на объект "В", где начальником был Л.А. Алексеев, в здание № 4. Начальником этого здания был В.С. Зуев, его заместителем - Н.И. Иванов, он и принял нас с А. Чариковым. Вскоре цех стал перебираться на вторую площадку, в новое здание № 11. Начальником участка, занимающегося механической и слесарной обработкой деталей из первого продукта (плутония) и второго продукта (урана) был Алексей Иванович Мартынов, научным руководителем - сотрудник НИИ-9 Михаил Степанович Пойдо. В цехе трудились высококвалифицированные токари Александр Иванович Антонов, Борис Петрович Захаров, слесари-лекальщики-инструментальщики Юрий Степанович Пониматкин, Геннадий Васильевич Симаков.

Наше отделение, наши токари и слесари работали не только с продуктом, но и делали оснастку и специнструмент. Детали ("изделия") обрабатывались в среде аргона, которым заполнялась камера из оргстекла, закрепленная на станке. После каждого прохода деталь снимали и обмеряли. Измерение производили Б.А. Голубков и я. Как только изделие было отпрессовано, оно подвергалось систематическому, тщательному контролю-измерению. Все параметры заносились в журнал. Затем деталь подвергалась механическим испытаниям на прочность, и снова следовал полный обмер. "Наука" была рядом, смотрела, как мы измеряем. За нами наблюдали Курчатов, Бочвар, Займовский, Кузнецов, Музруков, Мишенков.

Всем было важно знать, как ведет себя "изделие". При механической обработке после каждого прохода "изделие" снимали со станка и замеряли. Начальник давал задание токарям, сколько еще надо снять стружки. И так до тех пор, пока не получали нужные размеры. Потом "изделие" шло в лаборатории, где работали с ним, определяли необходимые параметры. После окончательной обработки "изделия" и его проверки начальство докладывало директору Б.Г. Музрукову: "Все сделано, «изделие» готово". Он тут же приезжал. При нем проверяли основные параметры, каждый участок в письменном виде представлял отчет-документацию о проделанной работе со своим заключением. Б.Г. Музруков сообщал о готовности "изделия" главному приемщику - академику Ю.Б. Харитону. Все документы об "изделии" брошюровались, получался формуляр. И вот, наконец, собирается Правительственная комиссия (кого только здесь не было!) - Ванников, Завенягин, Славский, Музруков, Мишенков, Курчатов, Харитон, Бочвар, Александров, Духов, Флеров, руководители объектов, цехов и др.

Вынимали "изделия" из контейнеров, укладывали их на подставки, показывали комиссии. Последующие проверки "изделий" проводились комбинатовской комиссией на объектах 7-го отдела. Возглавлял ее главный инженер Мишенков. Если обнаруживались какие-то изменения в "изделии", его возвращали в цех. Там снова дорабатывали. Однажды обнаружили при проверке, что геометрические размеры деталей "растут". Причины этого необходимо было выяснить. Занималась этим Валерия Дмитриевна Бородич. Работа велась на образцах-свидетелях, сделанных из того же продукта. Установили: размеры "растут", могут увеличиваться даже до восьми процентов. "Наука" предложила решение, и была достигнута стабильность "роста" "изделий".

Надо отметить, что работа с "изделием" проводилась без средств защиты, на простых лабораторных столах. Работников службы "Д" в помещение, где работали с "изделием", не допускали из-за строжайшего режима секретности. Между тем объем работы и выпуска увеличивался. Назрела необходимость качественного контроля "изделий" на всех стадиях изготовления.

По указанию Б.Л. Ванникова в 1953 году в цехе 11 был создан ОТК. Состоял он из четырех групп: измерители (руководитель Н.Я. Барков), технологи (руководи-

тель Г.А. Ключихин), оформители технической документации на выпускаемые изделия (руководители С.Ф. Оносовский, Н.И. Семенов), КПП – группа проверки инструментов и спецоснастки (руководитель И.Н. Симаков). Начальником ОТК объекта был назначен Г.И. Немцев, до этого работавший в приемке, его заместителем был В.М. Селенин. Так образовалась единая служба контроля объекта.

По существу, ОТК заменил контроль всей "науки", проверявшей и следившей за изготовлением "изделий" на всех этапах. Обязанности работников ОТК большие и ответственные. Недаром Н.А. Семенов, когда был директором "Маяка", об ОТК завода сказал: "ОТК завода – это мои глаза и руки, проверяющие и следящие за качеством "изделий". И если заводчане их за что-то ругают, жалуются на них, значит, они правильно выполняют свои обязанности. И я спокоен за качество. Контроль находится в надежных руках".

Работали мы, как и все, не считаясь со временем, столько, сколько было нужно. Иногда и более суток. Никто не роптал и не жаловался. Ответственность у всех работников нашего участка (отделения) была большой, а особенно у нас, измерителей. Ведь мы знали основные параметры изделия, его массу. И внимание "органов" к нам было постоянным, это мы чувствовали. А однажды Б.Г. Музруков собрал работников отделения измерения в кабинете начальника цеха В.С. Зуева и стал проводить с нами беседу по технике безопасности. Он объяснял, что мы должны предельно осторожно работать с "изделиями", как можно меньше времени затрачивать на обработку и измерение их. Он говорил: "Вы сейчас ничего не ощущаете, но придет время, и вся эта работа скажется на вас". Он привел пример: "Вот висит лампочка. Если вы вынете ее из патрона и сунете туда палец, вас хорошенько "тряхнет", и вы в следующий раз уже не полезете туда, примете все меры предосторожности. А ваши "изделия" вас не "трясут", но чем больше вы работаете с ними, тем больше скажется это на вас в дальнейшем, на вашем здоровье. Берегите себя, остерегайтесь своих "изделий". Эта беседа произвела на всех нас большое впечатление.

Изготовление плутониевых полусфер для первой атомной бомбы РДС-1. Они подготовили предложения, касавшиеся некоторых данных измерений, механической обработки отдельных деталей заряда и его технологических характеристик. Созданное в НИИ-9 оборудование не позволяло обеспечить однородный нагрев прессуемой массы металла (сначала имитатора из алюминия). Приближался август, и руководителей работ А.А. Бочвара и А.С. Займовского охватила тревога. Можно представить, что чувствовали те, кто отвечал перед Спецкомитетом, – Б.Л. Ванников, А.П. Завенягин, И.В. Курчатов, Б.Г. Музруков и Е.П. Славский. За короткий срок оборудование переделали и стали получать качественные изделия. Пока из имитатора. Наконец поступили плутониевые "цилиндрики". Но в обрез – только на 10 % больше массы двух конечных тонкостенных полусфер, которые потом должны были пройти механическую обработку. 27 июля – очередное совещание на Комбинате N 817. Среди узкого круга присутствующих – Завенягин. Рассмотрены предложения КБ-11 о выборе окончательных размеров изделия и порядке работ по доводке его размеров. Во время прессования царила гнетущая атмосфера: не ошиблись ли физики, все ли факторы, влияющие на увеличение критической массы, учтены? Не произойдет ли ядерный взрыв?.. Бог миловал. Изделие получилось качественным.

Н.И. Иванов:

"Как только начались работы с плутонием, в цех зачастили Курчатов, Ванников, Харитон и Завенягин. Завенягин А.П. приезжал, как правило, один, без свиты. Набрасывал халат и проходил в цех. Провожатых ему не надо было: он хорошо знал, где и что делается. Сразу шёл туда, куда наметил. В основном Завенягина интересовали дела у прессовщиков и в отделении механической обработки

резанием. Он расспрашивал научных руководителей этих отделений - Самойлова, Пойдо, а потом общался с Бочваром, Займовским. Его внимание было предельно сосредоточено на процессе изготовления "детали". Чтобы всё выверить - от начала до конца.

После визита А.П. (обычно час-полтора) мы обменивались впечатлениями. Особенно опекали Самойлова, потому что от прессовщиков зависел успех других операций. "Меня, - говорил он, - Авраамий Павлович всё время предупреждает, чтобы я всё делал без сучка и задоринки, чтобы всё прошло как следует. Но нервотрёпки, запугивания не было. Наоборот, наши руководители, начиная от Курчатова, Бочвара, Харитона, делали максимум для полной психологической устойчивости людей. Они разговаривали со всеми нами, независимо от должности, очень уважительно, как с равными, расспрашивали так, словно хотят поучиться у собеседника, а не навязать своё мнение. И мы понимали - доверяют, ждут наилучшего исполнения, верят, что так и будет.

Чувствовалось, А.П. Завенягин разделяет эти отношения. Он же понимал, как и все остальные, что человек тогда работает хорошо, когда спокоен, думая о деле, а не о наказании. Согласитесь, если человек всё время чего-то боится, какой из него работник. А у нас была творческая атмосфера, каждый был нацелен на максимальный результат. Быстро и в лучшем виде.

Перед самым изготовлением первой "детали" Завенягин приезжал почти ежедневно. А уж когда она пошла, когда штамповали вторую, - буквально не отходил, контролировал каждый шаг. Мы боялись каких-то провокаций, вредительства, и А.П. тоже, для перестраховки, был особенно внимателен".

А.Г. Самойлов:

"По приезде в Челябинск-40 в декабре 1948 года с группой сотрудников института (НИИ-9), возглавляемой А.А. Бочваром, меня, как автора технологии вакуумной установки (И.В. Курчатов назвал её "сказочным изобретением", "чудо-вакуумной установкой горячего формования"; она предназначалась для изготовления полусфер плутониевого заряда первой атомной бомбы) и ее оператора, А.П. Завенягин приказом назначил начальником группы по "обработке металла давлением". Мне, как начальнику группы, А.П. Завенягин сказал, что я несу полную ответственность за жизнь людей и за качество взрывного изделия. Легко ему было это говорить!

Ведь рисковать жизнью действительно приходилось, и не только своей, но и всех семерых членов группы, которых пришлось располагать недалеко от пресса. Если бы при проведении работы произошёл нейтронный всплеск, то первым бы погиб я, оператор, и могли бы сильно пострадать сотрудники, стоящие рядом со мной".

Теперь - обточка. Операция не только очень ответственная, но и трудоёмкая, требующая большого внимания, осторожности и смекалки. Во время обточки плутониевых полусфер возникла драматическая ситуация, которая описана в некоторых воспоминаниях. Жаль, сами участники происшедшего не оставили свидетельств, а потому при передаче, пересказе случившегося кое-какие обстоятельства излагаются по-разному. Но то, что связано с Завенягиным, не варьирует, а значит, доподлинно.

Н.И. Иванов:

"Пойдо (М.С. Пойдо, инженер-механик) рассказывал мне, как это было. Отштампованная заготовка из плутония вышла очень точной по сферичности. Ну, прямо как на чертеже. Осталось торцануть и выбрать внутреннюю полусферу. Перед тем как установить "полушар" на станке, Пойдо и Александр Иванович Антонов, токарь высшей квалификации, произвели замеры и расчёты. Они показали: ось детали нужно немного наклонить и только после этого обрабатывать торец. (При об-

точке полусфер был установлен порядок: после каждого прохода резца М.С. Пойдо рассчитывал размеры заготовки, и только после этого делался следующий проход резца.)

Завенягин стоял у станка, а когда Пойдо (взялся сам!) начал обточку, обратил внимание: резец "берёт" не по всей поверхности. И нервы, похоже, сдали. Он приказал остановить станок и потребовал объяснений. Видимо, в резкой, жёсткой форме. Михаил Степанович не стал повторять мне сказанное, но чувствовалось: даже его, человека выдержанного, спокойного, слова Завенягина сильно задели. Конечно, ситуация была из ряда вон: как показалось А.П., ответственные изделие запарывают. У него на глазах! Пойдо и Антонов заверили, что всё правильно. Как могли, растолковали причину своих действий. Тем не менее, деталь сняли, проверили, установили снова – так же, как рассчитали Пойдо с Антоновым. А.П. признал, что был не прав. После обточки деталь точно соответствовала чертежу, и все успокоились".

А.Г. Самойлов:

"А.П. Завенягин вдруг решил, что изделие по сферичности запорото, и весь свой гнев обрушил на М.С. Пойдо, который выслушал эти обвинения молча, не сказав в свою защиту ни единого слова. После ухода А.П. Завенягина Михаил Степанович мужественно продолжал вести обработку изделия до конца и сделал его с большой точностью на примитивном оборудовании. Несколько раз после этого я просил Андрея Анатольевича Бочвара обратиться к А.П. Завенягину, чтобы он как-то смягчил этот инцидент, но, к сожалению, разговор А.А. Бочвара с А.П. Завенягиным не состоялся. По-видимому, тогда А.П. Завенягину можно было сделать скидку на напряжённость обстановки. Огромная ответственность, независимо от занимаемого положения, лежала на каждом из нас. Случай с М.С. Пойдо мог привести к двойной трагедии, т. к. без М.С. Пойдо мы наверняка бы запоролы изделие. А резервного плутония не было, и в случае брака срок испытания бомбы пришлось бы сильно сдвинуть.

Как одна капля пота вошла в историю (о сборке атомных бомб). Очень нас до- нимала разборка изделия. Нашим токарям приходилось прикладывать немалые усилия. И вот однажды начинаем делать сборку. От напряжения на носу Бори Голубкова собирается капелька пота и падает на торец детали. Он не заметил этого и собрал изделие. Но зато заметили В.Г. Кузнецов и А.С. Займовский и решили, что срочно надо разобрать и проверить. Начинаем разборку. И что же? Изделие свободно, без каких-либо усилий разбирается. Лишь на плоскости торца – небольшое жировое пятно. Его легко убрали спиртом. Никаких нарушений не произошло. По решению "науки" снова проводим сборку, при этом сознательно наносим на деталь жировую пленку (пот с носа) в нескольких местах. И снова все разобралось хорошо. Это было внесено в технические условия на изделие. Звучало примерно так: "Пальцем взять с кончика носа жировую пленку, нанести на поверхность торца детали и произвести сборку". Конечно, после разборки все изделие тщательно протиралось ватой или салфеткой, смоченной в спирте. Так капелька пота с носа Бори Голубкова вошла в историю – в ТУ на изделие...

Много хлопот приносила нам, особенно летом, температура в помещении. Деталь сама по себе "нагревалась", а еще и летняя жара влияла на измерение. Вот и приходилось часто работать по ночам, когда не было жары. Иногда измерения проводили в тоннеле, идущем от санпропускника к цеху. Для этого отгораживали вход, завешивая с обеих сторон одеялами, брезентом, ставили охрану и работали. Там было довольно прохладно. Днем, если дожимала жара, в свободное перед измерениями время мы просили у А.С. Займовского разрешения съездить на озеро освежиться. Он шел к А.А. Бочвару: "Если вы сейчас никуда не едете, то можно взять машину? Ребята просят съездить на озеро, освежиться". – "Пожалуйста,

берите, езжайте", - разрешал А.А. Бочвар. Ну, мы "загружались" и ехали на Кызылташ...

Замеряли мы не только геометрию изделий. При помощи микроскопа после проточки по торцу проверяли спайку кусочков (смотрели, нет ли каких видимых включений). И все это делалось в открытую, без средств какой-либо защиты. А ведь запах от детали шел специфический: "пахло" тухлым чесноком и еще чем-то. Надышишься, пока работаешь, и идешь от детали, как получумной. При обработке токарем С.И. Ямпольским детали на станке произошел "взрыв-хлопок" паров бензина, которым он протирает деталь. С камеры были сорваны все перчатки. В итоге нам целую неделю пришлось отмывать помещение...

Как-то раз после очередной сдачи изделий их упаковали в контейнеры, поставили в ряд. Генерал-лейтенант П.Я. Мешик, заместитель самого Берии по режиму, с И. Ткаченко прогуливались рядом с ними. Мешик говорит: "Опечатаю своей печатью". Вынимает печать - факсимиле. Ткаченко ему уважительно: "Разрешите?" Берет и печатает, потом протирает, подает ему: "Пожалуйста, ваша печать". Загружаем изделия на тележки, возем к выходу из цеха. Охрана - офицеры - грузит их в автобус, и все уезжают...

Бывало и такое: начальник отделения приносит в комнату контейнер, зовет А.И. Антонова, Б.П. Захарова, меня, говорит, что предстоит серьезная работа, вскрывает его и показывает нам. Там лежит наше изделие, из него что-то торчит. Наша задача - это "что-то" расточить и вынуть из изделия. Изделие очень горячее. Кое-как вносим в камеру, закрепляем, растачиваем. Температура изделия после расточки становится нормальной. Все собираем, раскладываем в контейнера и уносим, камеру тщательно зачищаем. На этой "процедуре" почему-то не было никого из начальства и "науки". Только мы четверо - работники отделения. В.В. Мясников говорит: "Коля, вот когда кончится "гонка вооружений" (время "холодной войны"), спросят, кто готовил все это против человечества. Тебя назовут преступником номер 1". Я ему: "Нет, Владимир Викторович, вы будете номер 1, ибо вы сейчас от меня принимаете изделия и ставите свою подпись, моей подписи нет". Вот так, навязал на свою голову - стал свои результаты обмеров подписывать...

Н.Л. Духов в кабинете начальника цеха В.С. Зуева на неучтенной бумаге сделал эскиз изделия. Стали его изготавливать, называли ДШ (ШД - шарик Духова). Каламбурили: "Утром рано, не спеша, проверяем мы "ДШ", чуть дыша". Для сборки "ДШ" Ю.Б. Харитон, главный приемщик, привез приспособление. Мы испытали его на имитаторах. Но работать решили без приспособления. Начали собирать. У А.П. Александрова лицо стало вытягиваться, бледнеть. И.В. Курчатов расхохотался, хлопнул его рукой по плечу и говорит: "Не бойся, не взорвется". Полная сборка прошла нормально.

В то время приемку изделий в окончательном виде и на промежуточных операциях проводил Василий Григорьевич Кузнецов, доктор наук, профессор - он был тогда заместителем главного приемщика Ю.Б. Харитона. С ним работал инженер П.С. Ткачев. Такой, как сейчас, военной приемки не было. Вскоре к этим людям приехали на работу из Москвы И.С. Головин, В.В. Мясников, Г.И. Немцев, все гражданские. Называлась служба приемкой Главгорстроя. После отъезда Кузнецова руководителем приемки был назначен В.В. Мясников. Должность его звучала так: "районный инженер приемки Главгорстроя". Потом встал вопрос о передаче службы приемки военным.

Да, много было на первых порах разных моментов - и смешных, и печальных. Отпусков с выездом за зону не было. Сами строили стадионы с аттракционами, с танцплощадкой, где проводили свободное время. И не унывали.

Первые шаги службы "Д" (дозиметрии) на заводе 20. В 1948 году мы заканчивали четвертый курс Нижегородского радиотехникума, и руководство пригласило

преподавателя из университета прочитать нам лекцию на тему: "Радиоактивность и возможность использования ядерных реакций". Нам очень многое было непонятно; я помню, что задал лектору наивный вопрос: "Есть ли у нас атомная промышленность и атомная бомба?.." Лектор сказал, что об этом ему ничего не известно. Ответ на этот вопрос я получил через год - в 1949-м. Восьмого июня нас привезли на Базу-10 - так тогда назывался наш город. Нас предупредили, что мы направлены в хозяйство Лысенко и поедем в поселок Татыш.

Заводоуправление завода "В" (в будущем завода 20) размещалось в двухэтажном кирпичном здании в конце поселка. Оформление прошло быстро. Уже на следующий день мы пошли на работу по заводской улице. Дойдя до железнодорожного полотна, мы увидели ряд одноэтажных зданий, похожих на складские помещения. Слева стояло белое здание барачного типа, в котором располагалась заводская столовая, справа - финский домик, где жили академики. За контрольным постом находилось здание 8, дальше - здание 9, где и размещалось радиохимическое производство. Проходя мимо здания, мы увидели костер, на треножнике был подвешен котелок. Мы направились к проходной первой промплощадки. Промплощадка была чистой, ухоженной, с бетонированными дорогами, клумбами и статуями. По одной и той же дороге двигались пешеходы и транспорт по доставке материалов и спецгрузов, а впоследствии по дорогам общего пользования через поселок Татыш на озерскую промплощадку осуществлялась перевозка жидких отходов производства в бочках. Не переодеваясь, мы прошли в здание 12, где в центральной части размещалась служба "Д". Там была оборудована специальная экранированная комната для работы с фотоматериалами, т.е. для обработки кассет индивидуального фотоконтроля (ИФК), а напротив было выделено помещение для мастерской по ремонту и настройке дозиметрических приборов. В обязанности работников мастерской входила также организация дозиметрических пунктов в санпропускниках, прачечной и цехе.

Для работающих в здании 9 на выходе из него были установлены приборы для контроля поверхности рук персонала и за гамма-активностью. В помещениях, где производились работы с плутонием, осуществлялся контроль загрязненности поверхностей с помощью сухих мазков.

В мае на завод приехал инженер А.И. Магильнер: он учился в МГУ, фронтовик. Его назначили начальником службы дозиметрии. Основной поток будущих дозиметристов прибыл в мае и июне 1949-го. Дозиметрический контроль в цехе стал осуществляться с сентября 1949 года после пуска его в эксплуатацию. Работали мы по 8 часов, без обеденного перерыва, 6 дней в неделю. Для дневного персонала в здании санпропускника был организован буфет. Перед обедом мыли руки, надевали чистый халат.

В первые годы работы в мастерской были изготовлены переносные пробоотборники на базе бытового пылесоса.

Силами нашей мастерской были изготовлены и установлены "ворота" для контроля выходящего персонала на случай выноса продукта. Счетчики Гейгера были включены по мостовой схеме. В случае разбалансировки схемы, т.е. при появлении источника гамма-излучения, срабатывал звуковой сигнал.

В период становления атомной промышленности в радиобиологии существовала концепция толерантной (переносимой) дозы. Толерантная доза для внешнего гамма-излучения была перенесена из рентгенологии.

После пуска в эксплуатацию предприятия "Маяк" норм работы с ионизирующим излучением для персонала некоторое время вообще не существовало. Они появились только 10 февраля 1950 года. Дневная норма составляла 0,1 рентгена, а годовая допускала 30 рентген. Установленные нормы действовали до 1954 года, а затем были снижены до 15 рентген в год. Такая доза внешнего облучения держалась до 1961 года. На основании приказа директора комбината № 66 с 1 апреля 1955 года стал практиковаться профилактический вывод на шесть месяцев в чис-

тые условия работников, получивших 45 рентген за год или 75 рентген за последние два года.

В период существования этих норм персонал даже при недопущении нарушений получал немыслимые по теперешним временам дозы облучения. Такие дозы приводили к потере здоровья и профессиональным заболеваниям.

Проведение технологических операций, ремонтных и других работ в первый 10-летний период сопровождалось высокими уровнями загрязнения одежды и обуви, а следовательно, рук и тела персонала. Персонал выполнял все работы практически без мер предосторожности, как с обычными, не радиоактивными материалами. Одежда выдавалась на рабочую неделю. В качестве обуви использовались кожаные тапочки на резиновой подошве. Тапочки дезактивации не подвергались и заменялись после износа. Обувь постоянно являлась источником загрязнения и помещений, и персонала. Одежда и белье, загрязненные в течение рабочей недели до уровней, превышающих допустимые в сотни раз, поступали в прачечную. После первой стирки 95-97 процентов одежды и белья направлялись в повторную. Часто после 4-5 стирок для повторного использования возвращалось не более 60 процентов одежды и белья.

То, что не поддавалось дезактивации, уничтожалось. Предполагалось, что одежду будут носить три месяца, но из-за повторных стирок срок носки не выдерживался.

В начале 1960 годов после проведенных исследований стало очевидно, что одежду необходимо стирать после каждой смены. Очень трудно было настоять на введении ежедневной ее замены. Для осуществления этой идеи пришлось дополнительно провести ряд работ. Был отобран персонал цеха с наиболее тяжелыми условиями труда в количестве 100 человек. Одежда этого персонала стиралась ежедневно. Первый же опыт показал, что 90-95 процентов одежды отстирывается до санитарных норм даже при наиболее щадящем режиме стирки. Только после этого было принято решение о введении ежедневной замены спецодежды. После проведения этой операции были выброшены из санпропускников загрязненные до высоких уровней деревянные и железные шкафы...

## Развитие производства

Вслед за первенцами атомного проекта на свет появлялись новые заводы, комбинаты - дублеры действующих и пионеры новых технологий.

Завод N814 (Свердловск-45) освоил магнитное разделение изотопов урана; на Комбинате N815 (Красноярск-26) построен самый мощный реактор для наработки оружейного плутония. Производство высокообогащенного урана и оружейного плутония было организовано и на Комбинате N816 (Томск-7). Эти и другие объекты рождались при деятельном участии А.П. Завенягина.

Известно, что он - "соавтор" вопроса о проектировании и подготовке к строительству заводов N815 и 816, который был рассмотрен Спецкомитетом при СМ СССР 19 июня 1948 года. К тому же А.П. включен в группу, которой дано задание оперативно разработать и согласовать с И.В. Курчатовым "более детальные предложения и проект соответствующей записки на имя товарища Сталина".

Позднее, после того как 6 декабря 1948 года Спецкомитет вновь занялся строительством завода N816, А.П. Завенягин - в числе тех, кому поручено уточнить все, что касается данного вопроса, проверить расчеты, положенные в основу предложений о мощности нового завода, типе технологических машин, оценить площадки под строительство, объемы капиталовложений, материалов и оборудования. 30 декабря 1948 года строительство завода N816 опять в повестке дня заседания Спецкомитета. Обоснование его необходимости, проектной мощности, сроков сооружения? фамилия Завенягина - тут же. К сожалению, рассказать подробно

возможности нет: документы не рассекречены, а знавших А.П. и ныне здравствующих уже не найти.

Строитель Комбината № 815 (строительство 1950 г.) В.К. Машер:

Место для подземной части горно-химического комбината выбрано там, где Атамановский кряж - это северные отроги Саянских гор - вплотную подходит к Енисею. Здесь речное русло зажато между высокими скалистыми берегами (Прижим). Строительство комбината и города Железногорска было поручено Управлению строительства железных рудников Главпромстроя МВД СССР (ныне - СПАО "Сибхимстрой"). Дирекция будущего предприятия условно именовалась Восточная контора. Завенягина интересовали и проектирование, и горные работы, а также дороги, ЛЭП, временные сооружения - А.П. неоднократно внушал - всё должно быть капитально, добротно и комплексно. Дороги, например, только с асфальтобетонным и бетонным покрытием.

"В 1951 году А.П. вновь прибыл на стройку, чтобы форсировать горные работы. Собрал всех руководителей, перед каждым поставил задачу.

Коротко, властно! Нам - я тогда работал главным инженером строительного района - было поручено обустроить так называемую полку: уступ в горе длиной километра полтора, в откосе, метров 50-60 над уровнем Енисея. Горняки её сделали, но - узкую, машинам не разъехаться, надо было расширить.

Кроме того, построить компрессорную, водозаборные сооружения и траншеи для сброса воды из ущелья в Енисей. Организовали мы отдельный участок, и А.П. ежедневно проводил оперативки. Чувствовалось, обсуждая с нами конкретные вопросы, он как бы на время делается не начальником, который может запросто решить судьбу человека ("Освободить его"), а инженером, хорошо понимающим наши трудности. По ходу дела нужно было построить маленькую котельную, два котелочка, которые должны были давать тепло для калориферов на портале тоннеля, прорубавшегося в горе. Проект оказался таковым, что здание котельной попало на насыпные грунты. А сдвинуть его, как я предложил, ближе к порталу не получилось - возражали горняки: им нужно было место разместить оборудование для проходки. "Скажи, а эта котельная зиму простоит? - спросил у меня Завенягин. - Простоит. А весной может развалиться. - Ну и поставь её. Дольше она не нужна будет. Ну, мы предусмотрели кое-какие меры, чтобы избежать неприятностей. И хотя весной в шлакобетонных стенах появились трещины, это уже не имело значения - котельная свою задачу выполнила. Но некоторое время она ещё стояла - до инвентаризации (в конце года): если разобрать, докажи потом, что была. И надо же! Нашлись чиновники, притом высокого ранга, которые спрашивали: "Как же вы построили на таких грунтах? А вы знали, что она развалится?" Они не могли понять то, что для Завенягина было простым, реальным взглядом на вещи.

"По мере того как налаживалось производство "топлива" для ядерных зарядов (достаточное количество и с хорошей концентрацией изотопов урана-235), сама диффузионная технология себя изживала - она была дорогой, энергоёмкой и малопродуктивной. И в ИАЭ под руководством И.К. Кикоина была начата совместно с заводами отрасли работа над новым методом разделения изотопов урана с помощью высокоскоростных центрифуг (1953 г). Тут требовалось приложить большие усилия и вовлечь в разработку и изготовление специальных центрифуг не только отрасли оборонной промышленности.

"Я тогда (с 1953 года, по рекомендации Завенягина) возглавлял Комбинат №813, и мы участвовали в разработке центрифужного метода. А.П., к тому времени уже заместитель Председателя Совета Министров СССР, очень помогал, был внимателен ко всем нашим вопросам. В частности, когда я предложил подключить ГАЗ (там можно было наладить и поток, и добиться хорошего качества), Завенягин обратился к директору и главному инженеру ГАЗа с просьбой организовать

специальный цех. Те чего-то там шебаршились, тянули, но А.П. настаивал, нажимал, вероятно, позвонил Берии. И дело пошло.

Наконец в тесном контакте и с заводчанами-атомщиками, ОКБ Кировского завода (Ленинград) производство центрифуг и всей необходимой для них аппаратуры было налажено, ими оснастили Уральский электрохимический комбинат (так позднее стал называться Верх-Нейвинский завод), а затем и ряд других предприятий, и центрифужный метод разделения изотопов урана, их обогащения изотопами урана-235 был полностью освоен".

### Тяжелая вода

Нередко высказывается версия, что Завенягин прибегнул к Норильску, как к палочке-выручалочке, когда возникла конфликтная ситуация между ним и М.Г. Первухиным, министром химической промышленности (и одновременно зампредом Совмина СССР). Однако это только часть "сценария", разыгранного с производством так называемой тяжелой воды. Но сначала коротко о том, почему в ней возникла необходимость. Оказывается, реактор с тяжелой водой, которая, как и графит, служит замедлителем нейтронов в котле, - проще (котла уран-графит) по конструкции и требует в 10 раз меньших количеств металлического урана.

Котлы с уран-тяжелой водой требуют для единовременной закладки тяжелой воды - 15-20 тонн, урана 8-10 тонн. Котел уран с тяжелой водой работает более интенсивно, чем уран-графитовый котел, и поэтому более сложный в теплотехническом отношении. Получить тяжелую воду в больших количествах значительно труднее, чем получить уран из руды. "Чтобы получить тяжелую воду с концентрацией 99,5 % из обычной воды, необходимо воду обогатить примерно в 6000 раз. Поэтому установки для получения тяжелой воды из обычной воды или другого сырья, содержащего водород, являются весьма сложными и громоздкими, потребляющими большое количество энергии".

Один из первых документов, касающихся производства тяжелой воды, - решение Спецкомитета при ГОКО от 31 августа 1945 года: принят соответствующий проект Постановления ГОКО (само Постановление датировано 4 сентября 1945 года, №9967), а Техническому совету поручено:

"тщательно обсудить вопрос о других методах получения продукта 180 и свои предложения о наиболее рациональных способах производства указанного продукта, а также о мерах привлечения к разработке этого вопроса научных учреждений, отдельных учёных и других специалистов внести на обсуждение Специального комитета;

"рассмотреть вопрос о плане развития в течение 2-3 лет мощностей по производству продукта 180, о сооружении необходимых для этого энергетических и промышленных установок и дислокации их и свои предложения внести на обсуждение Специального комитета".

14 ноября 1945 года Спецкомитет обсуждает проект очередного постановления СНК "О производстве продукта 180", подготовленный при участии А.П. Завенягина. Ему же (в группе исполнителей) поручено разработать и представить на рассмотрение СНК мероприятия по материально-техническому обеспечению строительства и выпуску оборудования для цехов электролиза. На том же заседании речь шла об увеличении производства тяжелой воды на Чирчикском электрохимическом комбинате Наркомхимпрома. А.П. Завенягин - среди авторов проекта правительственной директивы.

А.М. Розен:

"В 1945 году я был участником разработки проектного задания завода для получения  $D_2O$  методом ректификации жидкого аммиака. В Минхимпроме эту тему курировали министр М.Г. Первухин и его заместитель А.Г. Касаткин, известный

специалист по процессам и аппаратам химической технологии. В конце года к нам присоединился приглашённый из ГДР инженер В.К. Байерль (работавший ранее в известной фирме "Бамаг"). Дело продвигалось крайне медленно. В значительной мере это было связано с особенностями личности директора (ГИАП). Ни один организационный вопрос он решить не мог: "Надо подумать, посоветоваться с товарищами" - и вопрос откладывался в долгий ящик.

Такой темп совершенно не устраивал А.П. Завенягина. В конце 1945 года он созвал (в ПГУ) совещание, посвященное этому вопросу, и принял решение о переносе работы в НИИ-9 и о подготовке постановления правительства по данному вопросу. На этом заседании я познакомился с худенькой энергичной женщиной - С.М. Карпачевой".

17 января 1946 года Л.П. Берия, Г.М. Маленков и Н.А. Вознесенский препроводили И.В. Сталину доклад И.В. Курчатова, И.К. Кикоина, Б.Л. Ванникова, М.Г. Первухина и А.П. Завенягина о состоянии работ по получению и использованию атомной энергии. Один из разделов доклада - "Производство тяжелой воды. Руководители атомного проекта информировали:

"Большие трудности встречает производство необходимых запасов (13-20 тонн) тяжелой воды. Для создания мощности в 20 тонн тяжелой воды в год требуется в течение 1946 г. - первой половины 1948 г. построить ряд заводов, расширить мощности электростанций, изготовить в СССР или закупить за границей большое количество сложного оборудования. Общая стоимость оборудования и строительства электролизных заводов и связанного с ним расширения электростанций составит около 1 миллиарда рублей. Несмотря на сложность и дороговизну электролитического способа, является необходимым приступить к строительству заводов, [где будут получать необходимое количество] тяжелой воды по этому методу, проводя параллельно интенсивные изыскания других, более простых и дешевых способов. Научно-техническим и Инженерно-техническим советами при Специальном комитете разработаны мероприятия, предусматривающие:

1. Строительство 11 цехов производства тяжелой воды общей мощностью в 21,3 тонны в год электролитическим методом, в том числе: в Норильске - 2,2 тонны в год. Такое размещение взято исходя из необходимости рассредоточить производство тяжелой воды и возможности использования свободных мощностей электростанций?. Но этого оказалось мало. И 19 февраля 1946 года Спецкомитет при СНК СССР поручил Научно-техническому и Инженерно-техническому советам еще раз рассмотреть план производства гидроксидина (тяжелой воды) и в недельный срок представить свои предложения, с учетом состоявшегося обмена мнениями, Специальному комитету. Первухину (созыв), Крутикову, Борисову, Завенягину и Кравченко дано задание в тот же срок конкретизировать вопрос о посылке в западную зону Германии группы специалистов для закупки и вывоза необходимого для электролизных цехов оборудования (в особенности ртутных выпрямителей и трансформаторов). 7 марта 1946 года А.П. Завенягин, А.Г. Касаткин, М. Фольмер, В.К. Байерль и Г. Рихтер направили Л.П. Берии письмо "О производстве тяжелой воды методом изотопного обмена аммиака с водой с последующей дистилляцией аммиака". Зампреду СНК СССР сообщалось: разработан более эффективный способ получения тяжелой воды, чем тот, что ранее предложен в Германии профессором Гартеком и доктором Байерлем. Изложение сути новой технологии заканчивается выводом: "Получение тяжелой воды из аммиака будет одним из наиболее дешевых методов". Одновременно предлагалось: завершить исследования, разработать проект заводской установки и построить ее на Сталиногорском азотно-туковом заводе Наркомхимпрома, поручив ее строительство и монтаж НКВД и Наркомхимпрому. К письму авторы приложили проект постановления СНК СССР. Оно было принято уже 18 марта. В совершенно секретном документе N618-254 "О мероприятиях по разработке нового метода производства гидроксидина" сказано: "В целях проверки в

промышленном масштабе предложенного проф. Фольмером и д-ром Байерлем метода:

1. Обязать Первое Главное управление при СНК СССР (т. Завенягина) в десятидневный срок закончить организацию при НИИ-9 Лаборатории N10 (под руководством проф. Фольмера) и обеспечить выполнение в ней к 15 мая необходимых исследований по получению гидроксидов.

2. Обязать Первое Главное управление при СНК СССР (т. Завенягина) и Наркомхимпром (т. Касаткина) организовать при НИИ-9 Особое конструкторское бюро ОКБ-10 во главе с д-ром Байерлем с привлечением инженеров ГИАП и НИИ-9. Возложить на ОКБ-10 техническое проектирование установки по производству гидроксидов.

3. Возложить строительство и монтаж установки по производству гидроксидов на Сталиногорском азотно-туковом заводе на НКВД СССР (т. Круглова).

9. Разрешить начальнику 9-го Управления НКВД СССР (т. Завенягину) израсходовать на премирование работников, занятых на исследовательских и проектных работах по методу проф. Фольмера и д-ра Байерля, 100 тыс. руб.

10. Обязать Наркомторг СССР (т. Любимова) выделить во II кв. 1946 г. НКВД СССР (т. Завенягину) на 50 тыс. руб. промтоваров для премирования работников, занятых на исследовательских и проектных работах".

С.М. Карпачева:

"Авраамий Павлович, зная, что я владею немецким, направил меня на беседу в Опалиху, где в госпитале временно устроили немцев. Он поручил мне переговорить с профессором М. Фольмером, который предложил для производства тяжелой воды экономичную и энергосберегающую схему, выгодно отличающуюся от существующих в Норвегии и у нас. Дня через три после моего доклада Завенягину было подготовлено решение правительства о строительстве установки по схеме [разработанной в ГИАПе и схожей с фольмеровской] и создании специальной лаборатории во ВНИИНМ, куда переводились вместе с А.М. Розеном несколько рядовых сотрудников из ГИАПа". (В записанных Н. Курносовым воспоминаниях С.М. Карпачёвой приводятся подробности: "Меня назначили начальником экспериментальной лаборатории, которая находилась неподалеку от Курчатовского института, на Октябрьском поле. М. Фольмер стал научным руководителем проекта. Жили немцы в санатории Озеры под Одинцовом, и возили их на работу на институтской машине. Потом Берия заявил, что все эти физики-химики - немецкие шпионы, и велел запретить их на охраняемой территории нашего предприятия. Фольмеру дали коттедж, а остальным выделили двухэтажный дом. Правда, в доме этом была охрана, без которой немцы не могли куда-нибудь выйти. Платили им очень большие, по сравнению с нами, деньги, причем половину зарплаты переводили на валютные счета в Германию").

А.М. Розен:

"Я был назначен заместителем Карпачевой и главным технологом ОКБ, специально созданного при НИИ-9 для разработки проекта завода по производству D<sub>2</sub>O.

К сожалению, в преамбуле постановления правительства был сделан упор на разработки немецких специалистов и лишь бегло упомянуты, советские. Это вызвало конфликт между А.П. Завенягиным и М.Г. Первухиным, конфликт, имевший для нас, как потом оказалось, далеко идущие последствия. Но тогда мы ещё этого не понимали и радовались, что работа, наконец, пошла.

ОКБ срочно укомплектовали сотрудниками. Была создана и лаборатория, которой руководил выдающийся немецкий учёный проф. Фольмер, принимал участие в работе талантливый физик д-р Г. Рихтер. Фольмер быстро провёл экспериментальное исследование - [очень важное для определения параметров] всей огромной установки. Пошли и проектные работы. Этому способствовал решительный характер директора В.Б. Шевченко. Возникавшие вопросы незамедлительно решались. Технический

проект завода был выполнен в 1947 г. Согласно проекту основной частью установки был уникальный каскад из пяти колонн высотой около 100 м каждая и диаметром 4,7; 1,7; 0,8; 0,3; 0,3 м, установленных на постаменте и окружённых 12 испарителями диаметром 3,2 м, высотой 6 м. (Производительность по D<sub>2</sub>O - 8 тонн в год.) Весь процесс был полностью автоматизирован. Управление вели с центрального щита".

4 апреля 1946 года СМ СССР принял очередное постановление по тяжёлой воде (№739-293) - "О производстве гидроксидов, где среди исполнителей поименовано и МВД: 3. Установить следующие сроки ввода в действие цехов "Г" и возложить ответственность за обеспечение выполнения этих сроков:

ж) на Норильском комбинате Министерства внутренних дел СССР (под личную ответственность министра т. Круглова и директора комбината т. Панюкова) цех "Г" мощностью 2,2 т в год, с вводом в действие на полную мощность во II кв. 1948 г."

Среди семи упомянутых в постановлении цехов норильский занял (вместе с тем, что предполагалось построить на Днепродзержинском азотно-туковом заводе Минхимпрома) вторую строчку, уступив только чирчикским электрохимикам. Комбинат стал ответственным и за генеральное проектирование своего цеха "Г".

Ряд заданий получил лично Завенягин: "7. Обязать Министерство внутренних дел СССР (тт. Завенягина и Захарова) обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии для выполнения плана по цеху "Г" на Норильском комбинате от ТЭЦ комбината в размере 72 тыс. кВт со II кв. 1948 г.

9. Установить следующий порядок строительства и монтажа цехов "Г", преобразовательных подстанций и проведения всех мероприятий, связанных с переработкой отходящего газа:

а) Министерство внутренних дел СССР (тт. Завенягин, Комаровский и Захаров) проводит строительные и монтажные работы по Чирчикскому электрохимическому комбинату Министерства химической промышленности, Березниковскому азотно-туковому заводу Министерства химической промышленности и Норильскому комбинату Министерства внутренних дел СССР;

б) Министерство внутренних дел СССР (тт. Завенягин и Комаровский) проводит только строительные работы по Днепродзержинскому азотно-туковому заводу Министерства химической промышленности, а монтажные работы выполняются силами Министерства химической промышленности.

10. Обязать Первое Главное управление при Совете Министров СССР (т. Ваникова), Министерство внутренних дел СССР (т. Завенягина), Министерство химической промышленности (т. Первухина), Министерство цветной металлургии (т. Ломако) и Министерство по строительству предприятий тяжёлой индустрии (т. Юдина) в декадный срок разработать и представить на рассмотрение и утверждение Совета Министров СССР мероприятия по строительству и монтажу предусмотренных настоящим Постановлением цехов "Г".

12. Обязать Первое Главное управление при Совете Министров СССР (т. Ваникова), Министерство химической промышленности (т. Первухина), Министерство электростанций (т. Жимерина), Министерство цветной металлургии (т. Ломако), Министерство внутренних дел СССР (т. Завенягина), Министерство по строительству предприятий тяжёлой индустрии (т. Юдина) в месячный срок разработать и представить на рассмотрение и утверждение Совета Министров СССР согласованные предложения по проведению всех мероприятий, связанных с электроснабжением цехов "Г", предусмотренных настоящим Постановлением, в том числе:

б) мероприятия по расширению и укомплектованию оборудованием ТЭЦ Березниковского магниевых заводов, ТЭЦ Богословского алюминиевого завода, ТЭЦ Норильского комбината Министерства внутренних дел СССР и Березниковскую ТЭЦ Министерства электростанций;

в) мероприятия по расширению сооружений районных сетей, подстанций, связанных с подачей электроэнергии для цехов "Г", а также мероприятия по строительству и расширению соответствующих заводских подстанций.

19. Поручить тт. Первухину (созыв), Борисову, Завенягину и Жимерину в месячный срок решить вопрос о возможности строительства цеха "Г" в г. Ленинграде."

С.М. Карпачёва:

"Лабораторию, где фольмер должен был стать научным руководителем, а я - начальником, организовали во ВНИИНМ. С нами должно было сотрудничать ОКБ-10 и одна из "шарашек", где предстояло разработать проектное задание и конструкцию установки тяжелой воды.

Но дело у конструкторов шло плохо, и через несколько месяцев Завенягин объединил ОКБ-10 с лабораторией фольмера и поручил мне найти организацию, специализирующуюся на выполнении [довольно сложных] конструкций, и договориться с ней. Всё это потребовало серьезной организации работы, захватившей меня, Розена А.М., перешедшего из ГИАПа моим заместителем, и Байерля В.К. (бывшего директора немецкой фирмы "Бамаг".) Лабораторные исследования были закончены в течение года".

А.М. Розен:

"Вторым постановлением правительства было определено место строительства. Первоначально предполагалось строить завод в Новомосковске, на азотно-туковом комбинате Минхимпрома, где имелся большой опыт работы с жидким аммиаком и всегда можно было пополнить его запасы. Но конфликт т. Завенягина с т. Первухиным привёл к отказу Минхимпрома от строительства нашего завода в Новомосковске (ГИАПу было поручено разработать для него конкурирующий вариант), и местом строительства был выбран Норильск".

Как это ни покажется странным, натянутые личные отношения порой мешали реализации важных правительственных решений даже в такой сфере, как "атомная". С.М. Карпачёва рассказывала, что следствием размолвки между А.П. Завенягиным и М.Г. Первухиным стал отказ Минхимпрома организовать соответствующие работы не только в Новомосковске, но и на других комбинатах. Истинная причина, видимо, не в конкурирующих проектах: ответственным за выполнение всей программы назначался А.П. Завенягин, т. е. МВД, а Минхимпрому отведена роль подчиняющегося исполнителя. Ситуация, о которой идёт речь, описана в литературе, но по какой-то причине не строго по первоисточнику, отчего утратились некоторые важные детали и эмоциональная окраска. А если цитировать рукопись Сусанны Михайловны, то "Дело дошло до скандала в Научно-техническом совете ПГУ, на котором в присутствии приглашённых (меня и Розена) А.П. Завенягин и М.Г. Первухин стали спорить между собой в таких "непарламентских" тонах, что мне очень хотелось убежать или хотя бы не слышать этот спор, который ничем не закончился. Через несколько месяцев я, вернувшись из отпуска, позвонила А.П. Завенягину, чтобы узнать, [на чём же, в конце концов, остановились]. Сначала на мой вопрос я услышала смех, затем он сказал: "Вы будете в ужасе, пришлось решиться на строительство в Норильске! Действительно, я обомлела от этого заявления. - Но ведь там нет аммиака, там очень дороги будут и доставка оборудования, и эксплуатация! Мы же прогорим, Авраамий Павлович! - вопила я в трубку. "Выхода не было, сказал А.П. - Минхимпром заблокировал свои заводы от нас. Но мы выкарабкаемся, не впадайте в панику. Аммиак нужно завезти один раз - на пуск, потом только пополнять потери, которые будут невелики - ведь установка герметична. А на эксплуатации мы выиграем за счёт расхода электроэнергии. А самое главное - здесь никто нам мешать не будет.

К сожалению, А.П. ошибался: препятствий в Норильске и Москве оказалось очень много. Но никто не мог предполагать, сколько строительство и пуск установки потребует сил и расхода нервной энергии! И сколько препятствий было организовано в самом МВД!".

15 августа появился отчёт "О состоянии работ по проблеме использования атомной энергии за 1945 г. и 7 месяцев 1946 г.". В разделе "О состоянии работ по производству тяжелой воды" дан обстоятельный анализ сложившейся ситуации. Обратим внимание на близкое к Завенягину и непосредственно касающееся Норильского комбината. В числе НИИ и других организаций, работающих над проблемой, назван НИИ-9 Первого Главного управления при Совмине СССР (с участием группы немецких специалистов). Норильский комбинат - в числе семи предприятий, где намечено производство тяжёлой воды (Постановление СМ СССР №737-293 от 4 апреля 1946 года), указана потребная электрическая мощность - 84 тыс. кВт, стоимость работ по основным объектам, включая оборудование, - 79 млн. рублей. Но "работа по строительству (его, напомним, должен вести сам комбинат) ещё не начата".

А.М. Розен:

"Сам по себе Норильский комбинат, несмотря на сложные климатические условия, был бы хорошим местом для строительства такого завода (благо имелось достаточно холодной воды, нужной для охлаждения конденсата), если бы не обстоятельства: завод попадал в подчинение НКВД, точнее, его 7-го спецотдела во главе с полковником М. Гагкаевым; завоз оборудования возможен только в летнюю навигацию.

Второе обстоятельство затянуло подготовку к монтажу и монтаж завода. Но более важным было первое обстоятельство. Как известно, при решении любой задачи большое значение имеет человеческий фактор. Худший же "фактор", чем М. Гагкаев, трудно себе представить. Бывший заместитель начальника Дальстроя НКВД, где он злоупотреблял неограниченной властью, он был чужд технике, не стремился организовать дружную работу, не терпел возражений и ценил только подхалимаж. И сотрудников подобрал подходящих - стопроцентных подхалимов, не мыслящих в технике и не интересующихся делом".

В начале 1947 года вопрос о норильском цехе "Г" был поставлен, что называется, ребром. Обсудив суть дела, Спецкомитет при СМ СССР (протокол №32 от 18 февраля) решил не рассматривать, отложив до следующего заседания, представленный проект постановления СМ СССР "Об оказании помощи Норильскому комбинату по расширению ТЭЦ" и поручить Научно-техническому совету Первого Главного управления при Совете Министров СССР (т. Первухину) ещё раз обсудить вопрос о целесообразности строительства цеха "Г" в Норильске с учётом возможности выполнения запроектированного по Норильску плана производства гидроксидов за счёт практического осуществления новых методов получения гидроксидов или сооружения цеха "Г" в другом, более выгодном месте и свои предложения внести в Специальный комитет".

Можно представить, какие страсти бушевали в течение трёх недель, до следующего "сбора". Какой удар по самолюбию выдержал А.П.! Но 12 марта это осталось "за кадром": Спецкомитет обсуждал проблемы оснащения цехов "Г", не затрагивая конкретно тему Норильского комбината. И только гораздо позднее, 22 июля 1947 года, Спецкомитет принял-таки предложение Завенягина, Первухина и Борисова прекратить строительство цеха "Г" на Норильском комбинате. Видимо, А.П. вынужден был уступить. Обойтись без особого мнения. Скорее всего, доводы, прежде всего М.Г. Первухина, перевесили. Не потому ли, что подвели сами исполнители?..

Но, казалось, исчерпавший себя сюжет 9 августа обрёл вторую жизнь. Давайте

вернёмся на заседание Спецкомитета 22 июля. Он поручил Ванникову, Мальшеву, Завенягину, Курчатову, Борисову, Юдину и Жигалину "ещё раз рассмотреть внесённый тт. Завенягиным, Первухиным и Борисовым проект постановления Совета Министров СССР о строительстве установки №476 (промышленная, по производству тяжелой воды, сооружалась на Коломенском паровозостроительном заводе) и свои предложения в 5-дневный срок представить на обсуждение Специального комитета". Однако уже на следующем заседании Спецкомитета (9 августа) принят "представленный тт. Ванниковым, Мальшевым, Завенягиным, Курчатовым, Борисовым, Юдиным проект постановления о строительстве промышленной установки №476 по производству гидроксидов методом дистилляции аммиака с местом сооружения её в Норильске (предложение тт. Борисова и Завенягина)".

Завенягину (созыв), Борисову и Первухину поручено в 3-дневный срок внести в проект постановления Совмина СССР поправки, связанные с изменением места сооружения установки. А 21 августа 1946 года Постановление СМ СССР (№2936-952) было принято. В 1947-1948 годах завершены стендовые испытания.

А.М. Розен:

"Если бы не постоянная помощь А.П. Завенягина, завод мы бы не пустили. В 1949-1952 гг. [он] был в основном смонтирован". В 1951 г. мы с С.М. Карпачёвой побывали в Норильске и убедились, что пуск не за горами".

В.Ф. Калинин:

Вызывают к Завенягину.

- Ты летаешь самолётом! Лети в Норильск.

- Когда?

- А вот сейчас, ты успеешь ещё на самолёт.

Я как был, не заезжая домой, в ботинках и шляпе, полетел. В Красноярске утром меня встретили лётчики в меховых унтах. С ними на грузовом самолёте я полетел в Норильск. Чтобы я совсем не замёрз, меня завернули в ковры, которые, к счастью, были в самолёте. В Норильске меня встретил сам "князь Таймырский" В.С. Зверев. Маленький паровозик на узкоколейке с двумя крошечными тёплыми вагонами: в одном из них - диван, в другом - самовар, коньяк. Хотя я и не пью, но здесь выпил и тут же заснул. Зверев был единоличным руководителем и металлургического комбината, и города, где по распоряжению Завенягина монтировали завод по производству тяжелой воды. А поскольку я занимался тяжёлой водой, то Завенягин меня и послал. Вопрос был технический. Надо было понять, почему не идёт технология. Я как приехал в ботиночках и шляпе, так и прожил там всю зимнюю пору, месяцев 4-5. Правда, на улице я почти не бывал. Так как я был полномочным представителем Завенягина, ко мне относились с большим уважением, оперативно выполняли все мои поручения, подчинялись и прочее. Каждый день утром собирались: "Ну-ка, ребята, кто объяснит, что произошло у нас ночью?" Того, что случалось ночью, не могла вообразить никакая фантазия. Но, в конце концов, всё, что нужно было, сделали. Однажды Зверев сообщил мне, что группа заключённых слесарей (90 человек) благодаря хорошим отзывам об их работе освобождена и завтра на работу не выйдет, так как бывшие ЗК не имеют права работать на закрытых объектах. Я рассмеялся и сказал: "Но они же работают, а если уйдут, то остановится весь монтаж!"

- Есть выход: если они добровольно останутся заключёнными; конечно, мы будем им платить зарплату и отпустим с хорошими документами, когда монтаж закончится. Скажи им об этом, мне они могут не поверить".

После короткого совещания в дальнем углу цеха 50-летний бригадир слесарей сказал: "Мы понимаем, мы согласны, мы - коммунисты".

А.М. Розен:

"Осенью 1952 г. начались пусковые работы, которые мне пришлось возглавить (в качестве научного руководителя и главного технолога завода) вместе с В.К. Байерлем - главным инженером ОКБ (С.М. Карпачёва заболела и в пусковых работах участия не принимала, что привело её к конфликту с А.П. Завенягиным). Перед началом пуска у меня было свидание с А.П. Завенягиным в Красноярске. Дело в том, что наш представитель М.А. Полянов, наблюдавший за монтажом, сигнализировал, что главный инженер завода никуда не годится и к тому же пьяница. Директор В.П. Прохоров тоже никуда не годился. (Полянов показал нам толстую папку своей переписки, точнее, пикировки с заводом как доказательство неусыпной заботы об интересах института, и я по неопытности не понял, что это нечто другое.) А.П. Завенягин меня выслушал, посоветовал ознакомиться на месте и затем позвонить ему. Приехав, убедился, что главный инженер - человек вполне толковый, но действительно неисправимый пьяница (первый день был ещё в норме, на второй - к нему уже нельзя было подойти, да и держался на ногах нетвёрдо). Пришлось его снять, на его место (увы, по моей рекомендации) назначили М.А. Полянова. Увы - потому, что на новом месте работы он тут же начал писать мне докладные и конфликтовать. Запуск технологии сопровождался частыми неполадками, авариями. Их шаг за шагом устранили. Кстати сказать, одну из сотрудниц, Риту Белозёрову, - она вела аналитический контроль осушки аммиака - прислал Завенягин из Челябинска.

"Большие проблемы возникали при настройке быстроходного компрессора ТЗ, ротор которого был выполнен из алюминиевого сплава. Теоретически это было прогрессивное решение - но практически ротор ломался при попадании любых мелких твёрдых частиц. Сетки не помогали.

Если бы не "обстановка нервнотрёпки, создаваемая Гагкаевым и гагкаевцами. После каждого ЧП составляли длинные акты, писали письма в Москву, в которых сообщалось, что я (как и Байерль) явный иностранный агент. К счастью, письма попадали к Завенягину, а он адресовал их "в дело" (одно он мне показал не без некоторого веселья, а на вопрос, нельзя ли Гагкаева убрать, сказал: "Ты хочешь подменить отдел кадров НКВД? Зря!" (Помехи со стороны гагкаевцев отпали позднее: его "службу" сократил уже П.Ф. Ломако, а после XX съезда самого Гагкаева исключили из партии.) Большую помощь оказала замена директора: вместо В.П. Прохорова А.П. Завенягин прислал своего человека, Ф.Е. Бражникова, с которым мы дружно работали. Время от времени на наш завод приезжали учёные с целью ознакомиться с положением и по возможности помочь. В частности, весной 1953 г. приезжал В.Б. Шевченко (незадолго до этого освобождённый от обязанностей директора НИИ-9). Весьма важную роль в развёртывании работ сыграло превращение молодых специалистов, работавших на заводе, в опытных инженеров, сплочение коллектива. С особенной теплотой вспоминаю ведущих технологов - начальников смен завода, управлявших процессом с центрального пульта (щита). Они превосходно понимали и технологию, и автоматику. Это Катя Майорова, Циля Бобовникова, Муза Левкович, Нина Рязанова. Им помогали начальники смен КИП Олег Трофимов, Петя Выродов, Юра Галкин и др. После смены директора комбината, когда новый директор т. Логинов знакомился с нашим заводом, они выступили с предложениями по укреплению инженерного руководства завода, и по их предложению молодой инженер О.В. Трофимов был назначен главным технологом, а затем и главным инженером завода.

Работа пошла дружнее. Но впереди было ещё несколько испытаний. Летом 1955 г. на установке был получен кондиционный продукт, о чём мы доложили А.П. Завенягину. Он выразил удовлетворение. Однако производительность завода была вдвое ниже проектной. (Конструктивную доработку проводили на гидродинамическом стенде, созданном при поддержке А.П. Завенягина.)

В 1957 году завод достиг 85 % проектной мощности. Норильская "макаронка"

выдавала продукцию 7 лет, но тяжёлая вода оказалась дорогой (из-за завышенных цен на пар высокого давления), и её производство было остановлено.

## КБ-11

К августу 1946 года в ядерном центре должны были быть созданы ведущие лаборатории, призванные обеспечить или непосредственную разработку, или техническое руководство производством основных элементов атомной бомбы.

Предполагалось ввести в строй, прежде всего, лабораторию взрывчатых веществ, нацеленную на решение большого комплекса проблем: разработку заряда со сходящейся сферической детонационной волной, отработку отдельных его элементов и конструкции в целом, исследование сходящейся детонационной волны, отливку и прессование взрывчатых веществ, подбор их состава на основе технических требований к конструкции заряда.

В качестве одной из первоочередных была поставлена и задача создания лаборатории деформации взрывом. В ее функции входило изучение состояния вещества, деформируемого взрывом. Далее предполагалось ввести в эксплуатацию лаборатории эффективности взрыва, контроля качества урана, а также лабораторию здравоохранения, испытательные полигоны, опытные заводы и службы, обеспечивающие необходимые условия для исследований и экспериментов. Так выглядели наметки будущего ядерного центра до выхода официальных государственных решений о его создании. Следующим по хронологии документом был проект постановления Совета Министров СССР "О плане развертывания работ КБ-11 при Лаборатории №2 АН СССР". Подпись под ним та же, что и в первом случае, - Ванникова. И адресат тот же - Берия.

Кстати, анализ архивных материалов показывает, что проекты важнейших решений по атомной программе, подготавливавшиеся ведомством Ванникова, как правило, практически без изменений утверждались правительством или лично Сталиным как официальные документы общегосударственного характера. Но даже в самые продуманные планы жизнь всегда вносит свои коррективы...

Хотелось бы отметить некоторые особенности начатой работы. Во-первых, стремились как можно полнее воплотить технические решения, информация о которых была получена разведывательным путем. Отступления от американской схемы практически не допускались. Почему? Не было уверенности в себе? Нет. Просто было очевидно, что реализовать отечественный Атомный проект в кратчайшие сроки можно путем максимального приближения к американскому варианту, который уже был успешно опробован. Хотя с самых первых шагов стало ясно, что технические решения, использованные в нем, не являются наилучшими. Наши специалисты к этому времени располагали более оптимальными вариантами конструкции и заряда в целом, и его отдельных частей. Но необходимость исключить вероятность неудачи заставляла на время пренебречь этим. Получить действующую бомбу уже к первому ее испытанию - таково было требование высшего руководства страны. И руководители КБ-11 были согласны с ним. Во-вторых, не мудрствуя с первым атомным зарядом, руководство отечественного Атомного проекта с самого начала работ стремилось к решению не только этой - тактической - задачи, но и к созданию основы для решения задачи стратегической - всестороннего усовершенствования первого образца атомной бомбы и создания новых ее модификаций, в которых можно было реализовать собственные находки и наработки. Для осуществления задуманного необходимо было развивать фундаментальную науку в нарождавшемся ядерном центре - КБ-11, а также обеспечить своевременную передачу работ московских и иных организаций в КБ-11 с целью их концентрации и координации. Сделать сразу это было трудно в силу объективных причин, так как ядерный центр еще не встал на ноги, и не мог взять на себя весь объем работы. С учетом этого Совет Министров обязал все привлеченные к Атомному проекту органи-

зации и предприятия выполнять заказы КБ-11 в первоочередном порядке. Данное указание выполнялось безусловно, но трудности тем не менее были.

В апреле 1946 года КБ-47 МСХМ получило от своего министра Б. Л. Ванникова задание на разработку корпуса бомбы. Сроки, установленные министром для его выполнения, были очень жесткие. Выход на летные баллистические испытания намечался на август 1946 года. Изготовление корпусов по чертежам КБ-47 поручалось заводу N48 МСХМ.

В конце этого же года началась проработка вопроса о самолете-носителе. В декабре Министерство авиационной промышленности получило задание, подписанное Ю. Б. Харитоновым. Оно предусматривало разработку системы подвески фугасной авиационной бомбы конструкции ГСКБ-47 внутри люка самолета, исходя из диаметра "объекта" в 1,5 метра и длины 3350 сантиметров, а также внешней подвески, которая должна была быть рассчитанной на диаметр бомбы такого же размера, но длиной 4,5 метра. На основании этого задания МАП было предписано разработать конструкцию самолета с удлиненным люком на базе имевшегося самолета Б-4. Дело вроде бы оставалось за немногим - выполнить предписанное. Но министр авиационной промышленности М. В. Хруничев сразу направил в ПГУ письмо, в котором наотрез отказался брать на себя ответственность за выполнение задания. Мотивировка была такой: удлинение люка самолета Б-4 невозможно, так как потребуются полная перекомпоновка самолета, то есть создание фактически новой его конструкции. А это нереально было сделать в предложенные сроки. В не менее сложной ситуации оказался и коллектив КБ N47.

До 1946 года систематических работ по определению аэродинамических характеристик авиабомб у нас в стране не проводилось... В этих трудных условиях руководители КБ-47 нашли выход. Чертежи корпусов были переданы, как и предусматривалось планом работ, заводу N48, перешедшему к этому времени в ведение ПГУ. Здесь предстояло к сентябрю этого же года изготовить в соответствии с полученными чертежами десять корпусов для каждого из вариантов авиабомбы. Ситуация с разработкой корпуса бомбы стала первым обстоятельством, подтолкнувшим к выводу, что существует настоятельная потребность концентрации в КБ-11 не только основного объема теоретических и экспериментальных работ в области ядерной физики, но и большого объема всех других видов работ, связанных с конструкторским, технико-технологическим и производственным обеспечением реализации всей атомной программы. Можно привести целый ряд эпизодов такого же рода.

Вот такая обстановка сложилась, к примеру, с разработкой приборов системы автоматики бомбы в ОКБ-700 Кировского завода в Челябинске. Коллектив этого КБ, работавшего на оборону, в выполнении поставленной перед ним задачи разработки ПД (приемников давления) опирался на стандартные решения, традиционные для самолетостроения, где не существовало особых ограничений на габариты подобных приборов. Взаимодействие разработчика - ОКБ-700 и заказчика - КБ-11 шло непросто. В конце мая - начале июня 1948 года сотрудники ядерного центра Турбинер, Маслов и Хаймович направляют доклад Харитону и Зернову в котором говорилось, что ими выявлена фактическая неспособность ОКБ-700 решить указанную задачу с выполнением всех технических, достаточно разнообразных, требований. К этому времени в распоряжении разработчиков атомной бомбы имелось два варианта конструкции ПД. Одна была предложена уральцами, другая создавалась параллельно - в КБ-11. Причем в основу конструкций были заложены разные принципы. Вопрос стоял так - какая из двух лучше, какую ставить на "изделие 501" (первый образец атомной бомбы)?

Ответ Каплана был такой: мы рекомендовать какой-то приемник для серийного производства не можем. Отсутствие четкой технической позиции стоило Каплану должности.

Опыт многому научил КБ-11, а неудачи и ошибки не только помогали оптимально

использовать потенциал других организаций, но и приучали брать основной удар на себя... Здесь уместно охарактеризовать конечный результат этого процесса "стягивания" в КБ-11.

Готовая бомба РСД-1 включала в себя две группы комплектующих узлов и приборов. Первая представляла собой баллистический корпус с установленными в нем заводом-изготовителем узлами. Вторая - узлы, хранившиеся и транспортировавшиеся отдельно от корпуса. Их установку производили на полигоне. Судя по наименованиям узлов, блоков, систем первой группы, предприятием-разработчиком всех их являлось КБ-11, а среди предприятий-изготовителей были заводы, преимущественно номерные, например, N48, N794, а также завод "Большевик".

Во второй группе узлов только два блока из шести разрабатывались вне ядерного центра. Три узла изготавливались во внешних организациях (завод N25 МАП, ОКБ-700, завод N326). Остальные же создавались в КБ-11.

Уже это перечисление дает представление о той роли, которую сыграло КБ-11 в осуществлении Атомного проекта. Что касается способов реализации отечественной атомной программы, то этим она мало отличалась от американской или английской. Фактически эти способы одинаковы: собрать со всей страны (для США - практически со всего мира) максимально богатый интеллектуальный научный потенциал, проверить всех привлеченных на "благонадежность" с учетом государственной важности работ, создать приемлемые условия для соответствующей деятельности, обеспечить финансово-материальную сторону работ и обеспечивать решение возникающих проблем с помощью специально созданных звеньев государственного управления. В этом перечне важнейшей для всех стран задачей был подбор и использование кадров.

Работа по подбору кадров началась еще до принятия решений о создании ядерного центра. Но масштабность она приобрела летом 1946 года. 26 июня начальник ПГУ Б. Л. Ванников подписал приказ N1286-525, в котором регламентировались и конкретизировались основные направления выполнения известного постановления Совета Министров СССР о создании ядерного центра. По этому приказу начальник отдела кадров ПГУ совместно с П. М. Зерновым обязывались в месячный срок подобрать для КБ-11 необходимые для его укомплектования кадры.

В обширной пояснительной записке "О кадрах, необходимых для развертывания научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в КБ-11" были перечислены тринадцать основных тем, под которые предстояло подобрать конкретных специалистов.

Представители госбезопасности начали проверку "годности" ведущих специалистов исследовательских учреждений, вузов, оборонных предприятий и организаций к возможной работе в ядерном центре. Уровень организации, оперативности и достоверности этой деятельности был, несомненно, высок.

Некоторые специалисты все-таки не прошли сито проверки и остались за бортом. В архиве ВНИИЭФ есть немало документов, содержащих списки работников, затребованных или рекомендованных Харитоновым. Но в дальнейшем они на объект так и не попали. Может быть, для этого имелись и другие причины. Однако вполне вероятно и вмешательство спецслужб...

Однако "твердолобость" госбезопасности в большинстве случаев имела свои границы. Если тот или иной специалист был крайне нужен для дела, то по отношению к нему проявлялся либерализм. И, несмотря на недоверие со стороны работников бериевского ведомства, он продолжал благополучно работать. Ю. Б. Харитон не раз в этой связи вспоминал ситуацию с Л. В. Альтшулером. Последний не скрывал своих симпатий к генетике и антипатий к Лысенко. Такая самостоятельность суждений в вопросах, не касавшихся атомной бомбы, в те времена, мягко говоря, не поощрялась. Служба безопасности решила удалить строптивого специалиста с объекта. Л. В. Альтшулер рассказывает, что как-то вечером Юлий Борисович позвонил ему домой и посоветовал наутро не выходить на работу под

предлогом болезни. Это была не самая спокойная ночь для предупрежденного. Два дня вынужденного отдыха... Но разговор Харитона с Берией спас Альтшулера. Разговор был коротким. Всемогуший куратор атомного проекта ограничился одним вопросом: "Он вам очень нужен?". Получив утвердительный ответ Харитона, Берия сказал: "Ну ладно!" - и повесил трубку. Инцидент был исчерпан. Так что определенная дифференциация в подходах к работникам существовала. Все понимали это прекрасно и в то время. Профессиональный разброс специалистов, набравшихся на объект, был очень широк. В определении перечня необходимых специальностей исходили из конструкции самой бомбы и составляющих ее частей, а также теоретических аспектов всех тех процессов, которые протекают при ядерном взрыве. Порядок оформления и набора кадров был таким. Из КБ-11 выдавался "заказ". Под него подбирались специалисты, которые затем проходили всестороннюю проверку в органах госбезопасности. Окончательные списки с краткими биографическими данными готовились отделами Министерства безопасности по запросам ПГУ, нередко после бесед с тем или иным руководителем КБ-11 или представителем Первого Главного управления. Отобранные кандидаты утверждались. При успешном прохождении проверки окончательная формулировка часто была такой: "Направляется на спецработу по решению ЦК ВКП(б)". Было ли такое решение? Да, спецнабор в ядерный центр проходил согласно постановлению Секретариата ЦК ВКП(б) (протокол №268 от 16 июля 1946 года). Это постановление обязывало наряду с мобилизацией действующих специалистов из различных ведомств, предприятий, научно-исследовательских и конструкторских институтов и Министерства высшего образования направлять по определенному списку молодых специалистов на объект.

Набору молодых сотрудников в ядерный центр уделялось особое внимание центральных кадровых служб, прежде всего Первого Главного управления... Пути, которыми специалисты приходили в КБ-11, были разными. Кроме широкомасштабных мобилизаций, действовала система персонального прикомандирования на объект ведущих научных сотрудников из исследовательских центров...

24 декабря 1946 года директор КБ-11 П. М. Зернов направил директору НИИ-6 МСХМ А. П. Закощикову письмо, в котором просил откомандировать на ядерный объект его сотрудников "на срок до особого указания". Подобные командировки были мало похожи на таковые в общепринятом смысле из-за своей длительности. Прикомандированные к КБ-11 таким образом специалисты становились фактически его сотрудниками, получая здесь полное материальное и денежное обеспечение. Подобным путем на объект попали Е.М. Адашкин, М.Я. Васильев, Н.А. Терлецкий, А.Д. Захаренков и многие другие. Научные секторы...

В марте 1948 года на базе созданных лабораторий, теоретического отдела и полигонов был образован научно-исследовательский сектор (НИС), начальником которого был назначен первый заместитель главного конструктора К. И. Щелкин, а его заместителем - В.К. Боболев. В начале следующего года НИС стал называться сектором N20...

Одновременно с НИС был сформирован НКС (научно-конструкторский сектор. Он вобрал в себя все конструкторские группы и подразделения. До июня 1948 года руководителем НКС был В. А. Турбинер, первыми начальниками отделов - Н. Г. Маслов, Н. А. Терлецкий, С. Г. Кочарянц, С.И. Карпов.

В августе этого же, 1948-го, прошла новая реорганизация конструкторской части КБ-11. На базе НКС было создано два сектора. НКС-1 возглавил генерал-майор, Герой Социалистического Труда, главный конструктор танков с челябинского Кировского завода Н. Л. Духов.

Руководителем НКС-2 стал капитан 1-го ранга В. И. Алферов, до этого бывший директором торпедного завода на Каспии. Сотрудники второго конструкторского сектора занимались проблемами электрического инициирования заряда и электрического оборудования бомбы в целом. С самого начала факт разделения НКС на

два сектора не особенно отразился на существе деятельности.

Исследовательские и конструкторские работы по созданию приборов системы автоматики РДС-1 (кстати, по этой части разведывательная информация отсутствовала полностью) велись в едином ключе, связь между сотрудниками секторов была тесной и взаимопроникающей. По мере увеличения объема опытно-конструкторских разработок отделы обоих НКС разрастались. Но одновременно вычленилось то общее, на что были нацелены конструкторы и исследователи. Через два года было принято решение вновь слить два основных конструкторско-исследовательских подразделения НКС-1 и НКС-2 создать единый сектор №5. Во главе коллектива стал Н.Л. Духов, а В. И. Алферов перешел на конструирование становящегося на ноги серийного производства. В секторе №5 насчитывалось 11 отделов.

Отдел Н. Г. Маслова (М. К. Трусков, И. В. Богословский, Н. В. Колесников, М. В. Владимиров, И. А. Хаймович) занимался разработкой баллистического корпуса бомбы.

Специалисты отдела Н. А. Терлецкого (В. Ф. Гречишников, Д. А. Фишман, А. И. Абрамов, П. А. Есин, Г. И. Матвеев) отвечали за разработку самого заряда.

Система автоматики бомбы стала основной заботой сотрудников, работавших под началом С. Г. Кочарянца (И. В. Алексеев, В. А. Профе, А.И. Янов, В. Н. Шахавев, В. А. Родионов, М. А. Сафонов, А. И. Иванов, О. П. Романов).

Отдел В. С. Комелькова (ведущие специалисты - Д. А. Голованов, С. И. Борисов, А. С. Козырев, С. А. Хромов, В. К. Травкин, Е. В. Вагин, В. В. Борисенков, А. Ф. Дымов, Г. Г. Утенков) работал над системой электрического инициирования заряда.

Электродетонаторам посвятили все свое время и умение сотрудники отдела И. П. Сухова - М. М. Пузырев, И. П. Колесов, В. И. Кирсанов, А. П. Зотиков, С. П. Егоров, Ф. И. Дорошенко.

Отделы А. П. Павлова, С. И. Карпова, Д. М. Урлина, С. С. Чугунова, Н. С. Баркова, В. Г. Алексеева занимались разработкой контрольно-стендовой аппаратуры для системы автоматики, радиоконтрольной аппаратуры, проработкой принципиальной схемы автоматики бомбы, нормоконтролем.

Значительную роль в создании первой атомной бомбы и, естественно, последующих модификаций ядерного оружия, принадлежала коллективам опытных заводов КБ-11. Заводов в Арзамасе-16 было два. Если коротко характеризовать их вклад в осуществление атомного проекта, то следует сказать, что они обеспечили базу научных исследований и конструкторских разработок. Здесь были изготовлены первые опытные образцы отечественной атомной бомбы, осуществлялась подготовка к испытаниям.

Примерно в конце 1947 года стало ясно, что сроки создания атомной бомбы, обозначенные в постановлении Совета Министров СССР от 21 июня 1946 года, не будут выдержаны. Вряд ли есть основания обвинять авторов постановления в недальновидности. Мировая ситуация была такой, что стремление сделать бомбу как можно быстрее понятно и объяснимо. Нельзя не учитывать и того, что руководство проекта располагало данными разведки и верно расценивало их как весомую прибавку к собственным всесторонним усилиям. Эта "прибавка" дала понимание того, что надо сделать. Однако на вопрос, как это сделать, ответы пришлось искать самостоятельно. И это "как" было связано с решением принципиально новых задач. Нельзя не принимать в расчет и еще два серьезных обстоятельства.

Одно из них - объективные финансово-экономические и материально-технические трудности, естественные для послевоенной страны. Именно из-за них в значительной мере первый год строительства ядерного центра не был успешным с точки зрения выполнения намеченного плана работ. В течение следующего года многое удалось наверстать, однако общий ход реализации атомной программы уже претерпел сбой.

Второе обстоятельство было связано с тем, что для всех без исключения уча-

стников программы, на уровне, как руководства, так и исполнительского звена, еще не стал очевидным тот объем работ, который необходимо было выполнить. И осознание этого объема работ, надо отдать должное, было воспринято в высших эшелонах власти спокойно. В январе 1948 года руководители ПГУ и КБ-11 (Курчатов, Первухин, Завенягин, Харитон, Александров, Зернов) обратились в Совет Министров с предложением уточнить сроки завершения различных этапов разработки первого атомного заряда. Объяснение необходимости их пересмотра было простым и убедительным – масштабы деятельности оказались намного значительнее тех, которые представлялись в момент принятия постановления в июне 46-го года. За этим последовала подготовка проекта постановления Совета Министров СССР, которое вышло в окончательном варианте 8 февраля 1948 года за номером 234-98. В соответствии с этим постановлением КБ-11 (Харитон и Зернов) предписывалось изготовить и представить на государственные испытания к 1 марта 1949 года один комплект РДС-1 с полным снаряжением, а также изготовить и предъявить на госиспытания к 1 декабря 1949 года один комплект РДС-2 с полным снаряжением. ПГУ при Совете Министров СССР (Ванников) и комбинат N817 (научный руководитель Курчатов) отвечали за изготовление по техническим условиям КБ-11 деталей из плутония к 1 января 1949 года, а также деталей из урана-235 и поставку их в КБ-11 к 1 апреля 1949 года.

Ядерный центр должен был провести необходимые научно-исследовательские работы с непосредственным участием теоретиков из Института химической физики АН СССР, изготовить РДС-1, а затем и РДС-2. В дальнейшем данное постановление было уточнено, а работы четко регламентированы, в частности, письмом за подписью Зернова, Харитона, Щелкина и Духова главе Спецкомитета Берии в апреле 1949 года.

Несмотря на все сложности хода осуществления проекта, уже в конце 1947 года началось обсуждение вопроса о выборе места для строительства серийного завода по производству атомного оружия. Вначале П. М. Зернов сообщает Л. П. Берии о варианте создать атомно-оружейное производство на базе завода N253 ПГУ. Этот завод подчинялся ПГУ и находился в городе Муроме, то есть территориально не очень далеко от ядерного центра. Но возобладала иная точка зрения. 26 октября 1948 года Б. Л. Ванников направляет П. М. Зернову письмо под грифом чрезвычайной секретности, в котором обосновывает целесообразность развертывания серийного производства ядерного оружия на территории КБ-11. Вопрос о строительстве серийного завода был обсужден руководителями Атомного проекта в Москве в декабре 1948 года. Были одобрены соответствующие мероприятия и направлены на утверждение в Спецкомитет и правительство. 3 марта 1949 года вышло постановление Совета Министров СССР, наметившее конкретный план работ по строительству завода. Интересно, что условно он именовался "ремонтным цехом" объекта N550.

Примерно тогда же само Первое Главное управление обрело свое первое открытое название – Главгорстрой СССР. КБ-11, соответственно, было названо Приволжской конторой Главгорстроя СССР. Ну а первый серийный завод стал просто "ремонтным цехом" в этой "конторе". Таким образом, факты свидетельствуют, что решение текущих сложных задач не заслоняло перспективу в деле создания ядерного оружейного комплекса страны. В течение двух последних из сороковых годов в этом направлении были сделаны существенные шаги. Но главное достижение этого периода – практическая реализация первоочередной цели атомного проекта – создание РДС-1...

#### Семипалатинский полигон

Вопрос о строительстве специального полигона для испытания атомных бомб, а

также с целью "исследовать поражающее действие изделия на живой организм на примере различных подопытных животных" был рассмотрен Спецкомитетом при СМ СССР 11 ноября 1946 года. А.П. Завенягин - один из авторов соответствующего проекта Постановления Совмина СССР (принято 14 ноября 1946 года, №2493-1045). ПГУ поручено представить к 1 декабря 1946 года предложения о месте и сроках сооружения полигона, кандидатуре его начальника и мерах обеспечения строительства. 31 мая 1947 года Спецкомитет предварительно рассмотрел, а затем Совет Министров СССР принял постановление соорудить Горную станцию (так именовался спецполигон для испытания ядерного оружия) на площадке N1 в районе р. Иртыш, в 170 км западнее г. Семипалатинска. А.П. Завенягин - среди тех, кто готовил правительственную директиву. Тогда же, 31 мая и 19 июня, соответственно утверждается программа испытаний на объекте N905 (Горная станция), представленная комиссией в составе Первухина, Завенягина, Курчатова, Семёнова, Харитона, Штеменко, Воронова, Вершинина, Воробьёва и ряда других.

За два года полигон полностью обустроили. Как вспоминает Б.В. Брохович, "Завенягин принимал в его строительстве активное участие: подчинённые ему воинские части построили все основные сооружения".

По рекомендации Н. Н. Семёнова М. А. Садовский был назначен научным руководителем полигона. На него возлагались разработка "оперативного плана подготовки полигона к испытаниям" и авторский надзор за строительством опытного поля.



Семипалатинский полигон.

В целях реализации указанного плана Михаил Александрович приступил к формированию кадрового состава полигона. При проведении испытаний первого ядерного заряда руководителем испытаний был назначен И. В. Курчатов, а научным руководителем физических измерений - М. А. Садовский. За руководство разработкой новейших приборов и методики измерения атомного взрыва ему было присвоено

звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали "Серп и Молот", одновременно ему было присвоено звание лауреата Сталинской премии I степени.

## ПОСЛЕДНИЙ ВИТОК

Бомбы, люди,  
самолеты

Генерал П. М. Зернов - первый директор атомного объекта, в будущем замминистра среднего машиностроения, в кругу коллег говорил в начале работ над атомной бомбой:

- Мы тратим миллионы рублей на этом деле! А сколько еще предстоит потратить? И мы не знаем, что все это нам даст.

Будут ли оправданы расходы? Верны ли наши предположения? Кто даст гарантию, что мы идем по верному пути? Велика ответственность перед государством, и в случае неудачи велик может быть и спрос.

В послевоенные нищие годы государство тратило огромные ресурсы на осуществление задачи создания советского атомного оружия. Разработчикам программы Сталин не отказывал ни в чем, наделив их огромными полномочиями и возможностями. В стране не было отрасли, в которой широко не раскрывались бы двери после слов: "Надо Минсредмашу", "Минсредмаш просит". Все больше тех, кто работал на заданную Сталиным программу, охватывало естественное беспокойство за успех, сомнение в результате.

Но все причастные к проблеме неудержимо продолжали начатое. Другого не было дано. В середине победного лета 1945 года И. В. Курчатов пригласил к себе начальника СКТБ Московского авиационного завода НКАП N165, в который входили технический и конструкторский отделы и где имелся опытный цех Виктора Александровича Турбинера. На него пал выбор возглавить конструкторский коллектив, которому было суждено материализовать идею физиков под руководством Ю. Б. Харитона. Курчатов сказал:

- Вам будет предложена интересная инженерная задача. Вы - конструктор, думаю, что с задачей справитесь. Представьте предложения, как бы вы организовали разработку конструкции объекта, отвечающего заданным требованиям. На это дается два дня. Ждем ваших соображений. Действуйте. Пожав руки, они расстались. Турбинер вспоминал: "Из весьма туманных и необычных слов Курчатова И. В. и Харитона Ю. Б. я, конечно, понял, о чем речь идет - о создании отечественного атомного устройства или бомбы, калибр которой должен быть по возможности минимальным, так как это напрямую будет влиять на мощность. Ограничения по калибру вместе с тем были связаны только с размерами бомболюка самолета.

Поэтому после этого разговора я стал частным порядком интересоваться размерами бомболюков известных бомбардировщиков, приспособленных под обыкновенные авиабомбы военных лет. Ими оказались ФАБ-500, ФАБ-1000 и т.п. В частности, максимальный калибр известных бомб под бомболюк (ТУ-4) и был взят за основу всех последующих конструкторских расчетов.

В дальнейшем, при обсуждении с П. М. Зерновым организационных вопросов, он нередко говорил мне, чтобы я не слепо слушал Ю. Б. Харитона, а действовал, руководствуясь инженерным опытом и здравым смыслом. Не забывая при этом о высокой ответственности за сделанное. Я, признаться, не испытывал чувства страха или беспокойства за результат, так как имел уже значительный многосторонний опыт конструктора и испытателя. Мои выкладки понравились Курчатову.

- Я согласен работать с вами. Считайте, что вы победитель конкурса. Мы предложили дать аналогичные предложения и другим специалистам. Вы на постав-

ленные вопросы ответили лучшим образом. Желаю успеха и в дальнейшем. С другими участниками работ я вас познакомлю позже. О будущих работах и порядке взаимодействия договоритесь с Харитоновым, - сказал на прощание И. В. Курчатов".

О наименовании атомной бомбы РДС ходило такое толкование. Однажды Сталин поинтересовался:

- А как вы назовете будущее изделие?

- А Щелкин уже назвал, - опережая присутствующих, - ответил Берия,

- РДС - "Россия делает сама".

- Хорошо, - пыхнул трубкой генералиссимус, медленно двигаясь по ковровой дорожке. В дальнейшем такое обозначение носили несколько десятков изделий - ядерного оружия. Среди них были этапные изделия РДС-3 "Тройка" - с новым способом инициирования, который существенно повысил экономичность и КПД изделий этого класса. РДС-4 "Татьяна" - массовое изделие. РДС-19 - в основном для торпед и малых самолетов-снарядов.

Самым маленьким было РДС-6 "Шестерка" - первая водородная бомба, испытанная уже после смерти Сталина. Последнее изделие имело обозначение РДС-37."

"Сороковка", положила начало принципиально новым ядерным зарядам, используемым в носителях перспективных ракетных систем. Это примерно 1955 год. Далее в силу вступила новая система чертежного хозяйства, в которой предусматривались уже другие обозначения, разделившие экспериментальные и серийные образцы, а также и типы носителей. Много позже система конструкторской документации изменялась не раз и стала относительно обезличенной. Любопытно, что даже через сорок лет академик А. Д. Сахаров, услышав упоминания о "Шестерке", "Сороковке" - изделиях, которыми он сам когда-то занимался, в ужасе воскликнул: - Вы так просто упомянули названия изделий, которые раньше произносились шепотом! Я так не могу. Нет! Давайте без цифр.

Часто участники атомной эпопеи в разговоре между собой широко применяли условные обозначения, понятные только им самим. Так, например, основной заряд называли "изделие" или "мотор". Заряд из активных материалов - "поршень" или "роза", предприятие - "объект". А сами заряды назывались условно: "Шестерка", "Сороковка" и т. д., как уже говорилось выше. Американские специалисты тоже пользовались своими условными обозначениями, например, называя заряд "приспособлением" или "штучкой", чаще "беби".

Условные обозначения существовали и в отношении руководителей разного ранга. Так, в разговоре между сослуживцами Харитона называли по инициалам Ю. Б. Некоторых других руководителей тоже: Н. А. Терлецкого - Тер, В. Ф. Гречишников - Греча, Н. Л. Духова - Дух. Были и шуточные прозвища. Например, руководителя аэродинамиков и баллистиков Василия Петровича Николаева называли Василий Спиртович, И. В. Курчатова - Борода и т. д.

...После того как Курчатов остановил внимание на Турбинере, Ю. Б. Харитон чуть определеннее объяснил ему, что "речь идет о ядерном реакторе сферической формы. И эта штука будет перевозиться самолетом".

"Я понял, о чем идет речь, речь идет об атомной бомбе, хотя слово "бомба" не произносилось, - вспоминает Турбинер. - Как и многим советским специалистам, мне на глаза попадался журнал "Америка", предназначенный для чтения в СССР. Там среди красочных фотографий были и изображения черно-белого ядерного гриба, ставшего символом ядерного оружия.

- Сколько нам отпущено времени? - спросил я.

- Нам дали всего пять лет. В это время мы обязаны уложиться, - ответил Ю. Б. Харитон....Во второй половине 1945 года я все еще работал на своем предприятии. По взаимной договоренности мы продолжали работать на прежних рабо-

тах, не допуская, естественно, никаких разговоров по новому делу с посторонними лицами. Ю. Б. мне говорил не раз, что пока мы организационно не оформлены, но это впереди. А пока будем работать, где работали. Я ничего и ни у кого никогда не спрашивал, ощущая особую секретность работ, но постоянно думал, как лучше решить поставленную задачу.

Никакого "технического задания" Ю. Б. мне не давал, не делалось и особых пояснений. Вместе с тем я получил разрешение познакомиться с материалами, как создаются и проектируются авиабомбы. Для меня здесь было много нового. Много, касающееся новой разработки, скапливалось и оседало в голове. Я осознавал себя ведущим разработчиком, хотя был единственным конструктором. Тогда мне по проектным и инженерным вопросам советоваться было просто не с кем, настолько все это было секретно. И в дальнейшем конструкцию атомной бомбы показывали считанным лицам и специалистам. В мой кабинет на Рязанке в Москве, когда уже произошли первые организационные мероприятия, никто не имел права войти, исключая нескольких руководителей. Я делал общую конструкторскую компоновку первой советской атомной бомбы. Чуть позже меня познакомили с П. М. Зерновым, тогда еще зам. министра транспортного машиностроения. Ему было поручено возглавить руководство объектом, то есть всем предприятием. Это был "советский Гроувз"<sup>1</sup>. Несколько позже Ю. Б. познакомил меня с Терлецким, Яковлевым, Костинным и другими, кому предстояло работать по разным направлениям конструкторских работ. Эти товарищи первыми начали разработку конструкции заряда, и мне пришлось поручать им конкретные конструкторские задания".

Научные исследования важнейших вопросов газодинамики вел доктор наук Е. К. Завойский, талантливый человек, окончивший в свое время Казанский университет.

В. А. Цукерман и Л. Д. Альтшулер приступили к работе несколько позже и занялись регистрацией быстропротекающих процессов..." Речь шла не только об атомном заряде, но и об изделии - ядерной бомбе в целом. Изделие было построено по блочному - агрегатному - принципу, который давал возможность отстыковывать и демонтировать отдельные узлы, например, автоматику, изготавливать отдельные целевые законченные узлы-блоки.

Конструкция была по инженерному изящной, удобной в эксплуатации и технологичной в изготовлении. Проект и конструкцию бомбы Турбинер в силу установленного режима секретности делал один. Привлеченные к работе Н. А. Терлецкий, М. Я. Яковлев и Н. В. Маслов занимались отдельными частями и общей компоновочной схемы изделия не знали.

"В мае 1946 года Ю. Б. и Зернов объявили мне, что едут показывать проект в Кремль. После представления проекта я спросил у Ю. Б.:

- Были ли замечания?

- Нет, - был ответ, - замечаний не было. Все прошло нормально. Работы одобрены.

Для дальнейших дел все, что требовалось, Ю. Б. заказывал у Зернова, и заказанное немедленно доставлялось мне. Зернов, в свою очередь, сказал:

- Ведите дело так, как вы ведете. Скоро выйдет постановление ЦК КПСС и СМ СССР, и мы зачислим в новый коллектив вас и других, необходимых для разработки специалистов".

Действительно, 27 июня 1946 года вышло долгожданное постановление правительства. А еще через месяц, 25 июля, оно было отправлено в Совет Министров СССР для представления Сталину. На основании постановления приказом по предприятию от 1.08.46 г. Турбинер был зачислен в штат КБ-11 начальником научно-

---

<sup>1</sup> Лесли Ричард Гровс (англ. Leslie Richard Groves; 1896—1970) — генерал-лейтенант армии США, в 1942—1947 — военный руководитель программы по созданию ядерного оружия (Манхэттенский проект).

конструкторского сектора и освобожден от прежней работы на авиазаводе в Москве."

...В конце 1947 года, уже на объекте - опытном заводе в Арзамасе-16 - был изготовлен макет атомной бомбы в масштабе 1/5, в металле, который представлял изделие в реальных цветах, - вспоминает Турбинер.

- Этот макет в металле предназначался для показа Сталину... Расчеты мы вели, опираясь на сложившиеся общинженерные методы, но уже просматривалась необходимость новых подходов, приемов и методов получения необходимых решений. Ведь впервые в конструкцию ложились материалы с неизученными свойствами и непрогнозируемым поведением. Было совсем неясно, как поведут себя уже известные материалы в сочетании с радиоактивными и т. п. Вопросов было множество. Задач - огромное количество. Для их решения стали подбрасывать кадры, постепенно стал организационно оформляться наш конструкторский коллектив. Терлецкий стал начальником отдела заряда и его частей, Маслов - руководителем отдела компоновки и общих видов.

У Зернова помощником по снабжению был Костаньян, который, похоже, и содействовал привлечению к разработкам Кочарянца, которого позднее, после моего ухода, назначили заместителем Духова.

Несколько позже к работам был привлечен В. А. Зуевский в качестве начальника лаборатории автоматики. Все перечисленные лица, за единичным исключением, в будущем стали главными конструкторами отрасли".

В январе 1947 года начальник предприятия, которое получило название КБ-11, Зернов, Харитон - научный руководитель этого КБ, и Турбинер выехали из Москвы к месту нахождения "объекта". Это был завтрашний Арзамас-16. "Хозяином" закрытого городка (в прошлом Саровская обитель, очень почитаемая в России) стал Зернов. "Советский Гроувз" стоил своего заокеанского коллеги, был значительной личностью.

Однажды Берия его вызвал на Лубянку в свой огромный кабинет окнами на площадь, незадолго до взрыва, для очередного нагоняя. Тогда работала комиссия по оценке деятельности команды Зернова, и, по предложениям комиссии, ожидался отрицательный, неудачный результат разработки изделия. Берия обвинил Зернова в попустительстве ученым и конструкторам, которые в итоге срывают важнейшее задание партии и правительства и лично товарища Сталина умышленной затяжкой работы. Распалаясь, Берия затопал ногами. Слушая его, Зернов все более багровел. Он-то знал, как напряженно, порой сутками работали люди на объекте. Не сдержавшись, в конце концов, Зернов схватил со стола Берии тяжелое пресс-папье и замахнулся на крикуна. Моментально на пороге кабинета выросли два телохранителя, вызванные Берией секретной кнопкой, и молча шагнули к Зернову. Через мгновение, уже остыв от своей несдержанности, Берия махнул рукой своим подручным: - Идите пока, - и зловеще добавил: - Подождем результата испытаний...

Зловещий намек Берии в разговоре с Зерновым не был пустыми словами. Академик Л. А. Арцимович рассказывал близким, как не раз слышал от Берии:

- С атомщиками мы еще разделаемся. Но пока они нам нужны.

Профессор В. Я. Френкель рассказывает об атомной бомбе в статье "Читая письма о науке...": "...Когда ее испытания были успешно завершены, встал вопрос о наградах ученым. Этим тоже ведал Берия. Рассматривалась кандидатура одного из участников работ. Ему предлагали присвоить звание Героя Социалистического Труда. У Берии эта кандидатура поддержки не получила. Обращаясь к своему помощнику, он спросил:

- Посмотри, что там ему было записано в случае неудачи? Расстрел?

- Нет, товарищ Берия, не расстрел.

- Ну, раз не расстрел, то и ордена Ленина ему хватит.

В случае неудачи наказание также предусматривалось по заслугам. Первым в списке - расстрел. Такой была обстановка. Возможно, описанный случай и привел к тому, что П. М. Зернов, так много сделавший для организации дела, не получил никакой награды за первый атомный эксперимент в августе 1949 года. Вспоминает В. И. Жучихин, тогда инженер-исследователь:

"Моим делом была отработка узлов и деталей из взрывчатого материала для основного атомного заряда. Дело было необычным, совершенно новым и сложным. Однажды я возился с напарником, как обычно, на рабочей площадке... Вдруг за спиной слышу скрип тормозов автомобиля. Оглянулся - от машины не спеша ко мне двигался лейтенант-кагебист в черной кожаной куртке.

- Вы - Жучихин? - спросил он, подойдя.
- Да, - отвечаю.
- Виктор Иванович? - уточняет.
- Он самый, - отвечаю.
- А в чем, собственно, дело? - уже спрашиваю я.
- Вас к генералу.

К Зернову, значит, думаю. Зачем я ему понадобился? Может, что не так? Грехов вроде нет. На машине генерала приехали. Ох, неспроста... У красного кирпичного здания администрации объекта остановились. По ковровой дорожке поднялись на второй этаж. В большом кабинете сидели генерал Зернов и уполномоченный Совета Министров СССР на объекте Павлов.

- Виктор Иванович, - обратился ко мне Зернов, - на ваше имя поступил пакет из Москвы, возьмите, это лично вам. Я, как в тумане, подошел к столу, взял пакет, холодея. Какие-то бумаги. Развернул. Читаю:

"Дорогой Виктор Иванович! Сердечно поздравляю Вас с высшей правительственной наградой - орденом Ленина и присуждением Вам Сталинской премии. С уважением, И. Сталин".

Я ошарашенно посмотрел на улыбающихся генералов и, не спросив разрешения, вышел, не чуя ног..."

Дамоклов меч жестокой кары за просчеты и недочеты, которые, разумеется, неизбежны в таком новом деле, каков был Урановый проект, висел над каждым его участником, от Бороды до слесаря. И этот дамоклов меч каждый из них чувствовал над своей головой. Мешало это? Разумеется. Но, как говорится, жизнь продолжалась, и подобная сверхнапряженная обстановка даже рождала своеобразный, черный юмор. К примеру, в одной из "баллад" первых атомщиков были такие строчки:

Мы едем, едем, едем  
В трепетную даль.  
Что нас там ожидает?  
Решетка или медаль?

Эта баллада - об испытании первой атомной бомбы. Как известно, обошлось "медалью". А могло бы...

К 1948 году в результате испытаний, проведенных в ЦАГИ, были сделаны обобщающие выводы относительно конструкции корпуса бомбы. Пришли к заключению, что требования к разрабатываемому "изделию" по его устойчивости должны быть более жесткими, чем к любым фугасным авиационным бомбам. Из ЦАГИ шла одна порция информации за другой. Поиск оптимальной конструкции корпуса РДС-1 продолжался. Потерпев неудачу с первым вариантом, подготовленным в 1947 году, с весны 1948 года провели серию новых испытаний. На заводе №1 КБ-11 создавали корпус бомбы с учетом всех тех замечаний, которые были получены в ходе испытаний и в результате аналитической работы по их итогам. К лету 1948 года вы-

шли на уровень полной "боевой готовности" к новой серии летных испытаний новых образцов корпусов. Они проходили на полигоне ВВС под Ногинском. И если в июне ученых преследовали неудачи (с набором высоты устойчивость испытываемых образцов падала), то уже в июле был достигнут успех - почти десятикилометровая высота не повлияла на "поведение" бомбы. Однако для надежности решили летные испытания продолжать. В августе 1947 года было принято специальное постановление о начале строительства полигона для испытаний "изделий" КБ-11 N71 (Багерово). Он размещался под Керчью и имел название "Багерово" - по имени соседнего поселка. Теперь аэродинамики ядерного объекта зачастили в южные края. Но работы было столько, что времени на созерцание красот юга не оставалось. Объемы исследований определялись необходимостью дальнейшего набора и систематизации огромного материала с целью оптимизации баллистических характеристик корпуса первой атомной.

При разработке в 1947-1951 годах системы автоматики первой отечественной атомной бомбы РДС-1 были заложены основные принципы построения этой системы, ориентированные на достижение, с одной стороны, высокой надежности, а с другой - безопасности. Они стали базой для проектирования систем автоматики атомных боеприпасов последующих поколений. Использование метода параллельных разработок при поиске оптимальной конструкции элементов и узлов автоматики первой атомной бомбы было характерно для НКС, так же, как и для НИС. Это ускоряло продвижение вперед, стимулировало творчество конструкторов, давало возможность на конечных этапах деятельности выбирать лучшие варианты. Но все варианты в ходе разработок доводились до завершения, с проведением всех необходимых расчетов. Для всех подсистем РДС-1 требовалось осмыслить и обосновать технические требования, создать мощную контрольно-стендовую аппаратуру и эксплуатационно-технологическую оснастку. Вся измерительная техника была существенно усовершенствована, обрела в итоге многие необходимые для отработки атомной бомбы специфические особенности. Значительная часть оборудования была создана заново. Взяв на вооружение опыт электротехнической, радиотехнической и авиационной промышленности, конструкторы КБ-11 сумели разработать принципиально новые узлы и устройства, обеспечившие требуемые технические характеристики. В конце 1940-х годов была, по существу, определена идеология контроля за работоспособностью системы автоматики с помощью стендовой аппаратуры, основные черты которой сохранились до настоящего времени. Все первые стенды и блоки аппаратуры были изготовлены опытным заводом №1 КБ-11. После двухразовой проверки системы автоматики РДС-1 в лабораторных условиях с сентября 1948 года начался период летных испытаний. По их итогам в КБ-11 был сверстан план мероприятий, направленных на то, чтобы к третьему этапу испытаний подойти с более высоким качеством изделий и приборов.

Заключительная стадия полигонных испытаний "изделия 501" на проверку надежности автоматики делилась на два подэтапа.

В конечном счете, было установлено, что система электрического инициирования и в полете, и на траектории бомбометания функционирует достаточно надежно. Не было серьезных претензий и к системе предохранения... В докладной записке в Спецкомитет от 1 апреля 1949 года "О ходе выполнения постановления Совета Министров СССР от 8.02.48 г." руководство КБ-11 доложило в Центр о завершении первого, второго и третьего этапов испытаний и поставило вопрос о необходимости осуществления государственных испытаний системы автоматики "изделия 501" с зарядом обычного взрывчатого вещества. В соответствии с намеченной программой испытаний предполагалось с высоты 10 километров сбросить в общей сложности пять образцов бомб с подрывом в воздухе. Из них четыре должны были сработать от датчиков критической высоты (два образца - от бародатчиков и два - от радиодатчика) на высоте 300-500 метров. А на одном из образцов предстояло проверить подрыв от контактно-взрывного устройства (КВУ) при ударе

о землю. Эта насыщенная программа была полностью выполнена, и на основании результатов государственных летных испытаний системы автоматики "изделия 501" в Спецкомитет было представлено заключение о надежности работы конструкции.

Главный узел атомной бомбы - ядерный заряд, включающий ряд составляющих элементов. Разработкой его конструкции в КБ-11 занимались Н. А. Терлецкий, В. Ф. Гречишников, П. А. Есин, И. А. Братухин, Д. А. Фишман. Их работа осуществлялась в тесном взаимодействии с деятельностью лабораторий научно-исследовательского сектора ядерного центра. Центральная металлическая часть заряда была разработана Д. А. Фишманом, Г. И. Матвеевым, Б. А. Юрьевым. В этой работе важны были не только "идеология" самого элемента, но и решение ряда сложнейших схемных, технологических и регламентных вопросов.

Необходимость заставила создать уникальную технологию сборки заряда и специальную оснастку, обеспечивавшую прецизионную (то есть высокоточную) сборку и контроль концентричности установки основного заряда. Все эти работы имели пионерский характер, и каждым из их участников был внесен большой индивидуальный вклад в общее дело. В числе узлов, входящих в комплект шарового заряда РДС-1, есть те, которые носят имя своих конструкторов. Имеется, например, так называемый "шар Духова". Он был предложен Николаем Леонидовичем на завершающей стадии отработки заряда с целью защиты нейтронного запала...

Живо и интересно в книге "Первая атомная" рассказал об этих работах и конкретных исполнителях инженер-исследователь лаборатории N5 Виктор Иванович Жучихин. Для примера, вот что он пишет о задачах, стоявших при отработке фокусирующих элементов: "Задача решалась последовательно в четыре этапа:

1. Подобрать оптимальные соотношения смеси... различных ВВ... обеспечивая при этом устойчивость детонации...

2. Выбрать технологию изготовления деталей из этой смеси для проведения опытов, затем, в зависимости от стабильности плотности получаемых деталей и стабильности скорости детонации, рекомендовать технологию производства.

3. Рассчитать и по экспериментальным данным скорректировать устройство фокусирующего элемента, обеспечивающего одновременность выхода детонационной волны на всю поверхность дна элемента.

4. Обеспечить синхронную работу всех элементов (вспомним, что их было 32) в совокупности для получения сферически симметричной детонационной волны по всей поверхности заряда ВВ".

И так по каждому узлу конструкции будущей атомной бомбы.

Появился талантливый конструктор-специалист по авиационным и танковым двигателям В. Ф. Гречишников. Планировалось в будущем назначить его начальником отдела зарядов. Работал он просто самозабвенно.

В. А. Цукерман рассказывал, что, когда собиралось первое изделие, возникли затруднения со сборкой многоэлементной конструкции. Тогда Греча втиснулся внутрь изделия и, упираясь ногами и руками в стенки корпуса, подогнал элементы заряда друг к другу.

"К ноябрю 1948 года практически все было готово, - вспоминает Турбинер. - Были найдены и проверены расчетно и экспериментально конструкторские и технологические решения, опробованы способы изготовления, подобрано оборудование и изготовлено необходимое оснащение. Появились кадры и приобретен новый опыт.

Вышли первые опытные реальные образцы узлов и деталей бомбы. Сделано главное. Уже ничто не могло бы остановить процесс создания первой советской атомной бомбы. В один из назначенных дней 1948 года в Кремле Курчатов, Харитон и Зернов демонстрировали Сталину заряд (никелированный шарик из плутония) для первой и единственной пока бомбы, выслушали пожелания Сталина сделать как можно скорее второй заряд.

...Первые числа ноября 1948 года. Во второй половине дня, незадолго до праздника у меня раздался телефонный ЗВОНОК: - Говорит Зернов. Виктор Александрович, прошу вас зайти ко мне. В его кабинете директора сидели двое - невысокий полноватый человек, рядом почти вдвое более высокий, с тяжелым взглядом.

- Прощу вас, проходите и знакомьтесь. Вот вам два начальника. Один по конструкции - Духов Николай Леонидович, - представил Зернов. - Другой по испытаниям - Алферов Владимир Иванович. Я подошел к Духову, он первый пожал мне руку. Крепким пожатием ответил мне и Алферов. Я понял, что вопрос о руководстве конструкторскими работами пересмотрен. Николай Леонидович сразу же предложил:

- Хотите быть моим заместителем? Я почти немедленно отказался... Духов сразу же погрузился. На какое-то время стало тихо. Еле слышно тикали в углу большие часы. Говорить было не о чем. Зернов шумно вздохнул. Я повернулся и, попрощавшись, вышел. В целом мне Духов понравился. Подвижный, любящий шутку человек. Организаторский и технический опыт в нем чувствовался. Но подавить чувство обиды в себе я не мог. Мне такой поворот событий показался совершенно несправедливым.

...Свою миссию я считал завершенной, попрощавшись с товарищами, уехал в Москву. Ю. Б. Харитон назначил меня на должность помощника главного конструктора (т. е. своим) по специальным вопросам".

Турбинер был официально уволен с "объекта" приказом по предприятию от 28.12.51 г. Духов после отказа Турбинера назначил своим заместителем Кочарянца, который после перевода в Москву занял его место. Так почему же заменили, казалось бы, ни в чем не провинившегося Турбинера? Будто бы на одном из совещаний с Курчатовым Сталин поинтересовался:

"Ну, с учеными ясно, кто чем занят. А кто у вас главный конструктор, без которого изделие не может быть создано?"

- "Виктор Александрович Турбинер".

- "А кто это такой? Что, у нас нет более известных специалистов? Я такого не знаю".

И, уже обращаясь к Мальшеву, в то время замминистра среднего машиностроения, сказал: "Назначьте, например, Духова, главного конструктора тяжелого танка КВ. Его знают!" Сталин будто бы не терпел возле себя малоизвестных людей.

Другой причиной мог стать взлет антисемитизма, в высших эшелонах власти и в окружении Сталина. Но вероятнее всего, это легенды, которых много ходит о начале атомной эры. В то время уже была ясна вся серьезность проблем абсолютно новой ядерной отрасли. Было понятно, что за периодом эксперимента наступает время выпуска изделий в производственных условиях. И нужны стали опытные конструкторы-механики, знакомые с производством. Таким и был Н. Л. Духов.

Духов "Занимал центральное место в дружном коллективе ученых и конструкторов"

В работе над Атомным проектом СССР, в результате которой была создана советская атомная бомба, участвовали сотни тысяч людей. К 1953 году лишь пятеро из них были первыми в СССР удостоены звания трижды Героя Социалистического Труда и трижды лауреата Сталинской премии первой степени: - И. В. Курчатов - научный руководитель Атомного проекта; - Ю. Б. Харитон - главный конструктор атомного и термоядерного оружия; - К. И. Щелкин - первый заместитель главного конструктора; - Я. Б. Зельдович - начальник теоретического отдела; - Н. Л. Духов - заместитель главного конструктора. О Н. Л. Духове надо сказать особо. Это конструктор от Бога.

Это его лучшие в мире тяжелые танки и самоходные орудия переломили хребет

нацистскому зверю.

Н. Л. Духова, главного конструктора Кировского завода, генерала, Героя Социалистического Труда, И. В. Курчатов пригласил в начале 1948 года по просьбе К. И. Щелкина заняться конструкцией атомной бомбы "в компании завлабов" и готовить ее серийное производство. Выбор И. В. Курчатова, как всегда, оказался верным, попал "точно в яблочко". Преемственность, всемерное использование мощного потенциала российской физики молодыми учеными должны были принести свои плоды.

Традиционно считается, что с американской атомной бомбой все ясно. Ее "породил" Р. Оппенгеймер. Можно и по этому поводу высказать разные точки зрения, но это, как говорится, "их" проблемы. Во всяком случае, вопрос личностных приоритетов в деле создания американского ядерного оружия освещен богато. Объему литературы, посвященной данной проблеме на Западе, можно только позавидовать.

Что касается отечественной атомной бомбы, то в течение долгого времени, когда атомная тематика была строго засекреченной, вопрос об авторстве атомной бомбы практически не поднимался. Прорыв плотины умолчания привел к морю предположений. И если даже оставить в стороне вопрос о роли разведывательных данных, очень многое до сих пор продолжает оставаться неясным. Так кто все-таки является "отцом" первой отечественной атомной бомбы? И. В. Курчатов?.. Ю. Б. Харитон?.. Да, сложная структура, обеспечившая успех, возглавлялась именно этими людьми. Но рядом с ними "стояли" К. И. Щелкин, Я. Б. Зельдович, Н. Л. Духов, Е. И. Забабахин, П. М. Зернов и многие, многие другие.

Получается некий вариант коллективной "ответственности". И, на наш взгляд, он вполне отвечает на вопрос о том, кто является "родителем" нашей атомной... Деятельность всех, включая и руководителей, основывалась на принципе - не считаться с уровнем решения задач, не стремиться к дележке "лавров". Поэтому, когда обрывались из-за упавшего дерева электропровода и казематы обесточивались, специалисты, проводившие в это время эксперименты, звонили не кому-нибудь, а начальнику объекта П. М. Зернову. И он, не высказывая ни малейшего недовольства относительно того, что это - "не его уровень", принимал соответствующие меры. Поэтому сотрудники КБ-11, работавшие в рамках определенных тематических направлений, физики-теоретики и экспериментаторы, конструкторы и механики, специалисты по автоматике и электронике делились между собой идеями, задумками, соображениями.

Придумал - один, осуществил - другой, улучшил - третий. А общее дело только выиграло! Но ни первый, ни второй, ни третий в то время даже не задумывались над тем, кто же настоящий творец нововведения. Удивительное время и удивительные люди! Это - одна сторона вопроса об "отцовстве" нашей отечественной первой атомной бомбы.

Одного определенного "отца" искать просто не правильно. Чтобы сделать первый атомный заряд, нужны были, по крайней мере, три условия.

Во-первых, общий научно-технический уровень, соответствующий поставленной задаче. Он определялся состоянием фундаментальной и прикладной науки, а также науки конструирования.

Во-вторых, определенное качество технологической обеспеченности решения проблемы - требовались новые, нередко уникальные, материалы и методы обработки.

И, наконец, третье условие: финансовые возможности государства, подкрепленные должной организационной структурой, содействующей оптимальному взаимодействию трех составляющих единого комплекса "наука - техника - производство" в русле атомной программы и в общегосударственном масштабе. Реализация этих трех условий носила комплексный и крайне сложный характер и была бы невозмож-

на без людей – ученых, организаторов науки и производства, конкретных исполнителей работ. Доля каждого из них была разной с точки зрения ответственности за дело, уровня и объема решаемых вопросов. И это естественно. Но главное – в другом. Ощущение этой ответственности было у всех одинаковым вне зависимости от занимаемого положения, должности и участка работы. Именно это стало залогом успешного продвижения к намеченной цели, быстрого выхода Атомного проекта на финишную прямую.

## РДС-1

РДС-1 («изделие 501») – первая советская атомная бомба<sup>2</sup>. Мощность бомбы – 22 килотонны (длина 3,7 м, диаметр 1,5 м, масса 4,6 т).

Ответственность за всю организацию работ по подготовке испытаний РДС-1 возлагалась на Ю. Б. Харитона. Руководство испытаниями осуществлялось Государственной комиссией. Испытания РДС-1 были проведены на Семипалатинском полигоне.

Успешное испытание первой советской атомной бомбы было проведено в 7:00 29 августа 1949 года на построенном полигоне в Семипалатинской области Казахской ССР. 25 сентября 1949 года газета «Правда» опубликовала сообщение ТАСС «в связи с заявлением президента США Трумэна о проведении в СССР атомного взрыва»:

6 ноября 1947 года министр иностранных дел СССР В. М. Молотов сделал заявление относительно секрета атомной бомбы, сказав, что «этого секрета давно уже не существует». Это заявление означало, что Советский Союз уже открыл секрет атомного оружия, и он имеет в своем распоряжении это оружие. Научные круги Соединённых Штатов Америки приняли это заявление В. М. Молотова как блеф, считая, что русские могут овладеть атомным оружием не ранее 1952 года.

Полигон (УП-2 МО) расположился в прииртышской степи, в 170 км западнее Семипалатинска. Этот район Казахстана представляет собой безводную степь. Под полигон была отведена равнина диаметром примерно 20 км.

Опытное поле – представляет собой круг радиусом 10 км. Опытное поле разделено на 14 секторов:

- два фортификационных и физических;
- сектор гражданских сооружений и конструкций;
- сектор различных видов Вооруженных сил и родов войск, в котором на различном удалении от центра поля в открытом виде, а также в укрытии размещались образцы вооружения и военной техники;
- биологический сектор с подопытными животными.

В центре опытного поля была смонтирована металлическая решетчатая башня высотой 37,5 метров, с установленной на ней РДС-1.

Мощность бомбы составила более 20 кт. 37-метровая башня, на которой была установлена бомба, была уничтожена полностью, на её месте образовалась воронка диаметром 3 м и глубиной 1,5 м, покрытая оплавленным стеклоподобным веществом, уровень радиации в центре составлял 0,5 Зв/с, разрешалось находиться в 2 км от эпицентра не более 15 минут. В 25 м от башни находилось здание из железобетонных конструкций, с мостовым краном в зале для установки плутониевого заряда в заряд из ВВ. Сооружение частично разрушилось, сама конструкция ус-

<sup>2</sup> Первой атомной бомбе дали обозначение РДС-1. Это название произошло от правительственного постановления, где атомная бомба была зашифрована как «реактивный двигатель специальный», сокращенно РДС. Обозначение РДС-1 широко вошло в жизнь после испытания первой атомной бомбы и расшифровывалось по-разному: «Реактивный двигатель Сталина», «Россия делает сама» и т. п.

тояла. Из 1538 подопытных животных (собак, овец, коз, свиней, кроликов, крыс) в результате взрыва погибло 345 (некоторые животные имитировали солдат в окопах). Лёгкие повреждения получили танк Т-34 и полевая артиллерия в радиусе 500–550 м от эпицентра, а на дальности до 1500 м все типы самолетов получили значительные повреждения. На расстоянии километра от эпицентра и далее через каждые 500 метров были установлены 10 легковых автомобилей «Победа», сгорели все 10 машин. На расстоянии 800 м, два жилых 3-х этажных дома, построенные в 20 м друг от друга, таким образом, что первый экранировал второй, были разрушены полностью, жилые щитовые и бревенчатые дома городского типа оказались разрушенными полностью в радиусе 5 км.



Взрыв первой советской атомной бомбы.

В основном повреждения были получены от ударной волны. Железнодорожный (1000 м) и шоссейный мосты (1500 м) были искорежены и отброшены от своего места на 20–30 м. Вагоны и автомашины, располагавшиеся на мостах, полуобгоревшие, были разбросаны по степи на расстоянии 50–80 м от места установки. Танки и пушки были перевернуты и искорежены, животных унесло.

В начале 1950-х годов РДС-1 были изготовлены малой серией — пять штук, и на тот период ядерный арсенал Советского Союза этим и исчерпывался. «Изделия 501» в строевые части ВВС СССР не поступали, а оставались в специальном хранилище в Арзамасе-16 (Саров).

По информации Е. Ф. Корчагина, на опытном производстве КБ-11 к концу 1949 года было изготовлено 3 устройства (включая испытанное). К концу 1950 — ещё девять устройств. К марту 1951 года на хранении на «объекте 550» находилось 15 устройств в разобранном состоянии. К концу 1951 года было изготовлено 29 бомб, из них 3 изготовлены серийно на заводе № 551.

## ПОСЛЕ ТОГО

### Испытания, испытания...

При проведении ядерных испытаний задачи авиационного обеспечения были возложены на 71-й полигон ВВС в Крыму... Успехи ученых и конструкторов в разра-

ботке и испытаниях ядерных зарядов с различными массогабаритными характеристиками и показателями эффективности действия создали предпосылки внедрения ядерного оружия в различные системы и комплексы вооружения, в том числе и для авиации ВВС и ВМФ. Научно-техническое сопровождение этих разработок для авиации стало новой задачей для 71-го полигона ВВС. Оно включало проведение исследований по обоснованию требований к ядерному оружию и самолетам-носителям, разработку методов испытаний ядерных авиабомб и боевых частей ракет для стратегической, фронтовой и истребительной авиации, их самолетов-носителей и средств эксплуатации этого нового вида вооружения. На начальном этапе внедрения ядерного оружия с 1948 года взаимодействие осуществлялось только с ВНИИЭФ (Арзамас-16), с местными учеными и конструкторами - Ю. Б. Харитоновым, К. И. Щелкиным, Н. Л. Духовым, С. Г. Кочарянцем, В. С. Комельковым, В. А. Зуевским.

С середины 1950-х годов и в последующие годы - со вновь образовавшимися в Минсредмаше институтами: ВНИИТФ (Челябинск-70) - К. И. Щелкиным, Е. И. Забабахиным, А. Д. Захаренковым, Г. А. Цыrkовым, Л. Ф. Клоповым; ВНИИА (Москва) - Н. Л. Духовым, В. А. Зуевским, А. А. Бришем; НИИС (Н. Новгород) - Ю. Е. Седаковым, Н. З. Трemasовым; КБ АТО - С. П. Поповым, В. И. Казаковым, а также с серийными предприятиями отрасли.

Полигон действовал 25 лет, в 1947-1972 годах. За четверть века им выполнен большой объем работ по авиационному обеспечению ядерных испытаний, отработке и испытаниям образцов ядерного оружия для авиации ВВС и ВМФ, средств их эксплуатации и боевого применения. До введения в 1962 году моратория на ядерные испытания 71-м полигоном ВВС обеспечено 180 воздушных ядерных испытаний при сбрасывании ядерных бомб с семи типов самолетов-носителей. 71-й полигон участвовал в 178 ядерных испытаниях, из них на Семипалатинском полигоне - в 94, на Новоземельском - в 83 и в одном в ходе войсковых учений в Оренбургской области (Тоцкие лагеря).

За проявленный героизм и мужество при проведении воздушных ядерных испытаний летчикам-испытателям присвоены звания Героя Советского Союза: подполковнику Головашко Федору Павловичу (11 сентября 1956 года); подполковнику Мартыненко Владимиру Федоровичу (7 марта 1962 года); подполковнику Дурновцеву Андрею Егоровичу (7 марта 1962 года). "Изделие-501", "-601" и другие... Следует напомнить, что создание отечественного ядерного оружия началось с разработки двух вариантов ядерной бомбы: имплозивного типа, названной изделием РДС-1, и пушечного. К этим работам наш полигон был привлечен с момента его образования - с 1947 года. При взаимодействии с КБ-11 работы велись под условными индексами: по первому - "изделие-501", а по второму - "изделие-601".

Начавшиеся по "изделию-601" работы вскоре были прекращены, как впоследствии было опубликовано, из-за того, что пушечный вариант заряда по ряду показателей уступал заряду имплозивного типа. Мы отчетливо понимали, что аэробаллистика "изделия" должна обеспечить не только необходимую точность бомбометания, но и стабильность поведения на траектории падения - колебания и вращения могут отрицательно влиять на работу приборов автоматики "изделия". В баллистическом корпусе "изделия" кроме заряда размещалась автоматика с ее низковольтной частью, приборами предохранения, взведения и датчиками высотного срабатывания и высоковольтной системой подрыва и синхронного инициирования капсулей детонаторов заряда. Для рассмотрения и согласования планов совместных работ и методических вопросов испытаний "изделия-501" в 1948 году, была организована поездка специалистов полигона в Арзамас-16. При этих встречах установилось тесное взаимодействие с руководством объекта, научным руководством и конструкторами-разработчиками изделия: П. М. Зерновым, Ю. Б. Харитоновым, Н. Л. Духовым, К. Н. Щелкиным, Н. Г. Масловым, И. В. Алексеевым, С. Т. Кочарянцем, В. А. Зуевским и др.

К 1949 году на 71-м полигоне практически были завершены все основные испы-

тания "изделия 501". Летные испытания "изделий" проводились при непосредственном участии в них разработчиков. Длительное время на полигоне трудились, радуясь успехам и переживая неудачи, Н. Л. Духов, С. Г. Кочарянц, Н. Г. Маслов, В. П. Буянов, В. С. Комельков, Д. А. Голованов и неразлучные разработчики контактного взрывательного устройства (КВУ) А. П. Павлов и В. К. Лилье. По ходу испытаний в конструкцию и схему изделия вносились уточнения и изменения. Ответственным руководителем был Николай Леонидович Духов, прекрасный организатор, в совершенстве знавший технику, отличавшийся сочетанием доброты к людям с высочайшей требовательностью соблюдения указаний чертежной, технической и нормативной документации. Не дай бог кому-либо по небрежности проштрафиться - гневу со стороны Николая Леонидовича не было предела. Иногда используемая в таких разборах не совсем литературная лексика была достаточно доходчивой и играла воспитательную роль не только для провинившегося, но и для других членов экспедиции.

В 1952 году и первой половине 1953-го испытатели 71-го полигона проводили: летные испытания РДС-3 с новой системой внешнего нейтронного инициирования заряда; летные контрольные испытания образцов изделия РДС-3 серийного производства; испытания и отработку нового самолета-носителя в комплексе с тактической атомной бомбой; отработку более эффективных средств отбора радиоактивных продуктов из облака взрыва.

...Изделие РДС-3, в котором были реализованы новые конструктивные решения по заряду, дало основание для принятия этого изделия на вооружение ВВС. Ученые и конструкторы последовательно изыскивали возможности дальнейшего совершенствования и улучшения характеристик этого вида ядерного оружия.

Так, Я. Б. Зельдовичем, В. А. Цукерманом и А. А. Бришем была предложена идея значительного увеличения мощности заряда за счет введения внешнего нейтронного инициирования. Внедрение этой идеи не могло осуществиться без предварительной летной отработки доработанного "изделия" сначала в условиях 71-го полигона, а затем на завершающей стадии - при натурных ядерных испытаниях на Семипалатинском полигоне.

В этой связи летные испытания внешнего нейтронного инициирования на 71-м полигоне проводились в 15 "безъядерных" сбросах. Для их обеспечения потребовалась разработка совершенно уникальной радиотелеметрической системы с небывалым до сей поры временным разрешением, позволившим измерять разновременность электрического и нейтронного инициирования в процессе взрыва ВВ-заряда. В полигонных условиях испытаниями системы внешнего нейтронного инициирования руководил один из ее авторов - А. А. Бриш, а высоковольтной части системы автоматики В. С. Комельков.

Н. Л. Духов, как и Ю. Б. Харитон, регулярно посещал 71-й полигон. Они были не только желанными и почетными гостями - мы у них многому учились, получали добрые советы по совершенствованию испытаний, рекомендации и помощь в оснащении полигона измерительной и вычислительной техникой, создании лабораторий механических, климатических и специальных испытаний. Руководство отрасли и КБ-11 также уделяло должное внимание ходу летной отработки "изделий". Памятны посещения полигона Б. Л. Ванниковым, В. А. Мальшевым, П. М. Зерновым, К. И. Щелкиным, В. И. Алферовым. Многие месяцы пребывали здесь непосредственные участники испытаний - прежде всего Н. Л. Духов, и его сотрудники С. Г. Кочарянц, В. С. Комельков, А. А. Бриш, В. А. Зуевский, Н. Г. Маслов, И. В. Алексеев и другие. Окончание летных испытаний "изделия" совместно с самолетом-носителем строго увязывалось со сроками завершения работ по созданию соответствующих зарядов для них.

"Изделие", испытанное на 71-м полигоне, с отработанными конструкцией корпуса, системой автоматики и инициирования встречалось с ядерным зарядом на другом полигоне при проведении натурных испытаний. Впервые воздушные ядерные ис-

пытания РДС-3 при бомбометании с самолета-носителя Ту-4 были успешно проведены 18 октября 1951 года руководством КБ-11. Начиная с первых испытаний длительное время по 1956 год мне посчастливилось работать под руководством И. В. Курчатова и Ю. Б. Харитона в сотрудничестве с Н. Л. Духовым и его сотрудниками на Семипалатинском полигоне при всех ядерных испытаниях этого периода (более двадцати). Должностное положение обязывало меня регулярно взаимодействовать с ними. При этом часто приходилось участвовать в проводимых ими совещаниях по организации предстоящих испытаний и авиационному обеспечению их.

А задачи для авиагруппы были немалыми, учитывая, что в состав группы входило до 20 самолетов различных типов, средства обеспечения полетов и до 400 различных специалистов. Воздушные ядерные испытания организованы были достаточно четко и проводились, как правило, без происшествий. Однако в некоторых случаях проявлялись обстоятельства, требовавшие принятия нетрадиционных решений. В качестве примера можно привести полет самолета-носителя Ту-16, выполнявшийся 20 ноября 1955 года с мегатонной ядерной бомбой на борту.

Положение было критическим - из-за метеоусловий и отказа радиолокационного прицела самолета впервые встал вопрос о вынужденной посадке самолета-носителя с ядерной бомбой. Обсуждение различных предложений было достаточно напряженным. Руководители испытаний, в конце концов, принимают окончательное решение о вынужденной посадке самолета-носителя с ядерной бомбой с учетом доложенных результатов ранее проведенных полигонных испытаний самолета-носителя Ту-16 с "изделием 6" с взлетами-посадками, а также выданного теоретиками заключения по заряду. Посадка оказалась очень сложной. На аэродроме бушевала песчаная буря, ухудшавшая видимость... В конечном итоге экипажу самолета-носителя с большим трудом удалось совершить благополучную посадку.

Повторный испытательный полет с РДС-37 был осуществлен 22 ноября, произведенный взрыв показал небывалую к тому времени мощность 1,6-1,7 мегатонны. После успешного завершения воздушных ядерных испытаний комплекс "ядерная бомба - самолет-носитель" практически был готов к серийному производству. Так это произошло с РДС-1, РДС-3, РДС-4, РДС-6 с их носителями Ту-4, Ил-28, Ту-16, которые поступили на вооружение ВВС ранее других видов вооруженных сил.

Опыт испытаний первых РДС послужил основой для совершенствования методов последующих летных испытаний зарядов. Конструкции корпусов ядерных бомб "3", "4", "6", а затем и "изделия-202" использовались как унифицированные в воздушных ядерных испытаниях зарядов с различными массогабаритными характеристиками и мощностью.

Внедрение этого метода очень пригодились, особенно в 1962 году, когда перед введением моратория на испытания в трех средах удалось завершить серию из 11 испытаний ядерных зарядов практически за неделю полетами в одном строю трех самолетов-носителей, каждый из которых нес ядерную бомбу. Бомбометание при этом выполнялось вне измерительного поля полигона по условным целям восточного побережья Новой Земли с выполнением всех необходимых измерений параметров взрывов с помощью средств, размещаемых на самолетах-носителях... С конца 1950-х годов при взаимодействии с ВНИИЭФ и со вновь образованными в системе Минсредмаша институтами (ВНИИТФ - Челябинск-70 по ядерным авиабомбам для авиации ВВС и ВМФ; ВНИИА - Москва, по ЯБП для авиационных крылатых ракет) заказывавшие управления Минобороны и организации разработчиков изделий Минсредмаша стали руководствоваться общепринятым порядком разработки образцов вооружения, начиная с формирования ТТТ на них.

Необходимость обеспечения безопасности испытаний ядерных зарядов со всевозрастающими мощностями привела к принятию решения о переносе их на Новоземельский полигон. К этому времени Военно-морским флотом был уже сформирован на острове Новая Земля так называемый "объект 700", предназначенный для испытаний торпедного ядерного оружия в условиях подводного взрыва.

В 1955 году на этом объекте были проведены первые подводные ядерные испытания. Для использования острова Новая Земля в качестве полигона для воздушных ядерных испытаний необходимо было решить дополнительно ряд вопросов, связанных с базированием самолетов-носителей, организацией наземных измерений и оснащением целей опытного поля для прицельных бомбометаний, организацией взаимодействия между участниками испытаний и ведомствами....25 декабря 1962 года завершилась эпопея воздушных ядерных испытаний при сбрасывании изделий с самолетов-носителей, начавшаяся 18 октября 1951 года.

В 1966 году по инициативе Н. И. Павлова, работавшего в то время директором ВНИИА (Москва), состоялся мой перевод в систему Минсредмаша на должность заместителя главного конструктора в этот институт. С главными конструкторами ВНИИА В. А. Зуевским и А. А. Бришем мне приходилось взаимодействовать задолго до перехода в этот институт, начиная с работ над первыми атомными бомбами в системе ВНИИЭФ. При переходе на новое место работы я оказался в коллективе, с ведущими конструкторами и специалистами которого был также знаком по совместно проводимым работам: И. В. Богословским, А. И. Белоносовым, Ю.Н. Бармаковым, К. А. Бортновским, С. В. Медведевым, Е. В. Ефановым, Е.А. Сафроновым, А. С. Бровкиным, В. И. Капустиным, В. П. Буяновым.

Помощь со стороны коллег позволила мне сравнительно легко вписаться в общий ритм работы института по достаточно обширной тематике. Более чем за тридцатилетний срок работы в институте пришлось участвовать в разработке, испытаниях, внедрении в серийное производство и передаче на вооружение многих образцов оружия и техники. При этом приходилось взаимодействовать с заказывающими управлениями видов вооруженных сил, с представителями их научных учреждений, заводами промышленного производства изделий и воинскими частями ВВС, ВМФ и ПВО страны. Наряду с отработкой и оценкой технических и боевых характеристик оружия особое внимание уделялось решению вопросов безопасности, что обеспечивалось проведением специальных видов испытаний, а также совместно с организациями Минобороны учений с имитацией аварийных ситуаций.

Ю. Бармаков:

С 1955 года, то есть с самого начала работы во ВНИИА (в то время филиал N1 КБ-11) я начал заниматься контролем параметров БА. Для меня это было естественным переходом от тематики дипломного проекта, который я делал в Институте химической физики (директором ИХФ был лауреат Нобелевской премии академик Н. Н. Семенов) в лаборатории А. И. Соколика. Эта лаборатория вела разработку осциллографов по заданию КБ-11, специально предназначенных для контроля параметров однократных процессов, регистрируемых во время ядерных взрывов. К моменту моего прихода в лабораторию Соколика в 1954 году был уже разработан двухлучевой осциллограф ОК1 7, завершалась разработка скоростного осциллографа ОК19. В середине 1954 года в лаборатории были развернуты работы по созданию осциллографов ОК21, ОК25, ИВ22, специально предназначенных для контроля параметров БА. Уровень работ, как я понял позже, намного опережал аналогичные работы, ведущиеся в других организациях СССР, а возможно, и в мире. Именно в лаборатории Соколика я впервые услышал фамилии Ю. Б. Харитона, И. Л. Духова, А. А. Бриша, А. И. Белоносова). Говорилось о них очень осторожно, без пояснения, чем они занимаются. Надо сказать, что именно в это время Духов и Бриш занимались организационными проблемами создания филиала N1 КБ-11 на базе московского завода N 25 Министерства авиационной промышленности.

Н. Л. Духов и А. А. Бриш (и кто-то еще) были в нашем институте, видимо, в начале 1955 года. Их сопровождал заместитель директора нашего института, тогда член-корреспондент АН СССР М. А. Садовский, возглавлявший работы по заказам атомщиков. Гости посетили и лабораторию Соколика. Помню, они долго и подробно обсуждали не только технические вопросы аппаратуры, но и организацион-

ные вопросы производства разрабатываемых приборов. Как потом оказалось, мне очень повезло как с местом выполнения дипломной работы, так и с темой проекта. А тема моего дипломного проекта состояла в разработке специального двух-лучевого осциллографа, предназначенного для регистрации параметров подводного ядерного взрыва, который планировалось провести в 1955 году... Для этого мне потребовалось изучить физику подводного ядерного взрыва по появившейся тогда книге Коула "Подводные ядерные взрывы". Разработанный мною осциллограф (доведенный до ума, по-моему, А.Г. Фомичевым) под индексом "ОК24" использовался в составе регистрирующей аппаратуры при первом подводном ядерном взрыве на Новой Земле в 1955 году. Таким образом, во время выполнения дипломного проекта мне удалось познакомиться с проблематикой ядерных взрывов и получить неплохие знания по осциллографической технике и измерениям однократных импульсных процессов микросекундной длительности у лучших в то время в стране специалистов. Именно эти знания оказались необходимыми в практической работе в лаборатории А. И. Белоносова, и, видимо, поэтому уже через пять месяцев после начала работы во ВНИИА (в сентябре 1955 года) он назначил меня руководителем группы, которая занималась разработкой аппаратуры контроля БА. На базе опыта контроля параметров БА безосциллографическими методами в 1960 году возникла идея автоматического контроля БА по заданной программе. По тем временам это была практически революционная задача, как по принципам, так и по схемотехнике. Только что разработанные и еще осваиваемые в серийном производстве на реммашзаводе Москвы (ныне завод "Молния") и на заводе N333 Свердловска (ныне Уральский электромеханический завод) приборы комплекса БА10-С2 были выполнены на электронных лампах.

В 1957-1958 годах появились первые отечественные полупроводниковые приборы. Опыта их использования в стране практически не было. Тем не менее, уже к концу 1960 года мы разработали автоматический стенд ТСЦР-61 (стенд с цифровой регистрацией), в котором на базе только что появившихся полупроводниковых приборов реализовались цифровые методы измерения и сравнения с заданными пороговыми значениями параметров, а также жесткая программа логического управления... К концу 1960 года появилась идея создать автоматизированный стенд для полного контроля автоматики ЯБП как при их выпуске на заводах-изготовителях, так и в эксплуатации, которая была успешно претворена в жизнь.

#### Опытная научно- исследовательская станция комбината 817

Производственное объединение "Маяк" - это не только цеха и заводы, это и наука. С научных открытий началась атомная эра, и наука по-прежнему остаётся главной движущей силой атомной энергетики и промышленности. Первым научным учреждением, родившимся вместе с комбинатом, стала Центральная заводская лаборатория. По сути дела это - научно-исследовательский институт "Маяка". Этот материал посвящён Опытной научно-исследовательской станции, которую давно и привычно мы называем ОНИС. Это уникальное научное учреждение более сорока лет занимается проблемами радиоэкологии в природных условиях, изучая последствия радиоактивного воздействия на окружающую среду после аварии 57 года.

Опытная станция была создана 27 мая 1958 года, в связи с интенсивным радиоактивным загрязнением части территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей в результате взрыва ёмкости с жидкими радиоактивными отходами на ПО "Маяк" 29 сентября 1957 года.

Опытную станцию разместили в посёлке Метлино, в 15 километрах от Озёрска, на бывшей территориально-производственной и жилой базе совхоза №2, ликвидированного к 1958 году из-за радиоактивного загрязнения его земель и повышенной

радиационной опасности для населения посёлка.

В 1958 году на станции было пять лабораторий: агрономическая, гидробиологическая, почвенно-биоценологическая, физико-дозиметрическая, химическая и большая полевая сельскохозяйственная группа. Всего в ОНИС трудилось 211 человек.

Начальником Опытной научно-исследовательской станции в то время назначили Г.А. Середу – начальника центральной заводской лаборатории, доктора химических наук. Научное ядро станции сформировалось преимущественно из молодых выпускников сельскохозяйственных вузов, биолого-почвенного факультета МГУ, физтеха Уральского политехнического института, а также специалистов, перешедших на работу в ОНИС с предприятия. Научным руководителем Опытной станции был академик Всесоюзной Академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина В.М. Клечковский.

Основными научными задачами, поставленными перед станцией, являлись: изучение миграции радиоактивных веществ в условиях радиоактивного загрязнения территории; изучение накопления радиоактивных веществ в сельскохозяйственных продуктах; агротехнические приёмы снижения накопления радиоактивных веществ в растениях; разработка рекомендаций по сельскохозяйственному использованию загрязнённой территории; изучение генетических последствий воздействия повышенного фона радиации на животных и растениях в условиях радиоактивного загрязнения территории. Эти задачи охватывали широкий спектр проблем, и поэтому в исследованиях, развёрнутых в 1958-1959 годах на базе Опытной станции участвовало более 10 академических и ведомственных научно-исследовательских институтов.

Отличительной особенностью проведения исследований ОНИС являлось то, что они выполнялись в натуральных или производственных условиях. Например, в 1959 году разработка способов ведения растениеводства в условиях радиоактивного загрязнения осуществлялась на площади 560 гектаров, а токсикология радионуклидов у коров и овец изучалось на сотне животных. Практика натуральных исследований сохранена в течение всей последующей работы станции.

В 1959 году начальником ОНИС стал Н.А. Корнеев, кандидат сельскохозяйственных наук, имевший хорошую практику в организации исследований и большой научный опыт, а заместителем начальника ОНИС – Е.А. Фёдоров, кандидат биологических наук, агрохимик, ученик академика В.М. Клечковского. (Впоследствии, в 1969 году Е.А. Фёдоров был назначен начальником ОНИС).

В начале 1960 года Е.А. Фёдоров выступил с инициативой по сельскохозяйственному освоению 5 000 га загрязнённых земель, закрепленных за Опытной станцией. В результате в 1960 году было освоено 1 000 га таких земель, что позволило реализовать более 1000 тонн продукции на откорм 100 голов телят и 150 голов свиней. В начале февраля 1961 года дирекция предприятия приняла решение об организации в ОНИС товарного сельскохозяйственного производства, включая производство молока. В этом же году были освоены все производственные земли ОНИС на площади 10 тыс. гектаров. В 1960 году по инициативе академика В.М. Клечковского и зам. министра здравоохранения СССР А.И. Бурзяна было подготовлено решение о хозяйственной реабилитации загрязнённых территорий.

Крупномасштабное восстановление хозяйственного использования загрязнённой территории началось в 1961 году с организации специализированных совхозов и лесхозов в Челябинской и Свердловской областях, с землепользованием, включающим пострадавшие угодья.

Восстановление сельскохозяйственного производства осуществлялось поэтапно, по мере экспериментального обоснования возможностей такого восстановления.

Полная реабилитация территорий Восточно-Уральского радиоактивного следа завершилась к 1976 году, в результате её было вовлечено в использование 82% ранее отчуждённых площадей (около 90 тыс. га). На более загрязнённых землях в

головной части ВУРСа, где размещается экспериментальная база ОНИС, в 1966 году был создан Восточно-Уральский государственный заповедник.

На протяжении практически всего периода существования, станция сочетала научную деятельность с разработкой и проверкой эффективности новых приёмов снижения уровней радиоактивного загрязнения продукции сельского хозяйства в условиях крупномасштабного производства, осуществлявшегося её производственным сельскохозяйственным отделом. Поставляемая населению города Озёрска продовольственная продукция (картофель, овощи, молоко, мясо) соответствовала установленным санитарным нормам и, в расчёте на единичный уровень радиоактивного загрязнения территории, была в несколько раз "чище", чем продукции хозяйств на прилегающей территории. На практике испытывались специальные приёмы и технологии в полеводстве, овощеводстве, в том числе в закрытом грунте, в содержании и кормлении животных, производстве грибов и рыбоводстве.

Научно-практический опыт хозяйственной реабилитации больших площадей послужил основой для разработки соответствующих рекомендаций, которые могли бы быть использованы в случае радиационных аварий на ядерных предприятиях или при радиоактивном загрязнении территорий в результате ядерного удара. К сожалению, они не были использованы в организации восстановительных мер на территории, загрязнённой в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году.

К 1963-1964 годам станцией были решены основные проблемы, связанные с аварией 1957 года.

В последующий период своей деятельности ОНИС принимала участие в решении других важных проблем, связанных с радиоактивным загрязнением окружающей среды.

Наиболее важные результаты - это получение обширной экспериментальной информации о поведении и миграции в окружающей среде различных радионуклидов, о биологических эффектах радиоактивного загрязнения, разработка рекомендаций по повышению устойчивости с/х производства в условиях радиоактивного поражения территорий, участие в изучении последствий аварии на Чернобыльской АЭС и в разработке и реализации Государственной программы по реабилитации Уральского региона. Эти результаты воплощены в монографиях, справочных руководствах, нормативных документах и т.д.

Способность ОНИС решать важные радиэкологические проблемы, большой накопленный научно-практический опыт и научный авторитет, признанные в России и за рубежом, определяются, прежде всего, сформировавшимся научным и производственным коллективом станции и теми лидерами, которые трудились на станции в разные годы её существования. Среди них Евгений Алексеевич Федоров. С 1959 года заместитель начальника, а в 1969-1987 годах - начальник ОНИС, кандидат биологических наук, лауреат Государственной премии, который признанно считается одним из творцов отечественной радиэкологии.

На станции были заложены основы советской радиэкологии. До Чернобыльской аварии экспериментальная территория станции представляла единственную в мире площадь, где в натуральных условиях проводились разнообразные радиэкологические эксперименты и наблюдения. И именно сотрудниками станции и научных организаций страны, работавших совместно на базе ОНИС, были сформулированы основные принципы общей и прикладной радиэкологии как новой отрасли науки.

Сейчас ОНИС руководит Геннадий Николаевич Романов, который начал работать на станции в 1958-м, в год её основания. Он прошёл путь от научного сотрудника до начальника ОНИС и стал лауреатом Государственной премии.

Над решением проблемы экологической реабилитации Урала после аварии 1957 г. на Маяке работает коллектив Института промышленной экологии Уральского отделения РАН.

Сегодня общепризнанно, что печальный, не имеющий аналогов в мире рекорд по совокупности техногенной и радиационной нагрузок принадлежит Уралу. Здесь,

как нигде, сконцентрированы энергетические, химические, металлообрабатывающие и другие производства. Здесь атомный и металлургический комплексы... Все это уже десятки лет оказывает губительное воздействие на окружающую человека природную среду. А значит, и на самого человека.

Положение усугубляется и тем, что почти все основные уральские заводы поднимались еще в 30-40-е годы, а потому оборудование сильно изношено, и это неминуемо вызывает сверхнакопление отходов. По загрязнению воздуха и воды Урал прочно держит первое место в стране, по загрязнению почв - второе. Вокруг промышленных центров здесь все туже смыкается кольцо техногенных пустынь.

Порядок в доме (в переводе с греческого "экология" - это наука о домашнем порядке) сильно нарушен. Очевидно, что происходит деградация экосистем. И человек сам стал заложником, жертвой этого драматического процесса.

Вот уже почти четверть века на Урале отмечается превышение смертности над рождаемостью. Взрослое население промышленных районов Урала болеет в два с лишним раза чаще, чем в среднем по стране. Менее четырех процентов детей здесь рождаются практически здоровыми.

Осознание опасности, нависшей над Уралом, пришло не сразу. Оно пробивалось, зрело в наших умах долго и трудно. Тому, конечно, были причины. Это и общая экологическая безграмотность. И десятилетиями воспитываемое в нас отношение к природе, как к чему-то такому, от чего "нельзя ждать милостей", а надо их "взять", "вырвать". Немалую роль сыграло и умышленное сокрытие информации о масштабах происходящего загрязнения и его последствиях для человека и всего живого вокруг.

Лишь во второй половине 80-х годов, с приходом гласности и уже после Чернобыльской трагедии, стало зреть убеждение: без решения экологических проблем будущее Урала катастрофично.

Именно тогда по инициативе и при непосредственном участии председателя Уральского отделения Академии наук академика Г.А. Месяца в Свердловске (ныне - Екатеринбург) был создан научно-инженерный Центр экологической безопасности.

А спустя еще три года - в 1992 - на базе этого Центра был организован академический Институт промышленной экологии.

Вот что рассказывает об этом доктор физико-математических наук, профессор В.Н. Чуканов, директор Института промышленной экологии:

Когда мне предложили создать научно-инженерный Центр экологической безопасности, времени для раздумий почти не было, и я рискнул. Группу основателей-энтузиастов составили мои коллеги и добрые товарищи - преподаватели и выпускники физико-технического факультета Уральского политехнического института.

Нас часто спрашивают, почему выпускники физтеха пошли в экологию? Отвечаем, что это, наверное, потому, что экология - особая наука - мультидисциплинарная.

Чисто экологических проблем не существует, а есть сложнейшее переплетение технологических, экономических, медицинских, социальных, физических, химических и прочих проблем. Чтобы разобраться во всем этом, необходим системный подход. И в зависимости от поставленных целей: хотим ли мы сохранить исчезающий вид растений, животных или все сложившееся биологическое разнообразие на данной территории, или перед нами задача - сделать чистыми водоемы, или мы думаем, как исправить ситуацию со здоровьем населения (всего населения или нас особо тревожит здоровье детей), - в каждом случае будет свой вариант комплексного решения проблемы. Лишь с помощью системного анализа можно установить последовательность приоритетов и найти оптимальный путь к достижению цели. И всякий раз он будет единственный, неповторимый.

Первым нашим серьезным практическим испытанием стало экологическое обосно-

вание дальнейшего развития Белоярской АЭС - строительства нового блока на быстрых нейтронах. Это было в 1989-1990 годах. Ситуация осложнялась тем, что работа совпала по времени с пиком самой ожесточенной критики, направленной на атомную отрасль со стороны различных общественных движений.

Оставаться объективными было не просто. А наш голос в пользу расширения БА-ЭС в то время был, пожалуй, единственным. И все же наши выводы, благодаря тому, что они были основательно проверены и четко взвешены, легли в основу последующих документов и были признаны правильными.

Не менее сложным был момент, когда встал вопрос о необходимости строительства в Челябинской области Южно-Уральской АЭС. Восточно-Уральский радиационный след (ВУРС) образовывался в результате аварии на производственном объединении "Маяк".

И вот теперь по проекту атомная станция должна была возводиться прямо на территории этого самого "Маяка" - крупнейшего в стране комбината, производящего плутоний - "начинку" ядерного оружия. Можно себе представить накал разбушевавшихся страстей!

За прошедшие годы мы еще больше утвердились в том, что Южно-Уральскую АЭС нужно строить и придется строить скоро. Серьезных аргументов в пользу этого более чем достаточно. Но тогда, на рубеже 90-х годов, сама мысль об этом звучала крамольно. Люди переставали верить в перспективы атомной промышленности.

Теперь хотя бы кратко ознакомим вас с "Маяком", олицетворившим высокую драму всей атомной промышленности.

Производственное объединение "Маяк" расположено на севере Челябинской области, близ староуральских городов Кыштыма и Касли, в семидесяти километрах от Челябинска, города с миллионным населением.

"Маяк" - это и сегодня государство в государстве. При въезде - строгий контроль. Огороженная и охраняемая территория занимает примерно 200 квадратных километров (в десятки раз меньше, чем территория "родственного" Хэнфордского атомного комплекса в США).

Все главные производства располагаются по южному берегу "технического" озера Кызыл-Тяш. В десяти километрах от этой промышленной зоны, между озерами Кызыл-Тяш и Иртяш, находится жилой центр "Маяка" - город Озерск. Сначала он был известен как Челябинск-40, затем как Челябинск-65. На картах многие годы его вообще никак не обозначали. Это был потаенный, закрытый, номерной город. И лишь недавно он сменил свой "номер" на вполне гражданское, цивильное имя. Сейчас здесь проживает основной и вспомогательный персонал комбината.

Более 40 лет главной продукцией "Маяка" был оружейный плутоний - ядерная взрывчатка для бомб и боеголовок.

Создание такого оружия, как считают многие, было для истощенного тяжелейшей четырехлетней войной Советского Союза действительно государственной необходимостью.

Мощнейший толчок этому дали атомные бомбардировки авиацией США японских городов Хиросимы и Нагасаки 6-го и 9-го августа 1945 года. И можно сказать, что человечество тогда увидело дно бездны.

В Советском Союзе сразу после этого были приняты срочные организационные меры.

Уже 20-го августа постановлением Государственного Комитета Обороны был создан для решения любых проблем Уранового проекта наделенный особыми и чрезвычайными полномочиями Специальный комитет во главе с Л.П. Берией.

30-го августа при Совнаркомом для повседневного руководства атомной промышленностью и координации научно-технических и инженерных разработок организовано Первое главное управление (ПГУ) под началом генерал-полковника Б. Л. Ванникова, бывшего до этого Наркомом боеприпасов.

Наконец, 1-го декабря 1945 года принято постановление Правительства СССР №

3007-697 о строительстве комплекса по наработке плутония и переработке делящихся материалов. На его базе и вырос "Маяк".

В состав комплекса должны были войти: реакторы для наработки плутония; радиохимический завод для выделения плутония из облученных урановых блоков; химико-металлургический завод для получения спектрально очищенного плутония и изготовления из него взрывной "начинки" для бомб.

Естественно, здесь работы начались без каких-либо промедлений: в конце лета 1946 года тысячи и тысячи заключенных уже вовсю рыли огромный котлован под реактор. Все три производства строились практически одновременно. Ход строительства был под личным контролем Сталина.

Надо признать, что основания для тревоги были вполне весомые. Еще весной 1946 года в американском городке Фултоне Уинстон Черчилль, наш недавний союзник, провозгласил "крестовый поход" против коммунизма. И некоторые безумные головы после Хиросимы и Нагасаки планировали атомные бомбардировки советских городов.

Третья мировая война в те годы вполне могла стать реальностью. И не исключено, что именно создание ядерного оружия в СССР предотвратило эту угрозу.

"То, что мы делали, было на самом деле большой трагедией, отражавшей трагичность всей ситуации в мире, где для того, чтобы сохранить мир, необходимо делать такие страшные, ужасные вещи..." - скажет уже в 1988 году, на исходе своей жизни, академик Андрей Дмитриевич Сахаров, который был не только великим гуманистом, не только виднейшим диссидентом-правозащитником, но и выдающимся ученым-физиком, одним из творцов первой советской водородной бомбы.

Страна лежала в руинах. Празднично отмечался каждый новый дом и заработавший цех. Однако о стройке на Урале радио и газеты молчали. С 1947 года не раз и не два приезжал туда Берия. Ветераны комбината вспоминают, что результатами каждого такого визита обязательно были смена руководителей, новое ужесточение секретности. А секретность и без того, даже по тем временам, была удивительная. Почти все жители стремительно растущей "сороковки" (Челябинск-40) - инженеры, техники, рабочие, охранники - по сути, превратились в привилегированных заключенных с жестко ограниченным правом на переписку.

Работа шла в максимально напряженном темпе, нередко в лихорадочной гонке и под постоянным страхом. Считалось, что цель здесь оправдывает любые средства.

Поздним вечером 7 июня 1948 года научный руководитель Уранового проекта Игорь Васильевич Курчатов, не скрывая волнения, занял место главного оператора пульта управления и в присутствии Ванникова, его заместителей, всего руководства комбината, ученых и дежурных инженеров впервые произвел запуск реактора. К 19-му июня была завершена вся подготовка к выходу на проектную мощность. И многим тогда, наверное, казалось, что теперь уже ничто и никто не остановит цепную реакцию деления ядер урана и выделения из них плутония для первой советской атомной бомбы.

Однако на комбинате не успели даже отпраздновать победу. Неприятности обрушились в первые же сутки. Случилось то, что на сленге металлургов называется - "козел". Разрушенные по каким-то причинам урановые блоки намертво спекались с графитом. Реактор пришлось срочно остановить. На ликвидацию аварии потребовалось более двух недель.

Вскоре - снова такая же авария. Но на этот раз руководство решило ни в коем разе не прекращать наработку бесценного продукта. Реактор не был остановлен ни на день, ни на час. По-видимому, это впервые привело здесь к радиоактивному загрязнению помещений и переоблучению работавших людей.

Дальше непредвиденные сложности и проблемы хлынули нарастающим потоком. В январе 1949 года реактор пришлось остановить на капитальный ремонт.

Но для этого сначала нужно было непременно, во что бы то ни стало вытащить из него частично облученные и сильно радиоактивные урановые блоки. Страна в

то время весьма остро ощущала дефицит урана. Как свидетельствует академик Ю. Б. Харитон – бессменный научный руководитель КБ-11, непосредственно "делавшего" атомную бомбу, – потеря здесь урана затормозила бы создание оружия как минимум на год. Разумеется, Ванников и Берия такого никак не могли допустить.

Из совершенно безвыходной вроде бы ситуации на комбинате быстро нашли по-советски простой выход: эту "грязную" операцию "доверили" всем или почти всем работающим на реакторе мужчинам. И они, работая без особой защиты, спасли аж 39 тысяч блоков!

Все эти блоки сам Курчатов тщательно, придирчиво осматривал... Очевидцы говорят, что если бы его тогда обманом не увели оттуда, то он уже тогда наверняка бы погиб. В те дни все, конечно, переоблучились. Зато реактор через три месяца уже снова нарабатывал плутоний.

В феврале 1949 года была получена первая продукция. Один из участников этого события, М.В. Гладышев, в автобиографической книге "Плутоний для атомной бомбы", выпущенной несколько лет назад в Озерске, пишет, что плутоний "мы вы-скабливали ложкой (это плутоний-то – самое токсичное вещество – ложкой!) с нутч-фильтра в отдельном "каньоне", где присутствовали также представители науки и администрации. Затем заложили "пасту" в эбонитовую коробку и передали потребителю".

Потребитель – химико-металлургический завод. Его первая продукция – плутониевый заряд – в июле 1949 года была отправлена в будущий Арзамас-16 (ныне этот город снова носит свое историческое название – Саров), где шла доводка долгожданного "изделия".

29 августа 1949 года первая советская атомная бомба взорвалась на Семипалатинском полигоне... После этого между великими странами могла разворачиваться только холодная война.

Так пришел первый полновесный трудовой праздник на строго засекреченные от всего мира улицы "сороковки", главная из которых, конечно же, носила имя Берии.

В пуске плутониевого комбината и получении плутония принимали непосредственное участие крупнейшие советские ученые – Андрей Анатольевич Бочвар, Илья Ильич Черняев, Антон Николаевич Вольский, Анна Дмитриевна Гельман, Александр Семенович Займовский, Анатолий Петрович Александров, Владимир Иосифович Меркин, Борис Александрович Никитин, Александр Петрович Ратнер, Яков Ильич Зильберман и многие другие. Их уже почти всех нет. Вспомним сегодня их имена...

Сам Игорь Васильевич Курчатов ушел из жизни ("точно заснул") пятидесяти семи лет от роду, в 1960 году. Но и этим жестокая жертвенная и героическая эпоха атомной промышленности не завершилась. От нее проросли многие сегодняшние проблемы.

Создание ядерного оружия обходилось недешево. Платой за плутоний стали здоровье и жизнь тысяч и тысяч людей. И не только на реакторе. В книге, о которой мы уже говорили, М.В. Гладышев, а он с самого начала работал на радиохимическом заводе и до недавних пор был его директором, рассказывает: "Все делалось впервые. Казалось бы, ученые-радиохимики должны были догадаться, сообразить, понять, как будет все на заводе, но и они познали беду лишь потом, когда начали работать. Ведущие специалисты, доктора наук, академики постоянно были на объекте, но и они недооценивали все коварство радиохимической технологии.

Борис Александрович Никитин – руководитель всей пусковой бригады, член-корреспондент Академии наук, автор технологии с применением экстракционных процессов – сам оказался жертвой незнания всех подробностей радиохимии и умер вскоре после пуска объекта.

Александр Петрович Ратнер, доктор химических наук, тоже любимый ученик основоположника отечественной радиохимии академика В.Г. Хлопина, первый научный

руководитель завода - во время пуска и в начальный период эксплуатации объекта наблюдал, следил за технологией не только со щита, не только по анализам, а сам лез в "каньон", в аппарат. Смотрел, щупал, нюхал. И всегда - без средств защиты, в одном халате, в личной одежде. Вряд ли мы преувеличим, если назовем его Героем труда и науки. Его самоотдача, которая сопровождалась, увы, пренебрежением к санитарной обработке после посещения опасных мест, к чистоте и аккуратности, привела его к гибели. Он умер через три года.

Яков Ильич Зильберман - главный технолог проекта, доктор технических наук, лауреат Ленинской и Государственной премий - был более аккуратным, но обстановка заставляла и его видеть все и бывать везде, он умер не сразу, а через десять лет.

А как много было пострадавших из тех, кто вел технологию своими руками, кто ремонтировал и переставлял аппараты, вентили и приборы, кто заваривал "свищи" и убирал пролитый раствор, кто просто трудился, полностью доверяя работавшим рядом руководителям, специалистам, ученым свою безопасность. Разве думал о последствиях своего беззаветного труда техник-механик Алеша Кузьмин или инженер-механик Александр Ведюшин, которые сделали свое дело и молча умерли. Можно привести еще много фамилий настоящих героев..."

Пенал с стеклованными отходами подготовлен к загрузке во временное хранилище.

Столь же драматично, как рассказывают сегодня другие ветераны "Маяка", сложилась ситуация и на химико-металлургическом заводе. Цена изготавливаемых там плутониевых зарядов оказалась небывало высокой. О том, чего это стоило, мы узнали лишь много позднее. Только после развала тоталитарного государства журналист Андрей Пральников в статье "Смерть в рассрочку", напечатанной осенью 1991 года в газете "Мегаполис-экспресс", наконец-то подвел некоторые итоги: "... В Челябинске-65 нашлось не больше 150-ти человек, имеющих право на ветеранскую прибавку к пенсии. А за первые пять лет деятельности комбината из-за переоблучения сменилось около двадцати тысяч человек персонала".

Вот почему и сегодня, почти полвека спустя, "Маяк" остается источником повышенной радиационной опасности.

Прямым следствием тотальной государственной политики, требовавшей во что бы то ни стало, любой ценой: "Даешь плутоний!", следует считать произошедшие на "Маяке" три самые значительные, связанные с радиацией аварии. Узнать о них нам, гражданам этой страны, жителям этих мест, разрешили позже всех в мире.

Доведенная до абсурда секретность, в конце концов, сыграла с "Маяком" чрезвычайно злую шутку.

Во второй половине 1949 года на комбинате все проектные хранилища радиоактивных отходов уже заполнились. Это принуждало или к долговременной остановке радиохимического завода и, соответственно, прекращению на это время производства плутония, или к сбросу всех новых отходов прямиком, например, в ближайшую речку - Течу. А она - приток Исети и составная часть Обской речной системы. Решение принималось как будто на самом верху - Курчатовым, Ванниковым и Берией.

Разумеется, считалось, что ни о какой остановке завода просто не может быть и речи. К тому же у Берии на столе, вероятно, уже лежало донесение разведчиков об успешном опыте Хэнфордского комплекса в США. Именно для такой цели там давно и якобы безболезненно использовали реку Колорадо. И все та же государственная необходимость заставляла не медлить. Никому не было дела до того, что в Колорадо воды значительно больше, чем даже в нашей Волге.

Итак, решено, и тотчас принято к исполнению. При этом принципиальная ошибка была заложена изначально. И вскоре она заявила о себе трагедией.

Сегодня официально подсчитано, что за два года с отходами радиохимического завода в Течу поступило около трех миллионов кюри активности. При этом неред-

ко - аварийно, залпом. Немноговодной реке, конечно, было не по силам хотя бы в более-менее приемлемых пределах разбавлять такие концентрации. Да и уносить радиацию отсюда ей вообще-то некуда. Это ведь от Хэнфорда менее сотни километров до спасительно океана...

Здесь, в Тече, радионуклиды стали чрезвычайно быстро скапливаться в донных отложениях. А люди на берегах, не подозревая ни о чем, по-прежнему жили рекой: готовили пищу, стирали белье, купались.

Их не удосужились предупредить, о том, что их речка, всегда такая приятная, любимая, теперь таит смертельную опасность, которая, увы, не имеет ни вкуса, ни запаха, ни цвета.

Несомненно, это было преступление - преступление власти. От него в Челябинской и Курганской областях пострадало более 120 тысяч человек, из них почти 30 тысяч получили большие, тяжелые дозы радиации. Хуже всего пришлось подросткам, потому что смертоносный стронций особенно быстро скапливается в молодых, еще неокрепших костях.

Тогда всем жертвам (ни в коем случае не оглашая диагноза!) предложили компенсацию "за причиненный ущерб" - по 600 рублей "сталинками" на душу. Потом все-таки еще заколотили два десятка особо "грязных" деревень, отселив примерно восемь тысяч жителей. И, видимо, с облегчением поставили на этом точку.

В сентябре 1957 года произошел взрыв одной из емкостей высокоактивных отходов. Его мощь была такова, что 170-тонная плита-крышка с этой емкости отлетела на 20 метров... Возник гигантский ВУРС (Восточно-Уральский радиационный след). Многие тысячи гектаров земли надолго выведены из хозяйственного оборота, многие тысячи людей стали жертвами радиации. И все это опять пришлось замалчивать.

На таком фоне третья "напасть" или третий случай поначалу выглядит почти безобидно. Весной 1967 года сильная засуха осушила мелководья небольшого (площадью 45 гектаров) бессточного озера Карачай. Мгновенный смерч стрел оттуда с пылью всего лишь около 600 кюри активности. Однако, зная особенности этого водоема, специалисты встревожились, ибо следующий "звонок" мог оповещать уже о катастрофе, грозящей всей планете.

Дело в том, что с октября 1951 года (после аварийного сброса 27-29 сентября в Течу около 200 тысяч кюри) именно сюда, в Карачай, был направлен главный поток отходов. И здесь, в озере, как говорят официальные данные, скопилось уже более 120 миллионов кюри. И озеро превратилось, наверное, в самый "чистый" водоем на свете, ибо в таком растворе не смогли выжить даже сине-зеленые водоросли, которые, казалось, способны жить всюду.

Такая ситуация потребовала засыпать озеро (иного выхода не нашли и до сих пор). К концу 1995 года от бывшего водоема осталось уже менее трети. Похоже, Карачай скоро навсегда исчезнет с лица земли, но - не из наших тревог. Возможную огромную беду не ликвидировали, а только загнали вглубь.

Там, под землей, под озером, уже назревает другая возможная беда: линза радиоактивной воды общей площадью более 10 квадратных километров и объемом не менее 5 миллионов кубических метров неуклонно подбирается сквозь грунтовую толщу к маленькой речке Мишеяк. Оттуда ей может открыться прямой путь к Тече, Исети, Тоболу, Иртышу, Оби.

Много тревог вызывает и то, что в верховьях Течи, в сети искусственных водоемов, скопилось более 400 миллионов кубометров низкоактивных отходов. И каждую весну дамбы там с трудом выдерживают напор этих вод.

Рассказывает В. Н. Чуканов:

Летом-осенью 1990-1991 наш институт, после тщательного изучения экологической ситуации, сложившейся на "Маяке" и вокруг него, взялся за разработку Государственной программы реабилитации всех загрязненных радионуклидами терри-

торий Урала (районы Челябинской, Свердловской и Курганской областей), а также ряда комплексных мер социальной защиты населения, пострадавшего от радиации. К кругу этих же вопросов мы относим проблему накопления на промышленной площадке "Маяка" - в открытых водоемах, подземных водах, верхнем почвенном слое - огромного количества потенциально опасных радиоактивных отходов.

Менее чем за год мы разработали научно-обоснованный комплекс мер, направленный на стабилизацию и нормализацию экологической и социальной обстановки на огромной территории. Он стал программой конкретных действий.

Что же легло в концепцию Госпрограммы? Какие цели мы пытались и пытаемся достичь?

В Госпрограмме сформулированы четыре главные цели:

- максимальное снижение риска возникновения новых радиационных аварий, связанных с накоплением отходов на промплощадке и в санитарно-защитной зоне ПО "Маяк";
- медико-психологическая реабилитация населения;
- социально-экономическая реабилитация территорий Урала, подвергшихся радиоактивному загрязнению;
- эколого-радиационное оздоровление этих территорий.

Ясно, что достичь каждую из поставленных целей можно лишь при осуществлении комплекса мероприятий. К примеру, чтобы снизить риск повторения крупномасштабных радиационных аварий, сейчас, прежде всего, надо полностью засыпать озеро Карачай - этот бездонный резервуар радионуклидов. Необходимо локализовать и дезактивировать загрязненные подземные воды. Высокоактивные жидкие отходы перевести в твердое состояние. Имеется в виду так называемое остекловывание отходов, что дает возможность безопасного и длительного их хранения. Каскад промышленных водоемов-хранилищ для низкоактивных отходов требует реконструкции...

Примерно так же конкретно разработаны программы и по всем остальным направлениям.

С 1993 года наш институт стал научным координатором работ в этой части Госпрограммы, которая относится к проблемам загрязненных территорий. Вместе с нами этими вопросами сейчас занимаются более двадцати институтов и других научных учреждений и предприятий страны.

Комплексные и скоординированные исследования уровня загрязнения территорий позволили получить ряд принципиально важных результатов. Вот что нам кажется самым существенным.

Уровни первоначального радиоактивного загрязнения региона были значительно выше, чем показано в материалах, представленных Минатомом РФ при разработке Государственной программы. Эта информация заставила пересмотреть масштабы социальной защиты граждан, проживающих на загрязненных территориях, что и было учтено в дополнениях к Закону о социальной защите населения, пострадавшего из-за деятельности ПО "Маяк".

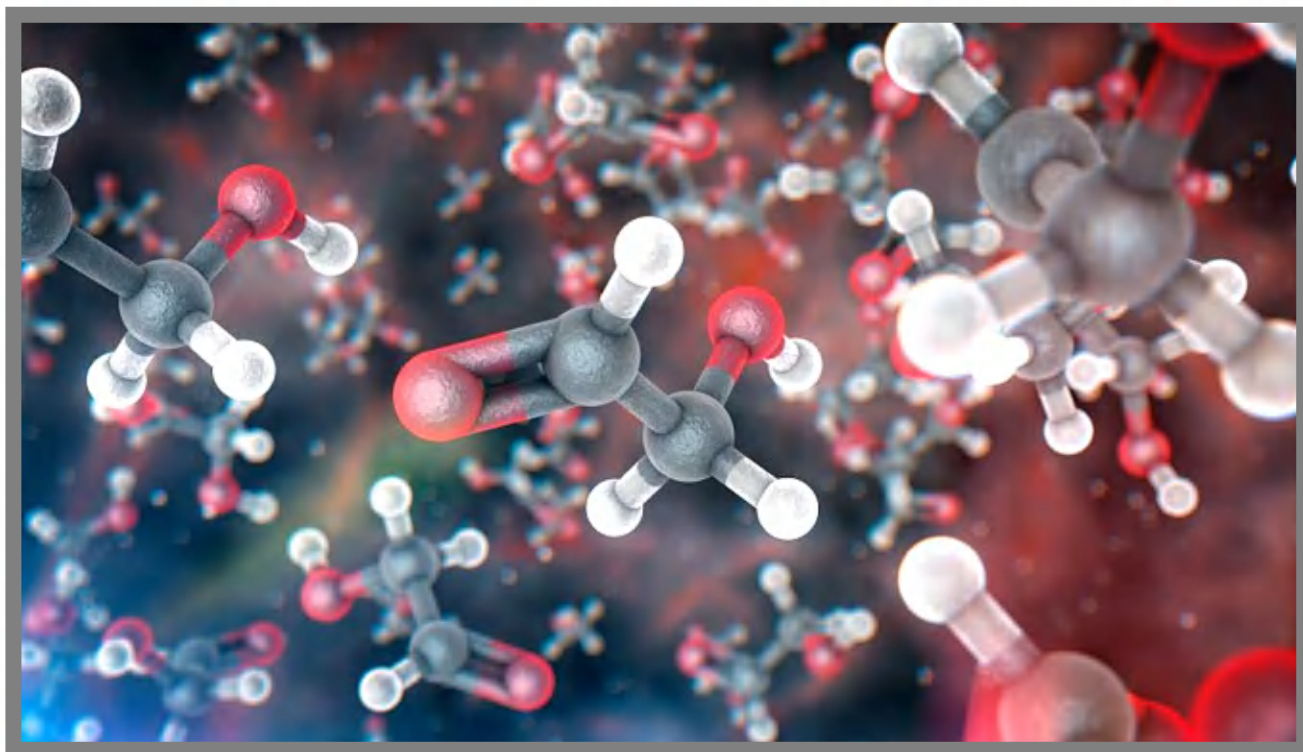
Радиационный фактор оказал и оказывает самое серьезное влияние на здоровье жителей Каменска-Уральского и соседних сельских поселков, особенно тех, кто в 1957-1962 годы были детьми и жили на территории с наиболее высоким "потолком" радиации. У этих групп населения наблюдаются ухудшенный иммуногематологический статус, повышенная онкозаболеваемость и т. д. Более того, заметные отрицательные сдвиги в здоровье обнаружены и у детей, проживающих на загрязненных территориях сейчас. Это потомки во втором и в третьем поколениях родителей, попавших под влияние ВУРСа в самый "пик" аварии.

Ныне комплексным решением экологических проблем территорий с высокой техногенной нагрузкой заняты десять лабораторий, оснащенных самыми современными приборами.

В ближайших планах - создание прогностической экологической модели промышленной зоны, типичной для Урала.

На основе комплексной экологической экспертизы, проведенной нашим институтом в Каменске-Уральском, разработан проект Федеральной целевой программы неотложных мер по улучшению состояния окружающей среды, социальных условий проживания и здоровья жителей этого города. Предусматриваются модернизация и техническое переоснащение экологически вредных производств. А это позволит, например, только на крупнейшем Уральском алюминиевом заводе на 80 процентов уменьшить выбросы в атмосферу и на 50 - сбросы в воду!

Сотрудники Института хорошо понимают, что будущее Урала во многом складывается и определяется сегодня.



# МОЛЕКУЛЫ

Л. Д. ЛАНДАУ, А. И. КИТАЙГОРОДСКИЙ  
(окончание)

## ПРЕВРАЩЕНИЕ МОЛЕКУЛ

### Химические реакции

Физика является фундаментом всего естествознания. Поэтому отделить физику от химии, геологии, метеорологии, биологии и т. д. совершенно невозможно. Ведь основные законы природы относятся к предмету физики. Учение о строении вещества также неотъемлемая глава физики. Не случайно написаны книги под названиями: геологическая физика, биологическая физика, химическая физика, строительная, физика и т. д. Так что сказать несколько слов о химических реакциях в этой публикации, трактующей об основных законах природы, будет вполне уместно.

Строго говоря, химия начинается там, где молекула разламывается на части, или там, где из двух молекул образуется одна, или в случае, когда из двух столкнувшихся молекул образуются две другие. Если в начале и конце явления мы сталкиваемся с тем, что химический состав тел, участвующих в событии, изме-

нился - значит, произошла реакция.

Химические реакции могут происходить "сами по себе", т. е. благодаря движениям молекул, свойственным данной температуре. Так, часто говорят: "вещество разлагается". Это означает, что внутренние колебания атомов молекулы приводят к тому, что связи между атомами разрываются - молекула разваливается.

Чаще всего химическая реакция является результатом встречи молекул. Металл проржавел. Это химическая реакция: встретились атом металла с молекулой воды - образовалась окись. Бросили в стакан воды щепотку лимонной кислоты и ложечку соды. Начинается бурное образование пузырьков газа. В результате встречи этих двух молекул получились новые вещества и в том числе углекислый газ, пузырьки которого и выделяются из воды.

Итак, самопроизвольный развал молекулы и столкновения молекул - вот две причины химической реакции.

Но реакции могут быть вызваны и другими причинами. Вы с досадой рассматриваете костюм, который побывал с вами на юге. Материал выцвел, выгорел. Под действием солнечных лучей произошло химическое превращение краски, которой был выкрашен материал.

Реакции, происходящие под действием света, называются фотохимическими. Исследователю надо тщательно проводить соответствующие опыты, чтобы не свалить в одну кучу нагревание, происходящее под действием света (оно приводит к увеличению кинетической энергии движения молекул, и удары между ними будут более частыми и более сильными), с непосредственным действием света, которое состоит в том, что частица света - фотон - "рвет" химические связи.

Под действием света происходит цепь химических реакций, протекаемых в зеленых растениях, называемая фотосинтезом. Благодаря фотохимическому превращению, происходящему в растениях, осуществляется тот великий круговорот углерода, без которого не было бы жизни.

Разрыв химических связей, сопровождающийся различными химическими реакциями, могут производить и другие энергичные частицы - электроны, протоны и т. д.

Химическая реакция может идти как с поглощением тепла, так и с выделением тепла. Что это значит на языке молекул? Если встретились две медленные молекулы, а из них образовались две быстрые, то, значит, тепло выделилось. Ведь мы знаем, что увеличение температуры эквивалентно убыстрению молекул. К таким реакциям относятся горение и взрыв, о которых мы поговорим чуть ниже.

Теперь нам надо перевести на язык молекул скорость реакций. Превосходно известно, что есть реакции, которые происходят в мгновение ока (взрыв), а есть реакции, которые протекают годами. Положим, что опять-таки речь идет о таких реакциях, в которых сталкиваются две молекулы, а из них образуются две другие. Следующее предположение похоже на правду. Во-первых существенна та энергия столкновения, которой достаточно для того, чтобы произошел разлом молекул и их перестройка; во-вторых, важно и другое: под любым углом атаки или лишь под некоторыми должны встретиться молекулы, чтобы реакция произошла.

Минимальная энергия, необходимая для того, чтобы реакция прошла, носит название энергии активации. Она играет основную роль в ходе реакции, но все же не нужно забывать и второй фактор - долю "удачных" соударений частиц с данной энергией.

Химическую реакцию, идущую с выделением тепла, можно моделировать картинкой, приведенной на рис. 7.1. Шарик вкатывается на горку, переваливает через барьер и скатывается вниз. Поскольку начальный уровень выше конечного, то энергии потратится меньше, чем выделится.

Эта модель наглядно иллюстрирует причину резкой зависимости скорости реакции от температуры. Если температура мала, то "скорость шара" недостаточна, чтобы забраться на гору. По мере роста температуры все более и более будет

расти число шариков, которые будут перемалывать через горку. Скорости химических реакций очень сильно зависят от температуры. Как правило, повышение температуры на 10 градусов увеличивает скорость реакции в 2-4 раза. Если скорость реакции увеличивается, скажем, в 3 раза при повышении температуры на 10 градусов, то повышение температуры на 100 градусов дает увеличение в  $3^{10} \approx 60\,000$  раз, на 200 градусов - уже в  $3^{20} \approx 4 \cdot 10^9$ , а на 500 градусов - в  $3^{50}$ , т. е. примерно в  $10^{24}$  раз. Неудивительно, что реакция, которая идет с нормальной скоростью при температуре  $500^\circ\text{C}$ , при комнатной температуре не происходит вообще.

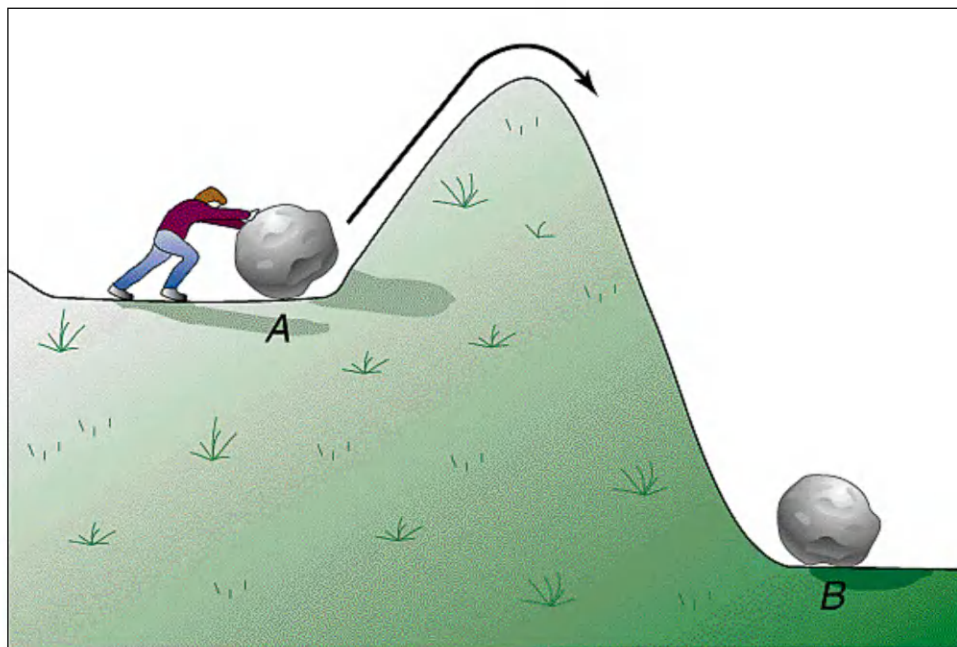


Рис. 7.1. Наглядный пример, поясняющий энергию активации.

### Горение и взрыв

Для того чтобы началось горение, надо, как известно, поднести к горючему предмету горящую спичку. Но и спичка не загорается сама, ее надо чиркнуть о коробку. Таким образом, для того чтобы началась такая химическая реакция, необходимо предварительное нагревание. Поджигание создает в начальный момент необходимую для реакции температуру. Далее высокую температуру поддерживает уже тепло, которое выделяется при реакции.

Начальный местный подогрев должен быть достаточен для того, чтобы выделение тепла при реакции превышало теплоотдачу в окружающую холодную среду. Поэтому каждая реакция имеет свою, как говорят, температуру воспламенения. Горение начинается, только если начальная температура выше температуры воспламенения. Например, температура воспламенения дерева  $610^\circ\text{C}$ ; бензина - около  $200^\circ\text{C}$ , белого фосфора -  $50^\circ\text{C}$ .

Горение дров, угля или нефти - это химическая реакция соединения этих веществ с кислородом воздуха. Поэтому такая реакция идет с поверхности: пока не выгорит внешний слой, следующий не может принять участие в горении. Этим и объясняется относительная медленность горения. В справедливости сказанного нетрудно убедиться на практике. Если размельчать горючее, то скорость горения можно значительно увеличить. Для этой цели во многих печных устройствах производится распыление угля в топках.

Так же размельчается и смешивается с воздухом топливо в цилиндре мотора.

Горючим в моторе служит не уголь, а более сложные вещества, например, бензин. Молекула октана, входящего в состав этого вещества (рис. 7.2 слева), состоит из 8 атомов углерода и 18 атомов водорода, соединенных так, как показано на рисунке. При горении эта молекула подвергается ударам кислородных молекул. Встречи с молекулами кислорода разрушают молекулу октана. Силы, соединяющие в молекуле октана один или два атома углерода с атомом водорода, а также силы, соединяющие два атома кислорода в молекулу кислорода, не могут противостоять более, сильному, как говорят химики, "сродству" между атомами кислорода, с одной стороны, и атомами углерода и водорода - с другой. Поэтому старые связи между атомами молекул нарушаются, атомы перегруппировываются и создают новые молекулы. Как показывает рис. 7.2 справа, новыми молекулами - продуктами горения - и в этом случае являются углекислый газ и вода. Вода при этом образуется в форме пара.

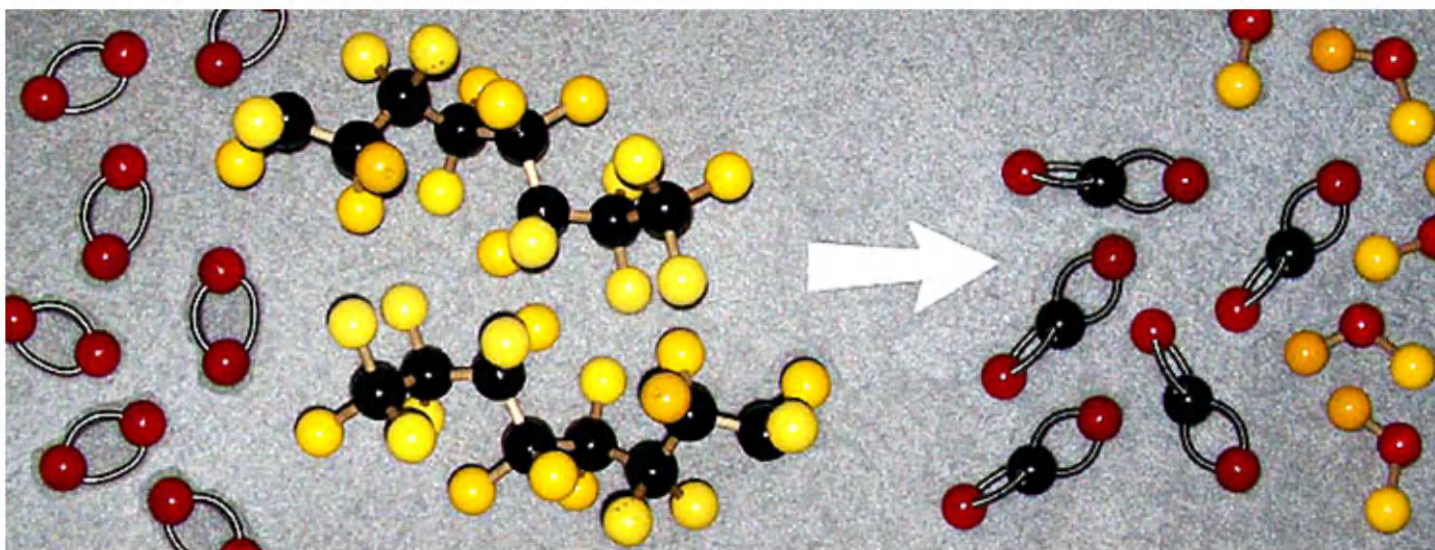


Рис. 7.2. Модель горения октана: черные шарики - углерод, желтые - водород, красные - кислород.

Совершенно иначе обстоит дело в том случае, когда воздушная атмосфера не нужна, а все необходимое для реакции содержится внутри вещества. Примером такого вещества является смесь водорода с кислородом (ее называют гремучим газом). Реакция идет не с поверхности, а происходит<sup>1</sup> внутри вещества. В отличие от случая горения вся энергия, образующаяся при реакции, отдается почти мгновенно, вследствие этого резко повышается давление и происходит взрыв. Гремучий газ не горит, а взрывается.

Итак, взрывчатое вещество должно содержать внутри себя атомы или молекулы, нужные для реакции. Понятно, что можно приготовить взрывающиеся газовые смеси. Существуют и твердые взрывчатые вещества. Они являются взрывчатыми именно потому, что в их состав входят все атомы, необходимые для химической реакции, дающей тепло и свет.

Химическая реакция, происходящая при взрыве, - это реакция распада, расщепления молекулы на части. На рис. 7.3 показана для примера взрывная реакция - расщепление на части молекулы нитроглицерина. Как видно на правой части схемы, из исходной молекулы образуются молекулы углекислого газа, воды, азота. В составе продуктов реакции мы находим обычные продукты горения, но горение произошло без участия молекул кислорода воздуха - все необходимые для горения атомы содержатся внутри молекулы нитроглицерина.

Как распространяется взрыв по взрывчатому веществу, например гремучему газу? Когда поджигают взрывчатое вещество, возникает местный нагрев. Реакция

происходит в нагретом объеме. Но при реакции выделяется тепло, которое путем теплопередачи переходит в соседние слои смеси. Этого тепла достаточно для того, чтобы и в соседнем слое произошла реакция. Вновь выделившееся тепло поступит в следующие слои гремучего газа, и так со скоростью, связанной с передачей тепла, реакция распространяется по всему веществу. Скорость такой передачи – порядка 20–30 м/с. Разумеется, это очень быстро. Метровая трубка с газом взрывается за  $1/20$  с, т. е. почти мгновенно, в то время как скорость горения дров или кусков углей, происходящего с поверхности, а не в объеме, измеряется сантиметрами в минуту, т. е. в несколько тысяч раз меньше.

Тем не менее, можно назвать и этот взрыв медленным, так как возможен другой взрыв, в сотни раз более быстрый, чем описанный.

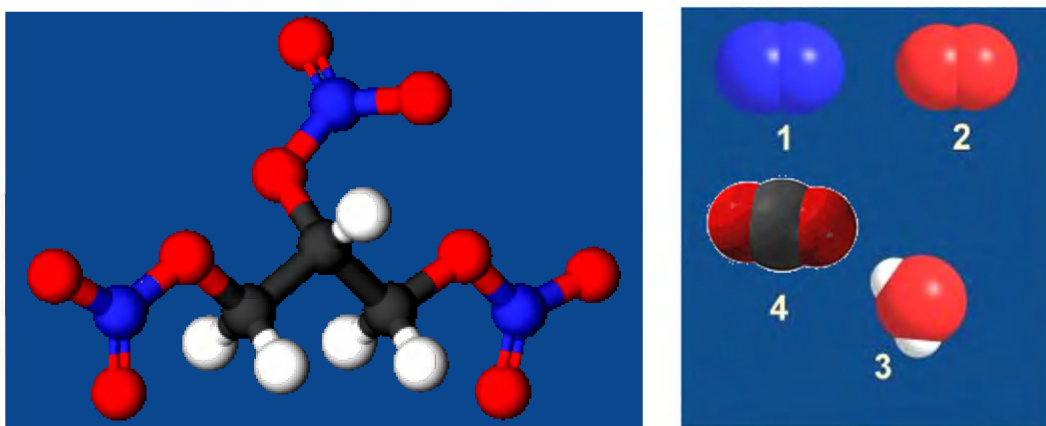


Рис. 7.3. Модель нитроглицерина: черные шарики – углерод, белые – водород, красные – кислород, синие – азот. Некоторые продукты его взрыва: 1 – азот, 2 – кислород, 3 – вода, 4 – углекислый газ.

Быстрый взрыв вызывается ударной волной. Если в каком-либо слое вещества резко повышается давление, то от этого места начнет распространяться фронт повышенного давления. В этом случае и говорят об ударной волне. Эта волна приводит к значительному скачку температуры, который передается от слоя к слою. Повышение температуры дает начало взрывной реакции, а взрыв приводит к повышению давления и поддерживает ударную волну, интенсивность которой иначе быстро падала бы по мере ее распространения. Таким образом, ударная волна вызывает взрыв, а взрыв в свою очередь поддерживает ударную волну.

Описанный нами взрыв называется детонацией. Так как детонация распространяется по веществу со скоростями ударной волны (порядка 1 км/с), то она действительно быстрее "медленного" взрыва в сотни раз.

Какие же вещества взрываются "медленно", а какие "быстро"? Так ставить вопрос нельзя: одно и то же вещество, находящееся в разных условиях, может и взрываться "медленно" и детонировать, а в некоторых случаях "медленный" взрыв переходит в детонацию.

Некоторые вещества, например йодистый азот, взрываются от прикосновения соломинки, от небольшого нагревания, от световой вспышки. Такое взрывчатое вещество, как тротил, не взрывается, если его уронить, даже если его прострелить из винтовки. Для взрыва требуется сильная ударная волна.

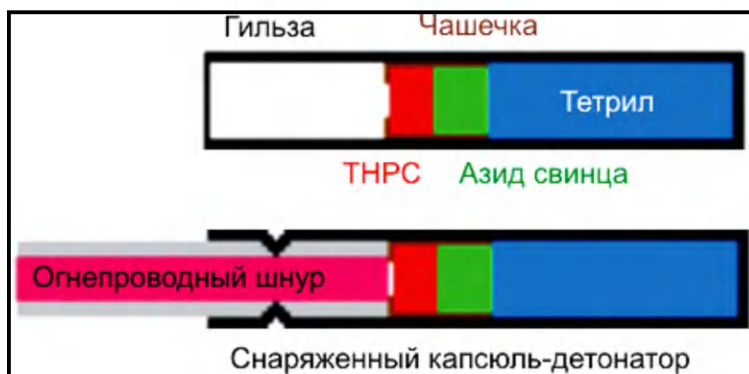
Существуют вещества, еще менее чувствительные к внешним воздействиям. Удобрильная смесь аммиачной селитры и сернокислого аммония не считалась взрывчатой до трагического случая, происшедшего в 1921 г. на немецком химическом заводе в Оппау. Для дробления слежавшейся смеси там был применен взрывной способ. В результате на воздух взлетели склад и весь завод. В несчастье нельзя было упрекать инженеров завода: примерно двадцать тысяч подрывов прошло

нормально и лишь один раз создались условия, благоприятные для детонации.

Вещества, которые взрываются лишь под действием ударной волны, а при обычных условиях устойчиво существуют и даже не боятся огня, весьма удобны для техники взрывного дела. Такие вещества можно производить и хранить в больших количествах. Однако для приведения этих инертных взрывчатых веществ в действие нужны зачинатели или, как говорят, инициаторы взрыва. Такие инициирующие взрывные вещества совершенно необходимы как источники ударных волн.

Примером инициирующих веществ могут служить азид свинца или гремучая ртуть. Если крупинку такого вещества положить на лист жести и поджечь, то происходит взрыв пробивающий в жести отверстие. Взрыв таких веществ в любых условиях детонационный.

Если немного азид свинца поместить на заряд вторичного взрывчатого вещества и поджечь, то взрыв инициатора дает ударную волну, достаточную для детонации вторичного взрывчатого вещества. На практике взрыв производится при помощи капсюля-детонатора (1-2 г инициирующего вещества). Капсюль может быть подожжен на расстоянии, например, при помощи длинного шнура (бикфордов шнур); исходящая от капсюля ударная волна взорвет вторичное взрывчатое вещество.



Строение капсюля-детонатора № 8А (ТНРС - тринитррезорцинат свинца).



Строение бикфордова шнура.

В ряде случаев технике надо бороться с детонационными явлениями. В двигателе автомобильного мотора в обычных условиях происходит "медленный взрыв" смеси бензина с воздухом. Однако иногда возникает и детонация. Ударные волны в моторе как систематическое явление совершенно недопустимы, так как под их действием стенки цилиндров мотора быстро выйдут из строя.

Для борьбы с детонацией в двигателях надо либо применять специальный бензин (так называемый бензин с высоким октановым числом), либо подмешивать в бензин специальные вещества - антидетонаторы не дающие развиваться ударной волне.

Одним из распространенных антидетонаторов является тетраэтилсвинец (ТЭС). Это вещество очень ядовито, и инструкция предупреждает о необходимости осторожно обращаться с таким бензином. Сейчас этилированный бензин запрещен во многих странах, но используется кое-где как горючее для двигателей небольших самолетов.

Детонации нужно избегать при конструировании артиллерийского орудия. Ударные волны не должны образовываться внутри ствола при выстреле, в противном случае орудие выйдет из строя.

### Двигатели, работающие за счет превращения молекул

Человек, живущий в XX веке, привык пользоваться разнообразными двигателями, выполняющими за него работу, удесятеряющими его силы.

В самом простейшем случае оказывается выгодным превратить механическую энергию в механическую же, но другого рода. Скажем, заставить ветер или поток воды вращать мельничное колесо.

На гидроэлектростанциях процесс превращения энергии водяного потока в круговое движение турбины является промежуточным. Турбина приводит в движение электрическую машину, которая дает ток. Но о таком преобразовании энергии речь впереди.

Уходят в прошлое паровые двигатели. Паровоз стал музейной редкостью. Слишком уж низкий у тепловой машины коэффициент полезного действия.

Это не значит, что вышли из употребления паровые турбины. Но и там превращение энергии расширяющегося пара в механическое движение колеса является лишь промежуточным этапом. Конечная цель – это получение электроэнергии.

Что же касается самолетов и автомобилей, то заставлять их двигаться с помощью парового котла или паровой турбины явно не имеет смысла: слишком велик будет суммарный вес двигателя и нагревателя в пересчете на одну лошадиную силу.

Но можно избавиться от постороннего нагревателя. В газовой турбине рабочим телом непосредственно являются раскаленные продукты сгорания высокотеплотворного топлива. В этих двигателях человек использует химические реакции, т. е. превращения молекул, для получения энергии. Этим определяются и важные преимущества газовой турбины перед паровой, и большие технические трудности, связанные с обеспечением ее надежной работы.

Преимущества очевидны: камера сгорания для сжигания топлива имеет малые размеры и может быть размещена под кожухом турбины, а продукты сгорания горючей смеси, состоящей, например, из распыленного керосина и кислорода, имеют температуру, недостижимую для пара. Тепловой поток, образующийся в камере сгорания газовой турбины, очень интенсивен, что дает возможность получить высокий к. п. д.

Но эти преимущества оборачиваются и недостатками. Стальные лопатки турбины работают в струях газа, имеющих температуру до  $1200^{\circ}\text{C}$  и неизбежно насыщенных, микроскопическими зольными частицами. Легко себе представить, какие высокие требования приходится предъявлять к материалам, из которых изготавливают газовые турбины.

При попытке же сконструировать газовую турбину мощностью около 200 л. с. для легкового автомобиля пришлось столкнуться с совсем уже своеобразной трудностью: турбина получалась столь малых размеров, что обычные инженерные решения и привычные материалы и вовсе, отказались служить. Однако технические трудности уже преодолеваются. Автомобили с газовыми турбинами созданы.

Легче оказалось использовать газовую турбину на железнодорожном транспорте. Локомотивы с газовыми турбинами – газотурбовозы – уже не редкость.

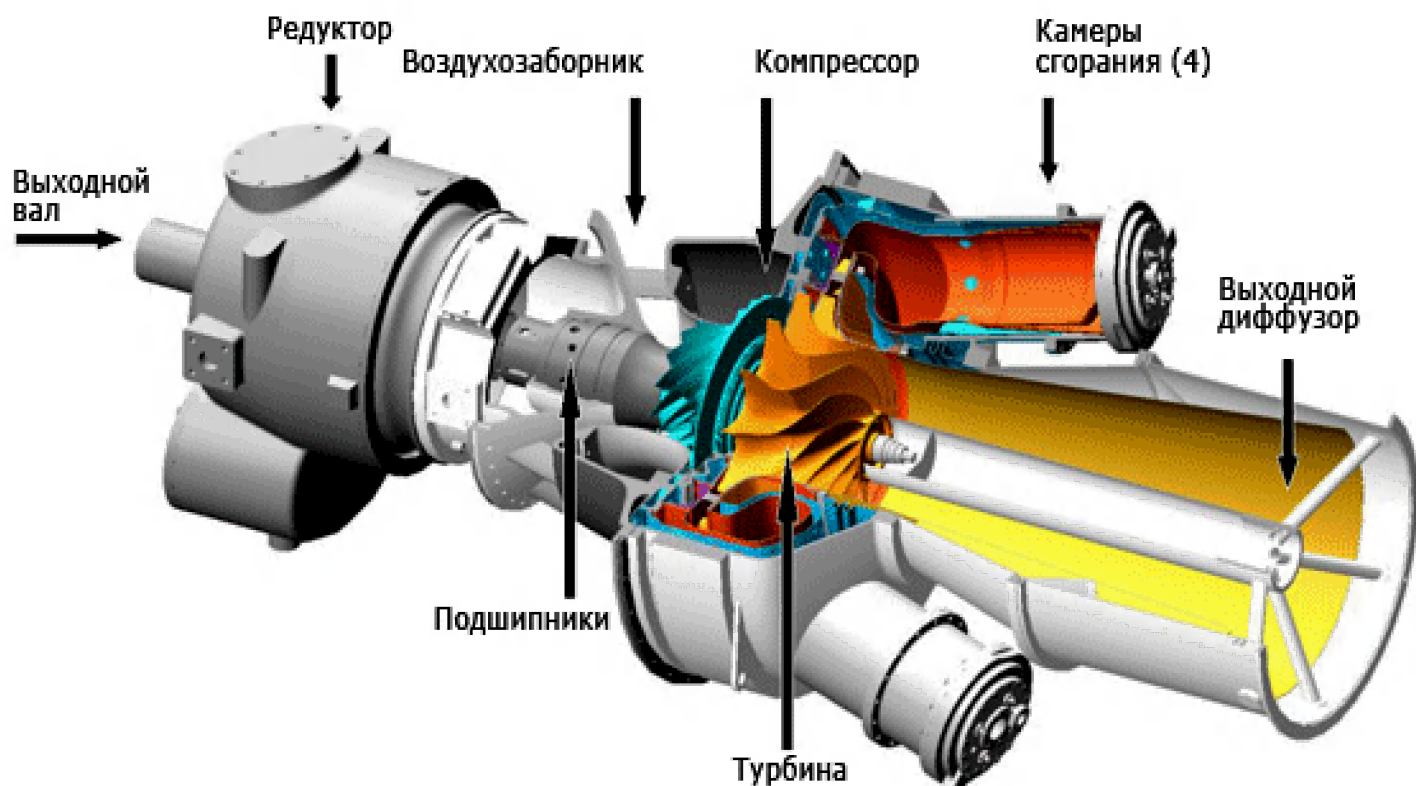


Схема газовой турбины.

Но широкую дорогу газовой турбине проложили совсем другие двигатели, в которых газовая турбина является хотя и необходимой, но подчиненной составной частью. Речь идет о турбореактивном двигателе – основном в настоящее время типе двигателя в реактивной авиации.

Принцип реактивного двигателя крайне прост. В прочной камере сгорания сжигается горячая смесь; продукты сгорания, имеющие чрезвычайно большую скорость (3000 м/с при сжигании водорода в кислороде, несколько меньше для других видов топлива), выбрасываются через плавно расширяющееся сопло в сторону, противоположную движению. Даже сравнительно небольшие количества продуктов сгорания при таких скоростях уносят из двигателя большой импульс.

С созданием реактивных двигателей люди получили реальную возможность осуществить полеты между планетами.

Большое распространение получили жидкостные реактивные двигатели (ЖРД). В камеру сгорания такого двигателя впрыскивают определенные порции топлива (например, этиловый спирт) и окислителя (обычно жидкий кислород). Смесь сгорает, создавая тягу. В высотных ракетах типа V-2 тяга имеет величину порядка 15 тс. В ракету заливается 8,5 т топлива и окислителя, которые сгорают за 1,5 мин. Эти цифры достаточно красноречивы. ЖРД целесообразны только для полетов на большие высоты или за пределы земной атмосферы. Не имеет смысла заливать в самолет, предназначенный для полетов в нижних слоях атмосферы (до 20 км), где достаточно кислорода, большие количества специального окислителя. Но тогда возникает проблема нагнетания в камеру сгорания громадных количеств воздуха, необходимых для интенсивного горения. Решается эта, проблема естественно: часть энергии газовой струи, созданной в камере сгорания, отбирается для вращения мощного компрессора, нагнетающего воздух в камеру.

Мы уже говорили, при помощи какого двигателя можно совершить работу за счет энергии струи раскаленных газов, конечно, это газовая турбина. Вся система называется турбореактивным двигателем (ТРД) (рис. 7.4). Эти двигатели не имеют конкурентов при полетах со скоростями от 800 до 1200 км/ч.

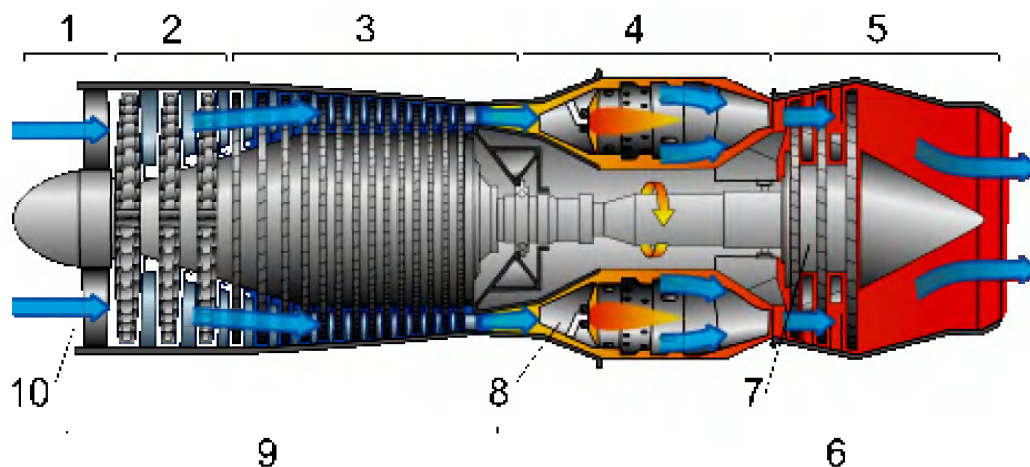


Рис. 7.4. Схема ТРД: 1 - Забор воздуха, 2 - Компрессор низкого давления, 3 - Компрессор высокого давления, 4 - Камера сгорания, 5 - Расширение рабочего тела в турбине и сопле, 6 - Горячая зона, 7 - Турбина, 8 - Зона входа первичного воздуха в камеру сгорания, 9 - Холодная зона, 10 - Входное устройство.

Для полетов на большие расстояния со скоростью 600–800 км/ч на валу ТРД устанавливают дополнительно обычный авиационный винт. Это - турбовинтовой реактивный двигатель (ТВРД). При скоростях полета около 2000 км/ч или более напор разрываемого самолетом воздуха настолько силен, что нужда в компрессоре отпадает. Тогда, естественно, не нужна и газовая турбина. Двигатель превращается в трубу переменного сечения, в строго определенном месте которой происходит сгорание топлива. Это прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД). Ясно, что ПВРД не может поднять самолет с земли, он становится работоспособным лишь при очень высокой скорости полета.

При полетах на малых скоростях реактивные двигатели совершенно нецелесообразны из-за больших расходов горючего.

При движении по земле, воде или в воздухе со скоростями от 0 до 500 км/ч верно служат человеку поршневые двигатели внутреннего сгорания, бензиновые или дизельные. В соответствии с названием главной частью такого двигателя является цилиндр, внутри которого перемещается поршень. Возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение вала при помощи шатунно-кривошипной системы (рис. 7.5).

Движение поршня передается через шатун на кривошип, являющийся частью коленчатого вала. Движение кривошипа и вызывает вращение вала. Наоборот, если прокручивать коленчатый вал, то это вызовет качание шатунов и смещение поршней внутри цилиндров.

Цилиндр бензинового двигателя снабжен двумя клапанами, один из которых предназначен для впуска горючей смеси, а другой для выпуска отработанных газов. Для того чтобы двигатель начал работать, его надо прокрутить, используя энергию какого-либо постороннего источника. Пусть в какой-то момент поршень пошел вниз, а впускной клапан открыт. В цилиндр всасывается смесь распыленного бензина и воздуха. Впускной клапан заблокирован с валом двигателя таким образом, что закрывается в тот момент, когда поршень достигает крайнего нижнего положения.

При дальнейшем прокручивании вала поршень идет вверх. Автоматический привод клапанов держит их в течение этого хода закрытыми, поэтому горючая смесь сжимается. Когда поршень находится в верхнем положении, сжатая смесь зажигается электрической искрой, проскакивающей между электродами запальной свечи.

Смесь вспыхивает, расширяющиеся продукты горения работают, с силой посылая

поршень вниз. Вал двигателя получает мощный толчок, маховик, сидящий на валу, запасает значительную кинетическую энергию. За счет этой энергии происходят все три последующих подготовительных такта: сначала выпуск, когда выпускной клапан открыт, а поршень идет вверх, выталкивая отработанные газы из цилиндра, потом – известные уже нам всасывание и сжатие, затем – новая вспышка. Двигатель заработал.

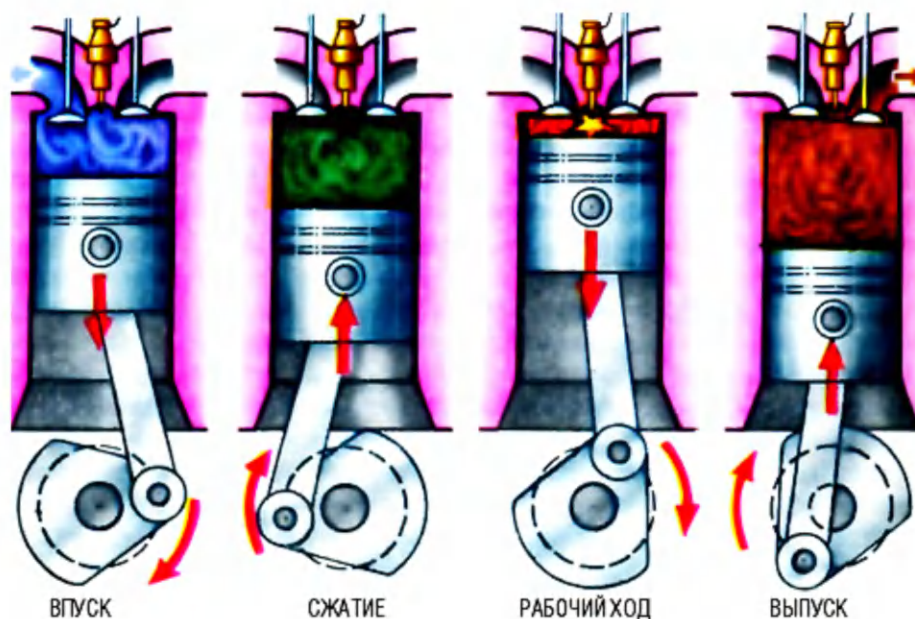


Рис. 7.5. Принцип работы двухтактного двигателя внутреннего сгорания.

Бензиновые двигатели имеют мощности от долей лошадиной силы до 4000 л.с., к.п.д. – до 40%, вес на лошадиную силу – до 300 гс. Этими хорошими показателями объясняется их широкое применение в автомобилях и самолетах.

Каким образом можно повысить к.п.д. бензинового двигателя? Главный путь – повышение степени сжатия.

Если смесь сжать перед воспламенением сильнее, то ее температура будет выше. А почему важно повысить температуру? Дело в том, что можно строго доказать (доказательство громоздкое и неинтересное, а потому мы его опустим; читатель неоднократно призывается нами кое-когда верить авторам на слово), что максимальное значение к.п.д. равно  $1 - T_0/T$ , где  $T$  – температура рабочего тела, а  $T_0$  – температура окружающей среды. Со средой мы ничего поделать не можем, а вот температуру рабочего тела стремимся во всех случаях увеличить возможно больше. Но (да, к сожалению, есть "но") сильно сжатая смесь детонирует. Рабочий ход приобретает характер сильного взрыва, который может повредить двигатель.

Приходится принимать специальные меры, уменьшающие детонационные свойства бензина, а это сильно удорожает и без того не дешевое топливо.

Проблемы повышения температуры при рабочем ходе, устранения детонации и удешевления топлива удачно решены в дизельном двигателе.

Дизельный двигатель по конструкции очень напоминает бензиновый, но рассчитан на более дешевые и низкокачественные продукты перегонки нефти, чем бензин.

Цикл начинается с всасывания в цилиндр чистого воздуха. Затем воздух сжимается поршнем примерно до 20 атм.

Добиться такого сильного сжатия, прокручивая двигатель рукой, было бы очень трудно. Поэтому дизель запускают специальным пусковым мотором, обычно бензиновым, или сжатым воздухом.

При сильном сжатии температура воздуха в цилиндре поднимается настолько, что становится достаточной для воспламенения горючей смеси. Но как впустить ее в цилиндр, где достигнуто высокое давление? Впускной клапан здесь не годится. Его заменяют форсункой, через крошечное отверстие нагнетающей топливо в цилиндр. Оно воспламеняется по мере поступления, чем устраняется опасность детонации, существенная для бензинового двигателя.

Устранение опасности детонации позволяет строить тихоходные судовые дизели на много тысяч лошадиных сил. Они, естественно, приобретают весьма значительные размеры, но остаются компактнее агрегата из парового котла и турбины.

Суда, снабженные дизельными двигателями, без особой логики называются в нашей литературе теплоходами.

Корабль, на котором между дизелем и винтом стоят генератор и мотор постоянного тока, называют "дизель-электроход".

Дизельные локомотивы - тепловозы, широко внедряемые сейчас на железных дорогах, - построены по той же схеме, поэтому их можно называть "дизель-электро-возами".

Поршневые двигатели внутреннего сгорания, рассмотренные нами в последнюю очередь, заимствовали основные конструктивные элементы - цилиндр, поршень, получение вращательного движения при помощи шатунно-кривошипного механизма - у постепенно сходящей сейчас со сцены паровой машины. Паровую машину можно было бы назвать "поршневым двигателем внешнего сгорания". Именно это сочетание громоздкого парового котла с не менее громоздкой системой преобразования поступательного движения во вращательное движение лишает паровую машину возможности успешно конкурировать с более современными двигателями.

Современные паровые машины имеют к.п.д. около 10%. Снятые сейчас с производства паровозы выпускали в трубу без всякой пользы до 95% сжигаемого ими топлива.

Этот "рекордно" низкий к.п.д. объясняется неизбежным ухудшением свойств парового котла, предназначенного для установки на паровозе, по сравнению со стационарным паровым котлом.

Почему же паровые машины в течение столь долгого времени имели такое широкое применение на транспорте?

Кроме приверженности к привычным решениям, играло роль и то обстоятельство, что паровая машина имеет очень хорошую тяговую характеристику: ведь чем с большей силой сопротивляется нагрузка перемещению поршня, тем с большей силой давит на него пар, т. е. вращающий момент, развиваемый паровой машиной, возрастает в трудных условиях, что и важно на транспорте. Но, разумеется, отсутствие для паровой машины необходимости в сложной системе переменных передач к ведущим осям ни в коей мере не искупает ее коренного порока - низкого к.п.д.

Этим и объясняется вытеснение паровой машины другими двигателями.

## ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

### Сохранение энергии на языке молекул

Законы термодинамики относятся к числу великих законов природы. Таких законов немного. Их можно пересчитать по пальцам одной руки.

Основная цель науки, и в том числе, конечно, физики, состоит в поисках правил, закономерностей, общих законов, великих законов, которым подчиняется природа. Этот поиск начинается с наблюдения или эксперимента. Поэтому мы говорим, что все наши знания носят эмпирический (опытный) характер. За наблюде-

ниями следует поиск обобщений. Путем настойчивого труда, размышлений, вычислений и озарения находят законы природы. После этого следует третий этап: строгий логический вывод из этих общих законов следствий и частных законов, которые могут быть проверены на опыте. В этом, кстати говоря, и состоит объяснение явления. Объяснить – это, значит, подвести частное под общее.

Разумеется, мечтой науки является сведение законов к минимальному числу постулатов. Физики неустанно ищут такие возможности, стараются в нескольких строках элегантно выразить всю сумму наших знаний о природе. Примерно тридцать лет Альберт Эйнштейн пытался объединить законы гравитационного и электромагнитного полей. Удастся ли достигнуть этой цели, покажет будущее.

Что же это за законы термодинамики? Краткое определение, как правило, страдает неточностью. Но, пожалуй, ближе всего к сути дела мы окажемся, если скажем, что термодинамика есть учение о правилах, согласно которым тела обмениваются энергией. Однако сведения о законах (или, как их иногда называют, началах) термодинамики позволяют уже строго логическим (математическим) путем найти связи между тепловыми и механическими свойствами тел, разрешают установить ряд важнейших закономерностей, касающихся изменения состояния тел. Так что, пожалуй, наиболее точным определением этой интересующей нас главы физики будет тривиальная фраза: термодинамика – это совокупность знаний, которые следуют из первого и второго начал термодинамики.

Первое начало термодинамики было записано в краткой и выразительной форме еще тогда, когда физики предпочитали не говорить о молекулах. Такого типа формулировки (которые не требуют от нас "залезать" вовнутрь тела) носят название феноменологических, т. е., в точном переводе, "относящихся к явлению". Первое начало термодинамики является некоторым уточнением и расширением закона сохранения энергии.

Мы установили, что тела обладают кинетической и потенциальной энергиями и что в замкнутой системе сумма этих энергий – полная энергия – не может ни исчезать, ни появляться. Энергия сохраняется.

Если не говорить о движении небесных тел, то, пожалуй, можно без преувеличения сказать, что нет таких явлений, в которых механическое движение не сопровождалось бы нагреванием или охлаждением окружающих тел. Когда тело благодаря трению остановилось, его кинетическая энергия на первый взгляд пропала. Однако это лишь на первый взгляд. На самом же деле можно доказать, что сохранение имеет место с абсолютной точностью: механическая энергия тела ушла на нагрев среды. Но что это значит на языке молекул? А вот что: кинетическая энергия тела перешла в кинетическую энергию молекул среды.

Ну, хорошо, а что происходит в том случае, если мы в ступке толчем лед? Термометр все время показывает нуль. Казалось бы, механическая энергия исчезла. Куда же она делась в этом случае? И здесь ответ нам ясен: лед превратился в воду. Значит, механическая энергия пошла на разрыв связей между молекулами, изменилась внутренняя энергия молекул. Каждый раз, когда мы замечаем, что механическая энергия тел исчезла, то без труда обнаруживаем, что это нам только кажется, а на самом деле механическая энергия перешла во внутреннюю энергию тел.

В замкнутой системе одни тела могут терять, а другие – приобретать внутреннюю энергию. Но сумма внутренней энергии всех тел, сложенная с механической энергией, остается постоянной для данной системы.

Теперь оставим механическую энергию без внимания. Рассмотрим два момента времени. В первый момент тела покоились, потом происходили какие-то события, а теперь тела снова покоятся. Мы уверены в том, что внутренняя энергия всех тел, входивших в систему, осталась неизменной. Но одни тела потеряли энергию, другие приобрели. Это могло произойти двумя путями. Либо одно тело совершило над другим механическую работу (допустим, сжало его или растянуло), либо одно

тело передало другому тепло.

Первое начало термодинамики утверждает: изменение внутренней энергии тела равно сумме сообщенной ему работы и переданного ему тепла.

Тепло и работа являются двумя различными формами, в которых энергия может передаваться от одного тела к другому. Передача тепла происходит беспорядочными ударами молекул. Передача механической энергии состоит в том, что молекулы одного тела стройно, двигаясь "шеренгами", передают свою энергию другому телу.

### Как превратить тепло в работу

В этом заголовке мы несколько небрежно пользуемся сейчас словом "тепло". Как только что было сказано, тепло есть форма передачи энергии. Поэтому правильнее было бы поставить вопрос так: как превратить тепловую энергию, т. е. кинетическую энергию движения молекул, в работу. Но слово "тепло" привычное краткое и выразительное. Надеемся, что читателя не смутят, если мы будем пользоваться им в том смысле, который сейчас был точно определен.

Тепла вокруг нас не занимать. Но, увы, вся эта энергия движения молекул совершенно бесполезна: она не может быть превращена в работу. Такую энергию никак нельзя причислить к нашим энергетическим запасам. Разберемся в этом.

Отклоненный от положения равновесия маятник рано или поздно остановится; запущенное от руки колесо перевернутого велосипеда сделает много оборотов, но, в конце концов, тоже прекратит движение. Нет исключения из важного закона: все окружающие нас тела, движущиеся самопроизвольно, в конце концов, останавливаются<sup>1</sup>.

Если имеются два тела - нагретое и холодное, то тепло будет передаваться от первого ко второму до тех пор, пока температуры не уравниваются. Тогда теплопередача прекратится, состояния тел перестанут изменяться. Установится тепловое равновесие.

Нет такого явления, при котором тела самопроизвольно выходили бы из состояния равновесия. Не может быть такого случая, чтобы колесо, сидящее на оси, начало бы вертеться само по себе. Не бывает и так, чтобы нагрелась сама по себе стоящая на столе чернильница.

Стремление к равновесию означает, что у событий имеется естественный ход: тепло переходит от горячего тела к холодному, но не может самопроизвольно перейти от холодного тела к горячему.

Механическая энергия колеблющегося маятника благодаря сопротивлению воздуха и трению в подвесе перейдет в тепло. Однако ни при каких условиях маятник не начнет раскачиваться за счет тепла, имеющегося в окружающей среде. Тела приходят в состояние равновесия, но самопроизвольно выйти из него не могут.

Этот закон природы сразу же показывает, какая часть находящейся вокруг нас энергии совершенно бесполезна. Это энергия теплового движения молекул тех тел, которые находятся в состоянии равновесия. Такие тела не способны превратить свою энергию в механическое движение.

Эта часть энергии огромна. Подсчитаем величину этой "мертвой" энергии. Если понизить температуру на 1 градус, то килограмм земли, имеющий теплоемкость 0,2 ккал/кг, потеряет 0,2 ккал. Относительно небольшая цифра. Однако прикинем, какую энергию мы получили бы, если бы удалось охладить всего лишь на один градус такое вещество в массе земного шара, равной  $6 \cdot 10^{24}$  кг. Умножая, мы получим грандиозную цифру:  $1,2 \cdot 10^{24}$  ккал. Чтобы вы могли представить эту

---

<sup>1</sup> Здесь, разумеется, не имеются в виду равномерное поступательное движение и равномерное вращение изолированной системы тел как целого.

величину, скажем тут же, что в настоящее время энергия, вырабатываемая ежегодно электростанциями всего мира, равна  $10^{15}$ - $10^{16}$  ккал, т. е. в миллиард раз меньше.

Не приходится удивляться, что подобного рода расчеты действуют гипнотически на малосведущих изобретателей. Мы говорили раньше о попытках построения вечного двигателя ("перпетуум мобиле"), создающего работу из ничего. Опираясь на положения физики, вытекающими из закона сохранения энергии, невозможно опровергнуть этот закон созданием вечного двигателя (теперь мы назовем его вечным двигателем первого рода).

Такую же ошибку совершают и несколько более хитроумные изобретатели, которые создают конструкции двигателей, производящих механическое движение за счет одного лишь охлаждения среды. Этот, увы, неосуществимый двигатель называют вечным двигателем второго рода. И здесь совершается логическая ошибка, поскольку изобретатель основывается на законах физики, являющихся следствием закона о стремлении всех тел к состоянию равновесия, и при помощи этих законов пытается опровергнуть основания, на которых они зиждутся.

Итак, одним лишь отнятием тепла у среды нельзя произвести работу. Другими словами, система тел, находящихся в равновесии друг с другом, энергетически бесплодна.

Значит, для получения работы необходимо прежде всего найти тела, не находящиеся в равновесии со своими соседями. Только тогда удастся осуществить процесс перехода тепла от одного тела к другому или превращения тепла в механическую энергию.

Создание потока энергии - вот необходимое условие получения работы. На "пути" этого потока возможно превращение энергии тел в работу. Поэтому к энергетическим запасам, полезным для людей, относится энергия лишь тех тел, которые не находятся в равновесии с окружающей средой.

Закон, который мы разъяснили - невозможность создания вечного двигателя второго рода - называется вторым началом термодинамики. Пока мы его выразили в виде феноменологического правила. Но так как мы знаем, что тела построены из молекул, и знаем, что внутренняя энергия есть сумма кинетической и потенциальной энергии молекул, то нам не очень ясно, с чего это вдруг появился какой-то "дополнительный" закон. Почему закона сохранения энергии, сформулированного для молекул, недостаточно, чтобы разобраться во всех природных явлениях?

Короче говоря, напрашивается вопрос: а, собственно говоря, почему молекулы ведут себя так, что, предоставленные сами себе, стремятся к равновесию?

## Энтропия

Вопрос этот очень важен и интересен. Чтобы ответить на него, придется начать издалека.

Обыденные, часто встречающиеся случаи происходят на каждом шагу, они вероятны. Напротив, невероятными случаями считают события, которые произошли благодаря редкому стечению обстоятельств.

Невероятное событие не требует проявления каких бы то ни было сверхъестественных сил. В нем нет ничего невозможного, ничего противоречащего законам природы. И все же во многих случаях мы совершенно убеждены в том, что невероятное практически тождественно невозможному.

Рассмотрите выигрышную таблицу лотереи. Подсчитайте, сколько билетов имеют номера, которые заканчиваются цифрой 4, или 5, или 6. Вы несколько не удивитесь, когда найдете, что каждой цифре соответствует примерно десятая часть выигравших облигаций.

Ну, а может быть, чтобы билетов с номерами, заканчивающимися цифрой 5, было

бы не одна десятая, а одна пятая часть? Маловероятно, скажете вы. Ну, а так, чтобы половина выигравших билетов имела такие номера? Нет, это совершенно невероятно, а значит, и невозможно.

Размышляя над тем, какие же условия нужны, чтобы событие было вероятным, мы приходим к следующему выводу: вероятность события зависит от числа способов, которыми оно может быть осуществлено. Чем больше число способов, тем чаще будет происходить такое событие.

Точнее, вероятность есть отношение числа способов осуществления данного события к числу способов осуществления всех возможных событий.

Напишите цифры от 0 до 9 на десяти картонных кружках, положите их в мешочек. Теперь вытаскивайте кружок, замечайте номер, а кружок кладите обратно. Это очень похоже на розыгрыш лотереи. Можно с уверенностью сказать, что одну и ту же цифру вы не вытянете подряд, скажем, 7 раз, даже если посвятите этому скучному занятию целый вечер. Почему? Вытаскивание семи одинаковых цифр — это одно событие, осуществляемое всего десятью способами (7 нулей, 7 единиц, 7 двоек и т. д.). А всего есть  $10^7$  возможностей вытащить семь кружков. Поэтому вероятность вытянуть подряд семь кружков с одинаковыми цифрами равна  $10/10^7 = 10^{-6}$ , т. е. всего одной миллионной.

Если насыпать в ящичек черные и белые зернышки и перемешать их лопаткой, то очень скоро зерна распределятся равномерно по всему ящичку. Зачерпнув наудачу горсть зерен, мы найдем в ней примерно одинаковое число белых и черных зернышек. Сколько бы мы ни перемешивали их, результат будет все время тем же — равномерность сохранится. Но почему не происходит разделения зерен? Почему долгим перемешиванием не удастся загнать черные зерна кверху, а белые книзу? И здесь все дело в вероятности. Такое состояние, при котором зерна распределены беспорядочно, т. е. черные и белые равномерно перемешаны, может быть осуществлено огромным множеством способов и, следовательно, обладает самой большой вероятностью. Напротив, такое состояние, при котором все белые зерна наверху, а черные внизу, единственно. Поэтому вероятность его осуществления ничтожно мала.

От зернышек в мешочке мы легко перейдем к молекулам, из которых построены тела. Поведение молекул подчиняется случаю. Это особенно ярко видно на примере газов. Как мы знаем, молекулы газа беспорядочно сталкиваются, движутся во всех возможных направлениях то с одной, то с другой скоростью. Это вечное тепловое движение непрерывно перетасовывает молекулы, перемешивает их так, как это делает лопатка с зернышками в ящике.

Комната, в которой мы находимся, заполнена воздухом. Почему в какой-либо момент не может случиться так, что молекулы из нижней половины комнаты перейдут в верхнюю половину – под потолок? Такой процесс не невозможен – он очень невероятен. Но что значит – очень невероятен? Если бы такое явление было даже в миллиард раз менее вероятно, чем беспорядочное распределение молекул, то все-таки кто-нибудь смог бы его дождаться. Может быть, мы и дождемся такого явления?

[illegible]

Какое же будет состояние молекул газа? Наиболее вероятное. А наиболее вероятным будет состояние, осуществимое наибольшим числом способов, т. е. беспорядочное распределение молекул, при котором имеется примерно одинаковое число молекул, движущихся вправо и влево, вверх и вниз, при котором в каждом объеме находится одинаковое число молекул, одинаковая доля быстрых и медленных молекул в верхней и нижней частях сосуда. Любое отклонение от такого беспорядка,

т. е. от равномерного и беспорядочного перемешивания молекул по местам и по скоростям, связано с уменьшением вероятности, или, короче, представляет собой невероятное событие.

Напротив, явления, связанные с перемешиванием, с созданием беспорядка из порядка, увеличивают вероятность состояния. Эти явления и будут определять естественный ход событий. Закон о невозможности вечного двигателя второго рода, закон о стремлении всех тел к равновесному состоянию, получает свое объяснение. Почему механическое движение переходит в тепловое? Да потому, что механическое движение упорядочено, а тепловое беспорядочно. Переход от порядка к беспорядку повышает вероятность состояния.

Величину, характеризующую степень порядка и связанную простой формулой с числом способов создания состояния, физики называли энтропией. Формулы приводить не будем, скажем лишь, что чем больше вероятность, тем больше и энтропия.

Закон природы, который мы сейчас обсуждаем, говорит: все естественные процессы происходят так, что вероятность состояния возрастает. Другими словами тот же закон природы формулируется как закон возрастания энтропии.

Закон возрастания энтропии - важнейший закон природы. Из него вытекает, в частности, и невозможность построения вечного двигателя второго рода, или, что то же самое, утверждение, что предоставленные сами себе тела стремятся к равновесию. Закон возрастания энтропии является тем же вторым началом термодинамики. Различие формальное, а содержание то же. А самое главное: мы дали второму началу термодинамики трактовку на языке молекул.

В некотором смысле объединение этих двух законов под одну шапку не вполне удачно. Закон сохранения энергии - закон абсолютный. Что же касается закона возрастания энтропии, то, как следует из сказанного выше, он применим лишь к достаточно большому собранию частиц, а для отдельных молекул его просто невозможно сформулировать.

Статистический (это и обозначает относящийся к большому собранию частиц) характер второго начала термодинамики несколько не принижает его значения. Закон возрастания энтропии предопределяет направление процессов. В этом смысле энтропию можно назвать директором-распорядителем природных богатств, а энергия служит у нее бухгалтером.

## Флуктуации

Итак, самопроизвольные процессы ведут систему к наиболее вероятному состоянию - к возрастанию энтропии. После того как энтропия системы стала максимальной, наступает равновесие.

Но это вовсе не означает, что молекулы приходят в состояние покоя. Внутри системы идет интенсивная жизнь. Поэтому, строго говоря, любое физическое тело каждое мгновение "перестает быть самим собой", взаимное расположение молекул в каждое последующее мгновение не такое, как в предыдущее. Таким образом, значения всех физических величин сохраняются "в среднем", они не строго равны своим наиболее вероятным значениям, а колеблются около них. Отклонение от равновесных наиболее вероятных значений называется флуктуацией. Величины разных флуктуации крайне незначительны. Чем больше величина флуктуации, тем она менее вероятна.

Среднее значение относительной флуктуации, т. е. доли интересующей нас физической величины, на которую эта величина может измениться благодаря тепловым хаотическим движениям молекул, может быть примерно представлено выражением  $1/\sqrt{N}$ , где  $N$  - число молекул изучаемого тела или его участка. Таким образом, флуктуации заметны для систем, состоящих из небольшого числа молекул, и совсем незаметны для больших тел, содержащих миллиарды миллиардов молекул.

Формула  $1/\sqrt{N}$  показывает, что в одном кубическом сантиметре газа плотность, давление, температура, а также любые другие свойства могут меняться на долю  $1/\sqrt{3 \cdot 10^{19}}$ , т. е. примерно в пределах  $10^{-8}\%$ . Такие флуктуации слишком малы, чтобы можно было обнаружить их опытом. Однако совсем иначе обстоит дело в объеме кубического микрометра. Здесь  $N = 3 \cdot 10^7$  и флуктуации будут достигать измеримых величин порядка уже сотых долей процента.

Флуктуация представляет собой "ненормальное" явление в том смысле, что она приводит к переходам от более вероятного состояния к менее вероятному. Во время флуктуации тепло переходит от холодного тела к горячему, нарушается равномерное распределение молекул, возникает упорядоченное движение.

Может быть, на этих нарушениях удастся построить вечный двигатель второго рода?

Представим себе, например, крошечную турбинку, находящуюся в разреженном газе. Нельзя ли устроить так, чтобы эта маленькая машина откликалась на все флуктуации какого-либо одного направления? Например, поворачивалась бы, если бы число молекул, летящих вправо, становилось больше числа молекул, движущихся влево. Такие маленькие толчки можно было бы складывать, и, в конце концов, совершилась бы работа. Принцип невозможности вечного двигателя второго рода был бы опровергнут.

Но, увы, подобное устройство принципиально невозможно. Подробное рассмотрение, учитывающее, что турбинка имеет свои собственные флуктуации, тем большие, чем меньше ее размеры, показывает, что флуктуации вообще не могут произвести какую бы то ни было работу. Хотя нарушения стремления к равновесию возникают беспрерывно вокруг нас, они не могут изменить неумолимого хода физических процессов в сторону, увеличивающую вероятность состояния, т. е. энтропию.

### Кто открыл законы термодинамики

Здесь нельзя ограничиться одним именем. У второго начала термодинамики есть своя история.

И здесь, так же как в истории первого начала термодинамики, в первую очередь должно быть упомянуто имя француза Сади Карно. В 1824 г. он издал на свои средства печатный труд под названием "Размышления о движущей силе огня". В этой работе впервые было указание, что тепло не может переходить от холодного тела к теплему без затраты работы. Карно показал также, что максимальный коэффициент полезного действия тепловой машины определяется лишь разностью температур нагревателя и охлаждающей среды.

Только после смерти Карно в 1832 г. на эту работу обратили внимание другие физики. Однако она мало повлияла на дальнейшее развитие науки из-за того, что все сочинение Карно было построено на признании неразрушимого и несоздаваемого "вещества" – теплорода.

Только после работ Майера, Джоуля и Гельмгольца, установивших закон эквивалентности тепла и работы, великий немецкий физик Рудольф Клаузиус (1822–1888) пришел ко второму началу термодинамики и математически сформулировал его. Клаузиус ввел в рассмотрение энтропию и показал, что сущность второго начала термодинамики сводится к неизбежному росту энтропии во всех реальных процессах.

Второе начало термодинамики позволяет сформулировать ряд общих законов, которым должны подчиняться все тела, как бы они ни были построены. Однако остается еще вопрос, как найти связь между строением тела и его свойствами? На этот вопрос отвечает область физики, которая называется статистической физикой.

Ясно, что при подсчете физических величин, описывающих систему, состоящую из миллиардов миллиардов частиц, совершенно необходим новый подход. Ведь было бы бессмысленно, не говоря уже о том, что и абсолютно невозможно, следить за движениями всех частиц и описывать это движение с помощью формул механики. Однако именно это огромное количество частиц позволяет применить к изучению тел новые, "статистические" методы. Эти методы широко используют понятие вероятности событий. Основы статистической физики были заложены замечательным австрийским физиком Людвигом Больцманом (1844-1906). В серии работ Больцман показал, каким образом указанная программа может быть осуществлена для газов.

В 1877 г. логическим завершением этих исследований явилось данное Больцманом статистическое истолкование второго начала термодинамики. Формула, связывающая энтропию и вероятность состояния системы, высечена на памятнике Больцману.

Трудно переоценить научный подвиг Больцмана, нашедшего в теоретической физике совершенно новые пути. Исследования Больцмана подвергались при его жизни насмешкам со стороны консервативной немецкой профессуры: в то время атомные и молекулярные представления считались многими наивными и ненаучными. Больцман покончил жизнь самоубийством, и обстановка, несомненно, сыграла в этом далеко не последнюю роль.

Здание статистической физики было в значительной степени завершено трудами выдающегося американского физика Джозайи Уилларда Гиббса (1839-1903). Гиббс обобщил методы Больцмана и показал, каким образом можно распространить статистический подход на все тела.

Последняя работа Гиббса вышла в свет уже в начале XX века. Очень скромный исследователь, Гиббс печатал свои труды в известиях небольшого провинциального университета. Прошло порядочное число лет, пока его замечательные исследования сделались известными всем физикам.

Статистическая физика показывает путь, следуя по которому можно вычислить свойства тел, состоящих из данного количества частиц. Конечно, не следует думать, что эти методы расчета всемогущи. Если характер движения атомов в теле очень сложен, как это имеет место в жидкостях, то реальное вычисление становится практически неосуществимым.

## БОЛЬШИЕ МОЛЕКУЛЫ

### Цепочки атомов

С природными веществами, состоящими из длинных молекул, в которых атомы связаны наподобие звеньев цепочки, химики и технологи имели дело давно. За примерами далеко ходить не надо: столь распространенные вещества, как каучук, целлюлоза, белок представляют собой цепочечные молекулы, состоящие из многих тысяч атомов. Структурные представления о таких молекулах возникли и развились в двадцатых годах, когда химики научились готовить их в лаборатории.

Одним из первых шагов в получении веществ, построенных из длинных молекул, было создание искусственного каучука. Эта великолепная работа была выполнена в 1926 г. советским химиком Сергеем Васильевичем Лебедевым. Задача получения каучука, который был остро необходим для изготовления автомобильных шин (резино ведь готовится из каучука), была продиктована тем, что природного каучука в Союзе не имеется.

В бразильских джунглях растет дерево гевея, источающее латекс - млечный сок, взвесь каучука. Индейцы делали из каучука мячи, пользовались им для создания обуви. Но в 1839 г. европейцы научились вулканизировать каучук. При обработке каучука серой вместо липкого и текучего каучука получалась эластичная

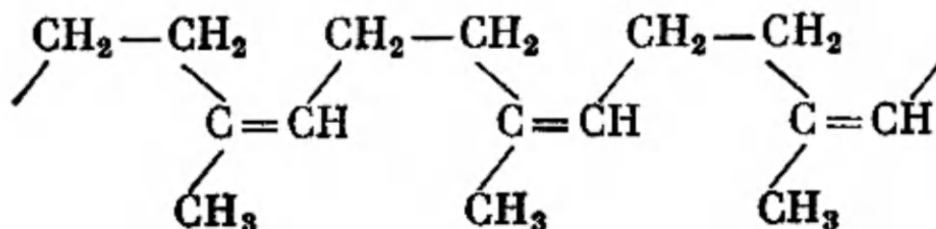
резина.



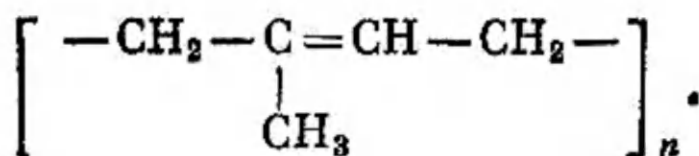
Плантация гевеи. Деревья иссечены разрезами.

Сначала ее потребление было небольшим. Сейчас человечеству нужны миллионы тонн каучука в год. Гевея растет только в тропических лесах. Так что, если освободиться от импорта, то надо готовить каучук на заводах.

Для этого требуется, конечно, знать, что же такое каучук. К началу работ Лебедева химическая формула каучука была известна. Вот она:



Нарисованная здесь цепочка не имеет ни начала, ни конца. Мы видим, что молекулы построены из одинаковых звеньев. Поэтому можно коротко записать формулу каучука в таком виде:



Число  $n$  достигает многих тысяч. Длинные молекулы, построенные из повторяющихся звеньев, получили название полимеров.

Теперь в технике и текстильной промышленности имеют широчайшее распространение очень большое число синтетических полимеров. К ним относятся нейлон, полиэтилен, капрон, полипропилен, полихлорвинил и многие другие.

Наиболее просто построена молекула полиэтилена. Мешочки из этого материала лежат теперь в ящиках кухонного стола в каждой квартире. Если предельно вытянуть молекулу полиэтилена, то она будет иметь вид, показанный на рис. 9.1. Физики сумели определить расстояния между атомами и углы между валентными связями.

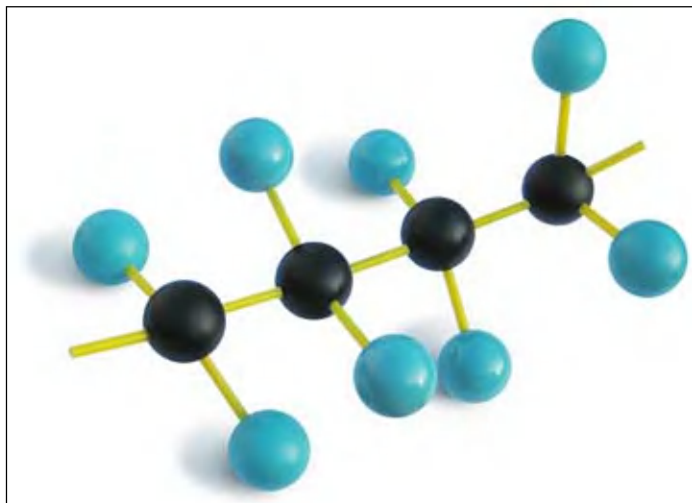


Рис. 9.1. Модель молекулы полиэтилена. Черные шарики – углерод, сине-зеленые – водород.

Длинные молекулы не обязательно состоят из повторяющихся звеньев, т. е. не могут быть представлены формулой такой, как для каучука. Химики научились "конструировать" молекулы, построенные из двух или более разных звеньев и следующие друг за другом, как в порядке, так и в беспорядке. Если эти звенья чередуются в определенном порядке, скажем, по схеме

АВАВАВАВАВ,

то такую молекулу называют регулярным полимером. Но часто мы имеем дело с молекулами, где нет такой закономерности следования. Молекулу

АВВАВААВВВВАВАВАВВА

называют нерегулярным полимером.

Естественную молекулу белка также называют полимером. Белки построены из 20 кусочков разного сорта. Эти кусочки называются аминокислотными остатками.

Между молекулами белков и синтетическими молекулами, построенными из нескольких кусочков, расположенных в беспорядке, имеется одно существенное различие. В куске синтетического полимера нет двух одинаковых молекул. Беспорядочное следование кусочков, из которых состоит цепочечная молекула, в одной молекуле – одно, а в другой – другое. В большинстве случаев это обстоятельство влияет отрицательно на свойства полимера. Раз молекулы непохожи друг на друга, то они не могут хорошо упаковаться. Из таких молекул в принципе нельзя построить идеальный кристалл. Вещества этого типа характеризуют "степенью кристалличности".

В последние десятилетия химики научились строить регулярные полимеры, и промышленность получила в свое распоряжение много новых ценных материалов.

Что же касается природных белков определенного сорта (скажем, гемоглобина быка), то их молекулы хоть и построены беспорядочно, но они все одинаковые.

Молекулу белка данного сорта можно сравнить со страницей книги: буквы следуют друг за другом в случайном, но вполне определенном порядке. Все молекулы белка – это копии одной и той же страницы.

### Гибкость молекул

Длинную молекулу можно сравнить с рельсом. На длине 0,1 мм уместится  $10^6$  атомов. Поперечные размеры молекулы полиэтилена – что-нибудь около 3–4 Å. Так что длина молекулы больше ее поперечного сечения в сотни тысяч раз. Так как рельс имеет толщину около 10 см, то зрительным образом длинной молекулы будет рельс длиной 10 км.

Это не значит, конечно, что не приходится иметь дело с короткими молекулами. Вообще, если не принять специальных мер, то в полимерном веществе мы найдем молекулы разной длины – от таких, которые состоят из нескольких звеньев, до таких, которые построены из тысяч звеньев.

Итак, длинная молекула похожа на рельс. Похожа, но не совсем. Рельс согнуть трудно, а длинная молекула гнется легко. Гибкость макромолекулы не похожа на гибкость ивового прута. Она возникает из-за особой способности всех молекул: одна часть молекулы может вращаться около другой части, если они соединены связями, которые химики называют одинарными (одновалентными). Нетрудно сообразить, что благодаря этому свойству полимерные молекулы могут принять самые причудливые формы. На рис. 9.2 показана модель гибкой молекулы в четырех положениях. Если молекула плавает в растворе, то она большей частью сворачивается в клубок.

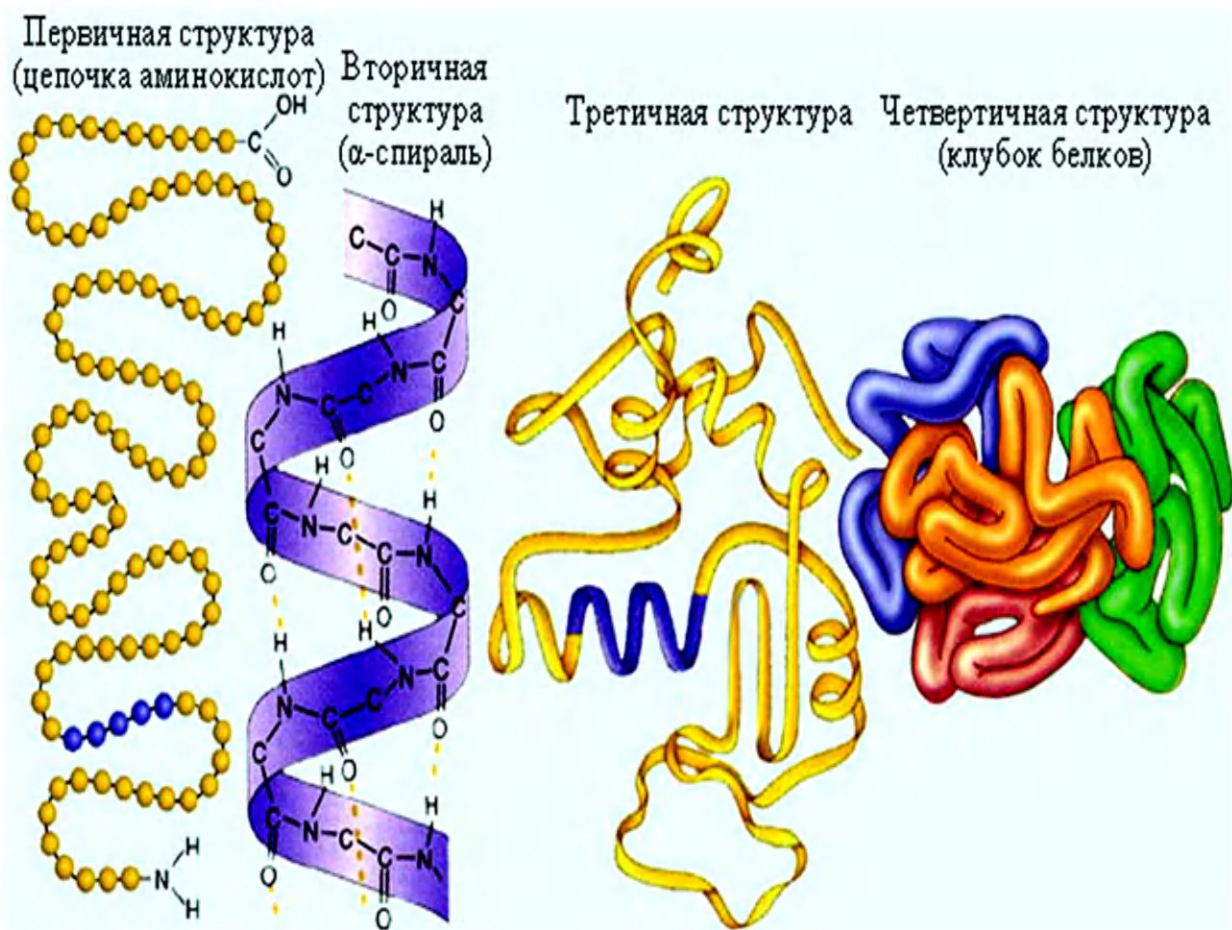


Рис. 9.2. Структуры белков.

Растяжение резинового шнура происходит благодаря разворотам, молекул. Так что упругость полимеров имеет совсем другую природу, чем упругость металлов. Если растянутый шнур отпустить, то он сократится. Значит, молекула стремится из линейной формы перейти в клубкообразную. В чем причина? Их могут быть две. Во-первых, можно допустить, что состояние клубка энергетически более выгодно; во-вторых, можно предположить, что сворачивание содействует возрастанию энтропии. Итак, какой закон термодинамики командует этим поведением: первый или второй? Надо думать, что оба. Но без сомнения состояние клубка выгодно и с точки зрения энтропии. Ведь чередование атомов молекулы, свернутой в клубок, более беспорядочно, чем в вытянутой молекуле. А мы знаем, что беспорядок и энтропия находятся в близком родстве.

Что же касается выигрыша в энергии, то он происходит за счет плотной упаковки атомов, составляющих полимерную молекулу. Сворачивание молекулы в спираль или клубок происходит таким образом, чтобы было обеспечено максимальное число контактов между валентно не связанными атомами.

### Директор-распорядитель клетки

Все живое состоит из клеток. Все клетки имеют ядра. Во всех ядрах имеются особые полимерные молекулы, которые можно было бы назвать "ядерными". Но русское прилагательное не в ходу. Эти молекулы носят название нуклеиновых кислот. Среди них есть знаменитости. Знаменитые нуклеиновые кислоты настолько хорошо известны, что их сокращенные трехбуквенные символы РНК (рибонуклеиновая кислота) и ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) можно встретить на страницах романов и повестей.

Суперзвездой среди макромолекул является молекула ДНК. Причина тому следующая: эта полимерная молекула отвечает за рост организма, ибо - правда с помощью молекул РНК - фабрикует белки; молекула ДНК несет в себе кодовую запись признаков, однозначно характеризующих организм. Иными словами, ДНК ответственна за передачу наследственности от родителей к потомкам.

Что же собой представляют молекулы этих полимеров? Упорядочены ли звенья, составляющие молекулу, или расположены в беспорядке? Дело обстоит следующим образом. Одиночная молекула ДНК представляет собой цепь, хребет которой имеет одну и ту же структуру для молекул ДНК разных организмов. К хребту цепи присоединены четыре разных молекулы. Две из них побольше размером, две другие в два раза меньше. Атомы, составляющие основную цепь молекулы, расположены упорядочено, а вот "листочки", присоединенные к ветке, следуют друг за другом без всякого порядка. Однако замечательным и важнейшим обстоятельством является то, что все молекулы ДНК одного индивидуума тождественны и непохожи (в отношении следования "листочков") на молекулы другой особи даже того же вида.

Именно из-за различия в молекулах ДНК отличаются друг от друга все люди, все львы, все березы. Отличаются не только по этой причине, но главным образом именно из-за того, что "листочки" следуют друг за другом в разном порядке.

Одиночная молекула ДНК представляет собой спираль. Но в ядрах клетки эти молекулы сплетаются попарно в двойную спираль. Атомы двойной спирали плотно упакованы и образуют очень длинную жесткую молекулу, которая пересекает все поле зрения электронного микроскопа.

Определение структуры молекулы ДНК было произведено на основании химических сведений о нуклеиновых кислотах, знания правил сворачивания и упаковки молекул, которые требуют создания как можно более плотной упаковки атомов, а также результатов рентгеноструктурного анализа.

То, что молекула ДНК образует двойную спираль, позволило сразу же предло-

жить гипотезу о передаче наследственности. При делении клеток молекулы ДНК "родителей" разворачиваются и новая молекула ДНК "наследника" строится из отрезков двух разных молекул ДНК "отца" и "матери". Эти отрезки молекул ДНК и играют роль генов, в существовании которых многие биологи были уверены еще задолго до того, когда стала ясной молекулярная структура носителей наследственности.

Работа молекулы ДНК - директора-распорядителя жизненных процессов - в настоящее время известна во всех деталях и описана в сотнях научных, научно-популярных и учебных книг.

### Глобулярные кристаллы

Способность сворачиваться в клубок, или, как часто говорят, в глобулу, свойственна многим молекулам. Очень аккуратные и вполне тождественные друг другу глобулы создают молекулы белка. Тут есть одна тонкая причина. Дело в том, что молекула белка содержит части, которые "любят" воду, и такие кусочки, которые относятся к воде отрицательно. Кусочки, не любящие воду, называют гидрофобными. Сворачивание молекулы белка диктуется одним стремлением: все гидрофобные части должны спрятаться внутрь глобулы. Именно это и приводит к тому, что в растворе белка плавают глобулы, похожие друг на друга, как близнецы. Белковые глобулы более или менее шарообразны. Глобула имеет размер 100-300 Å, так что увидеть ее в электронный микроскоп совсем нетрудно. Первые электронно-микроскопические картинки глобулярных кристаллов были получены несколько десятков лет тому назад, когда техника электронной микроскопии была еще совсем слабой. На рис. 9.3 приведена такая фотография для вируса табачной мозаики. Вирус посложнее белка, но для иллюстрации нашей мысли - стремления биологических глобул расположиться с высоким порядком - этот пример вполне подходит.

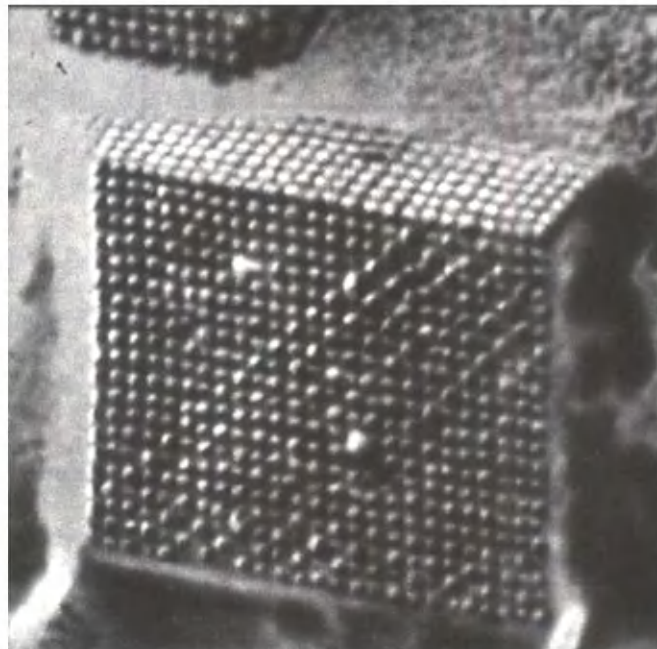


Рис. 9.3. Кристалл вируса табачной мозаики под электронным микроскопом.

Но почему авторы не приводят картины белкового кристалла? Дело вот в чем. Белковые кристаллы являются кристаллами совершенно необычными. Они содержат огромный процент воды (иногда до 90%). Это делает их съемку в электронном

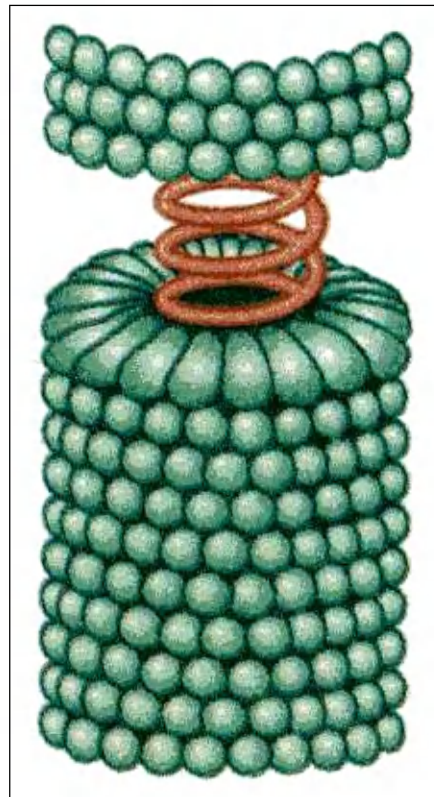
микроскопе невозможной. Исследование белковых кристаллов можно производить, лишь манипулируя ими в растворе. Тонюсенькая колбочка содержит раствор и монокристалл белка. Этот объект можно изучать всеми физическими методами, в том числе и с помощью рентгеноструктурного анализа, о котором мы уже неоднократно упоминали.

Несмотря на огромное количество воды – самой обыкновенной воды, ничуть не отличающейся от водопроводной, – глобулярные молекулы белков расположены в совершенно строгом порядке. Их ориентация к осям кристалла одинакова для всех молекул. А то, что сами молекулы тождественны, мы уже сказали выше. Этот превосходный порядок позволяет определить структуру белковой молекулы. Задача эта очень нелегкая, и исследователь Перутц, который еще в начале шестидесятых годов первый в мире определил структуру белка (это был гемоглобин), получил за свою работу Нобелевскую премию.

В настоящее время известна структура около сотни белковых молекул. Работа продолжается. Всего в живом организме имеется около десятка тысяч различных белков. От того, как они свернуты и в каком порядке следуют друг за другом разные аминокислотные остатки, зависит деятельность живого организма. Нет сомнения, что работа по определению структуры белковых молекул будет продолжаться до тех пор, пока не будет получена полная ясность в отношении всех десяти тысяч сортов молекул, определяющих жизненные процессы.

На рис. 9.3 мы привели фотографию одного из вирусов. О структуре этой частицы, пожалуй, стоит сказать несколько слов, так как вирусы – это простейшие "живые" частицы. Они представляют собой комплексы белков и нуклеиновых кислот. Сами же белки и нуклеиновые кислоты относят к биоорганическим молекулам. Назвать эти молекулы "живыми" было бы неверно.

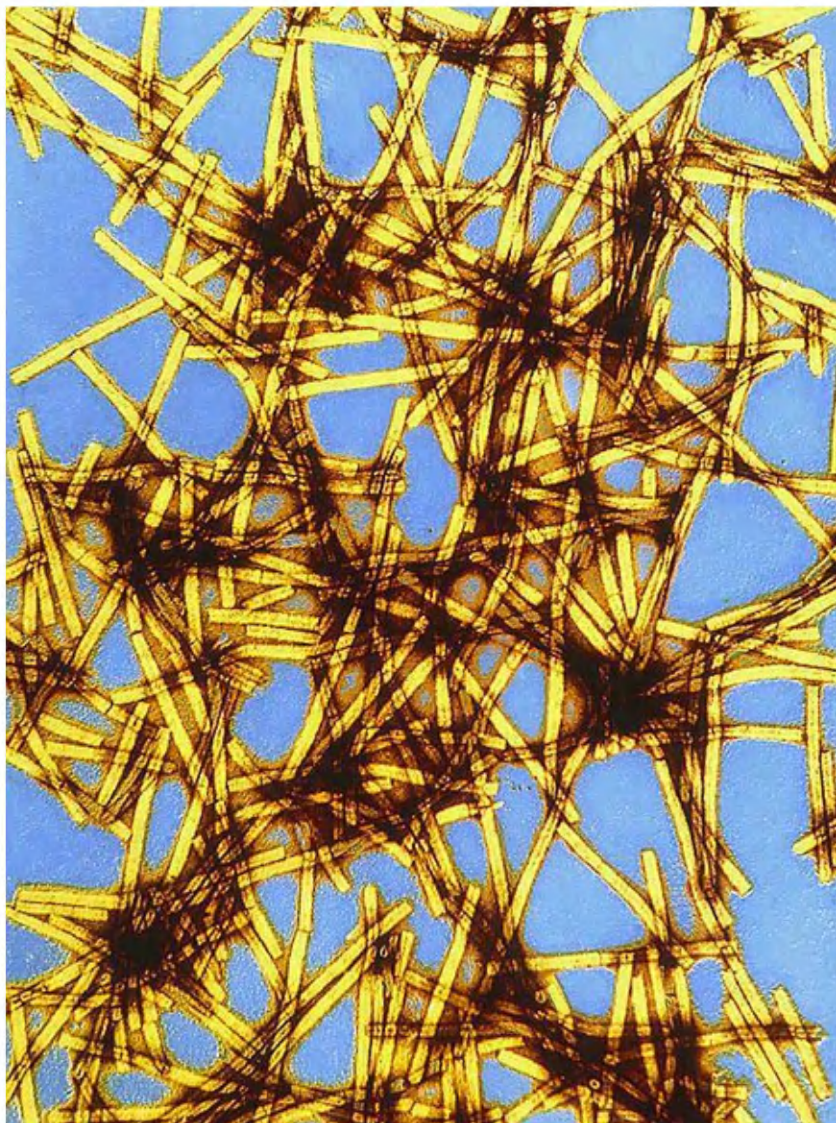
Белок и нуклеиновая кислота комбинируются в вирусе так, чтобы глобулы защищали нуклеиновую кислоту. Эта защита может осуществляться двумя способами. Либо глобулы образуют полый цилиндр, внутрь которого прячется нуклеиновая кислота, либо глобулы составляют полый шар, а нуклеиновая кислота располагается внутри полости.



Строение вируса табачной мозаики: внутри РНК, снаружи – белки.

Каковы размеры вирусов? Вот, скажем, вирус табачной мозаики. Его длина 3000 Å, внешний диаметр 170 Å, диаметр канала 80 Å. В вирус входит 2140 молекул белка.

Поражает исключительная упорядоченность расположения молекул белка, образующих оболочку вируса. Все белковые молекулы свернуты в глобулы абсолютно тождественным образом. Строго закономерна и упаковка глобул.



фрагмент вируса табачной мозаики (x34000). Электронный микроскоп.

Сферические вирусы близки к шару по своей форме. Однако на самом деле представляют собой высокосимметричные многогранники, известные геометрам под названием икосаэдров.

Трудно переоценить значение для науки структурных исследований простейших живых веществ для молодой науки – молекулярной биологии.

#### Пачки молекул

Если молекулы могут хорошо упаковаться, будучи предельно растянуты, то твердый полимерный материал может образовать разные довольно сложные структуры, обладающие, однако, одним общим свойством. В той или иной степени в твердом теле будут присутствовать участки, в которых молекулы примыкают друг к

другу, как карандаши в пачке.

В зависимости от того, каков в теле процент таких пачечных участков, а также смотря по тому, сколь аккуратно упакованы молекулы, составляющие пачечный участок, полимер может обладать тем или иным "процентом кристалличности". Большинство полимеров противятся простой классификации твердых тел на аморфные и кристаллические. Удивительного в этом ничего нет, поскольку речь идет об огромных, да ещё вдобавок чаще всего неодинаковых молекулах. Упорядоченные ("кристаллические") участки в полимерах можно грубо разбить на три класса: пачки, сферолиты и кристаллы из складывающихся молекул.

Типичная микроструктура полимера показана на рис. 9.4. Это фотоснимок с увеличением в 400 раз, сделанный с пленки полипропилена. Звездообразные фигурки — это своего рода кристаллиты. Из центра звездочки при охлаждении полимера начался рост сферолита. Затем сферолиты встретились и поэтому не приобрели идеальной сферической формы (если удастся наблюдать за ростом отдельного сферолита, то действительно видишь шар, так что название "сферолит" вполне оправдано). Внутри сферолита длинные молекулы уложены достаточно аккуратно. Скорее всего, сферолит можно представить себе как аккуратно сложенный канат. Роль каната играет пачка молекул. Таким образом, своей длинной осью молекулы расположены перпендикулярно к радиусу сферолита. На той же фотографии мы видим пластичные участки. Возможно, это пачки молекул, а может быть, и кристаллы из складывающихся молекул. Существование подобных кристаллов является интересным и достоверным фактом, относящимся к структуре линейных полимеров.



Рис. 9.4. Пачки молекул полипропилена.

Несколько десятков лет назад было сделано следующее замечательное открытие. Из раствора были выделены кристаллики различных полимерных веществ. Исследователи были поражены тем, что такие же кристаллики, поверхности которых похожи на спиральную лестницу, вырастали из растворов различных парафинов. В чем же причина этого спирального роста кристаллов, напоминающего результаты труда искусного кондитера (рис. 9.5)?

Говоря о росте кристалла, мы обошли одно обстоятельство. Представим себе, что строящаяся плоскость кристалла заполнена атомами. Тогда не остается мест, которые притягивали бы атомы достаточно сильно. Можно подсчитать, что по такой схеме рост должен идти со скоростями, в немыслимое число раз меньшими, чем скорости роста, наблюдаемые в действительности. Выход из положения дает наличие спиральных дислокаций в кристалле. Если есть спиральная дислокация, то наращивание грани идет таким образом, что ступеньки, на которых атомам вы-

годно занять место, никогда не зарастут. Физики облегченно вздохнули, когда были обнаружены спиральные дислокации. Им стали понятны величины скоростей роста, и стала очевидной суть картинок, подобных приведенной выше для парафина. Такие спиральные пирамидки наблюдаются очень часто, и в том, что они существуют, нет ничего удивительного. Нет удивительного, если речь идет о кристаллах, построенных из малых молекул. Для таких кристаллов объяснение проходит: размер молекулы, высота ступеньки, толщина кристалла - все эти данные не противоречат друг другу.

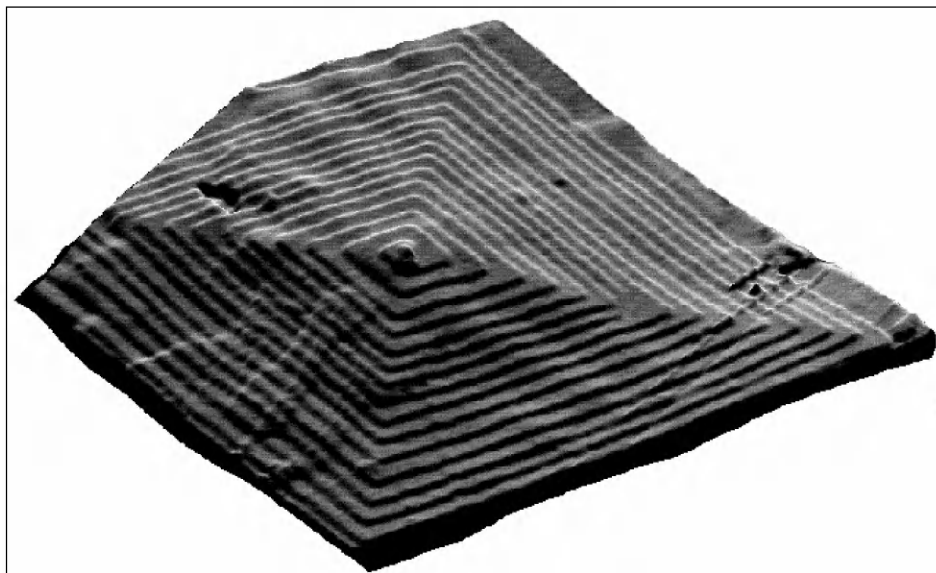


Рис. 9.5. Спиральный кристалл, выращенный из парафина.

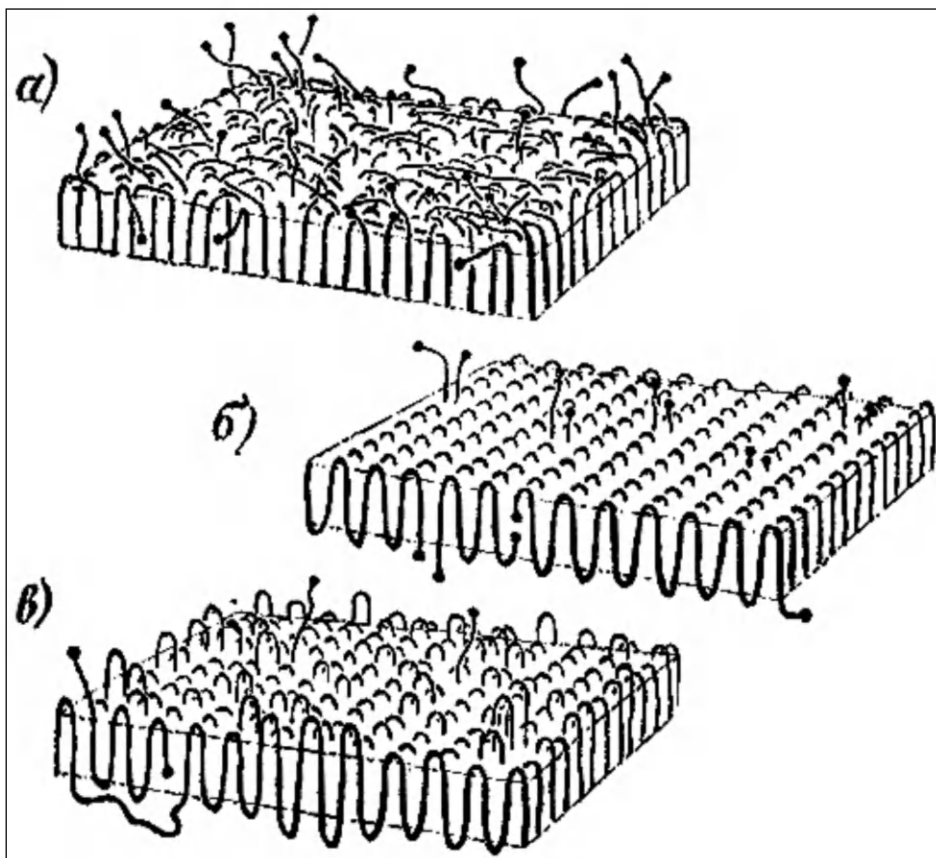


Рис. 9.6. Укладка полимерных молекул.

Обнаружив такую же картинку для полимера, мы сталкиваемся с новым явлением. Дело в том, что толщина слоев полиэфира равна 100-120 Å, а длина молекулы равна 6000 Å. Какой же вывод можно сделать из этих цифр? Да всего лишь один – в этих кристалликах молекулы складываются. Гибкость молекул позволяет им изогнуться без труда, и поэтому остается лишь раздумывать (раздумывание продолжается и до сих пор), какая из трех моделей, показанных на рис. 9.6, лучше. Различие между ними, конечно, второстепенное. Впрочем, специалист обидится. "Как же второстепенное, – скажет он, – на верхнем снимке молекулы загибаются, как попало, минуя ближайших соседей, на второй модели при сворачивании молекула становится соседкой самой себе. Различие между второй и третьей моделью заключается в том, что на среднем рисунке поверхность кристалла более гладкая, чем на нижнем".

Специалист прав: характер укладки полимерных молекул имеет исключительно важное значение и кардинальным образом влияет на свойства вещества. Хотя полиэтилен, нейлон и другие материалы синтезированы впервые несколько десятков лет назад, изучение их надмолекулярной структуры и исследование приемов, заставляющих молекулы упаковываться разным образом, ведется и сейчас многими исследователями.

### Мышечное сокращение

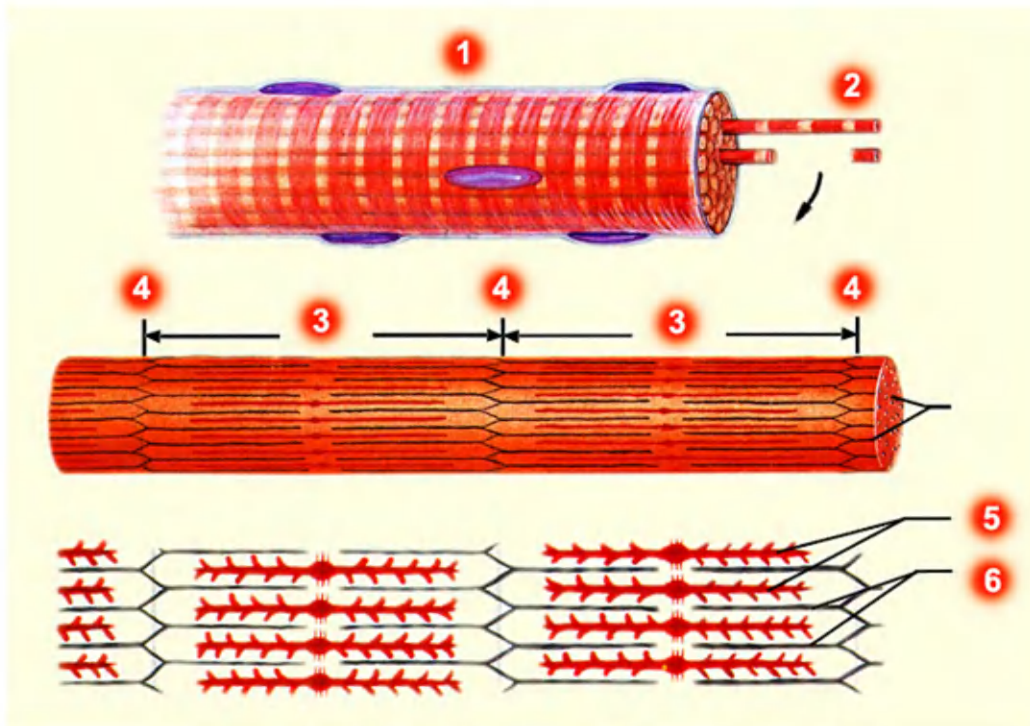


Рис. 9.7. 1 – мышечное волокно; 2 – миофибрилла; 3 – саркомер; 4 – Z-линия; 5 – белок миозин; 6 – белок актин.

Мы закончим разговор о больших молекулах рассмотрением одного из примеров, показывающих, как работают макромолекулы в живом организме.

Биологи считали своей задачей объяснить соответствие формы живых органов – например, формы руки или листа дерева – функциям" этих органов.

Физики, решившие использовать методы исследования строения вещества и законы природы для изучения процессов, протекающих в живых организмах, стремятся понять жизнь на молекулярном уровне. Структура тканей может быть сегодня исследована весьма детально. После установления структуры становится возможным

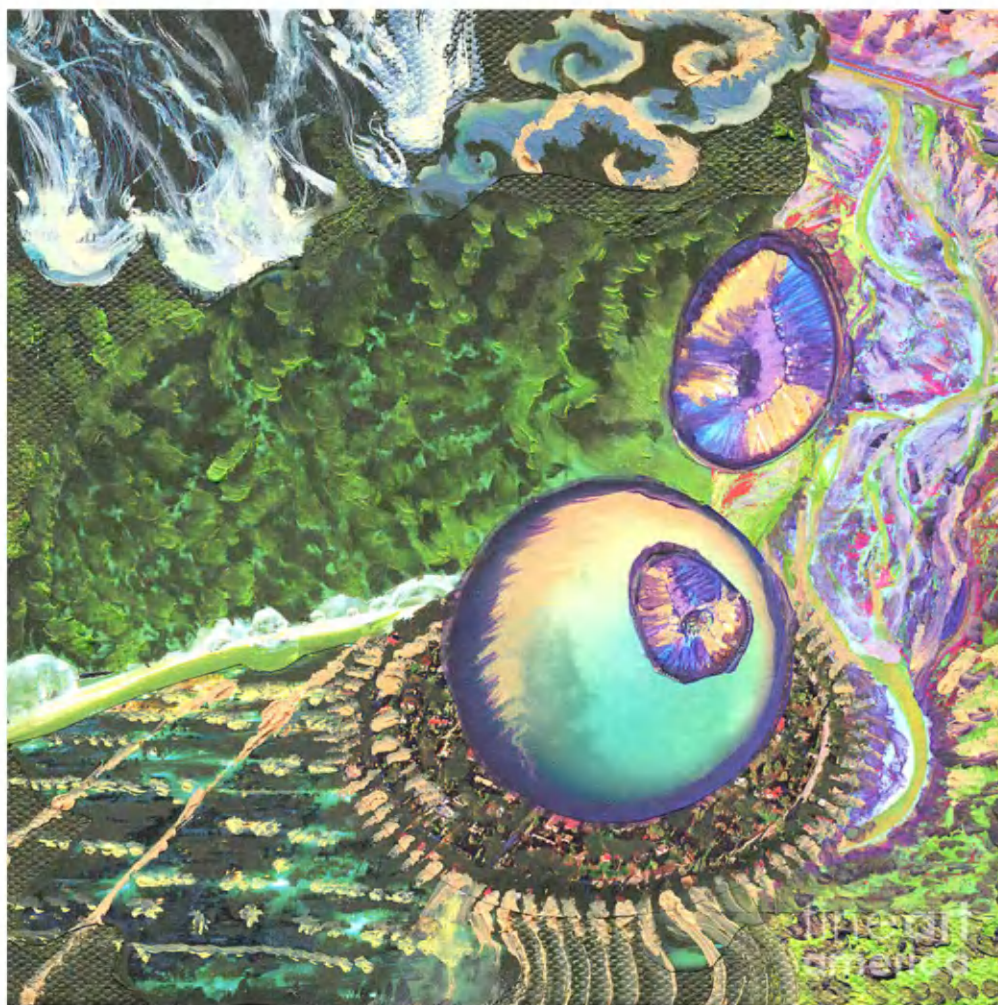
придумать модели биологических событий.

Достаточно существенными являются успехи в создании теории мышечного сокращения. Волокно мышцы состоит из двух типов нитей: тонких и толстых (рис. 9.7, а). Толстые нити состоят из белковых молекул, называемых миозином. Физики установили, что молекула миозина имеет форму палочки, заканчивающейся утолщением. В толстой нити молекулы сходятся хвостами в центре. Тонкие нити состоят из актина, структура которого напоминает две ниточки бус, которые образуют двойную спираль. Сокращение заключается в том, что толстые нити вдвигаются в тонкие.

Детали этого механизма известны, но мы не можем на них останавливаться. Сигнал к сокращению подается нервным импульсом. Его приход освобождает атомы кальция, которые переходят от одной части нити к другой. В результате молекулы поворачиваются друг к другу так, что становится энергетически выгодным движение одной гребенки молекул в другую.

Схемы, показанные на рисунке, основываются на электронно-микроскопических снимках.

Боюсь, что эта страница дает слабое представление о детальности, с которой изучен механизм мускульного сокращения. Но мы и хотели лишь одного – заинтересовать читателя. Рассматривайте эту последнюю страницу, посвященной молекулам, как заявку на детальный разговор о биологической физике, который – мы надеемся – специалист в области молекулярной биофизики поведет в одном из последующих номеров журнала.



## ВВЕДЕНИЕ В БИОТЕХНОЛОГИЮ (окончание)

### ПРОДУКТЫ

Завершающая стадия биотехнологического процесса – выделение целевого продукта. Эта стадия существенно различается в зависимости от того, накапливается продукт в клетке или он выделяется в культуральную жидкость, или же продуктом является сама клеточная масса.

Наиболее сложно выделение продукта, накапливающегося в клетках. Для этого клетки необходимо отделить от культуральной жидкости, разрушить (дезинтегрировать) и далее целевой продукт очистить от массы компонентов разрушенных клеток. Выделение продукта облегчается, если он высвобождается (экскретируется) продуцентом в культуральную жидкость. Поэтому понятно стремление биотехнологов получить методами генетической инженерии промышленные штаммы микроорганизмов, экскретирующих возможно большее количество ценных продуктов.

Технология выделения и очистки в значительной степени зависит от природы

целевого продукта. Так, ферменты (протеазы, целлюлазы и т. д.) выделяют путем осаждения органическими растворителями или сульфатом аммония. Имеется возможность обойтись без их полной очистки, поскольку в народном хозяйстве широко используют смешанные ферментные препараты, содержащие несколько белков, близких по физико-химическим свойствам. В то же время такие ферменты, как эндо- и экзонуклеазы, лигазы, требуют сложной многоступенчатой очистки с применением тонких методов препаративного разделения. Некоторые традиционные биотехнологические процессы вообще не включают этапа отделения продукта.

### Отделение биомассы от культуральной жидкости

Первым этапом на пути к очистке целевого продукта является разделение культуральной жидкости и биомассы – сепарация. Иногда сепарации предшествует специальная обработка культуры – изменение pH, нагревание, добавление коагулянтов белков или флокулянтов для более эффективного отделения биомассы и стабилизации продуктов. Существуют различные методы сепарации.

#### Флотация

Метод может быть применен, если клетки продуцента в биореакторе из-за низкой смачиваемости накапливаются в поверхностных слоях жидкости. Флотаторы различных конструкций сцеживают, откачивают или соскребают пену, состоящую из пузырьков газа с прилипшими к ним клетками. Повышение эффективности отбора биомассы в виде концентрированной суспензии достигается вспениванием жидкости с последующим отделением ее верхнего слоя. Флотацию широко используют как первый этап отделения дрожжевой массы для осветления культуральной жидкости. К достоинствам метода относятся экономичность, высокая производительность, возможность применения в условиях непрерывного процесса.

#### Фильтрация

Все применяемые в настоящее время виды фильтров, барабанные, дисковые, ленточные, тарельчатые, карусельные вакуум-фильтры, фильтр-прессы различных конструкций, мембранные фильтры используют один и тот же принцип – задержание биомассы на пористой фильтрующей перегородке. Диаметр пор может превышать размеры клеток, что практически не снижает эффективность фильтрации. Даже если первая небольшая порция биомассы проскакивает через фильтр, в дальнейшем по мере прохождения жидкости диаметр капиллярных каналов сужается из-за прилипания частиц к стенкам, образуются скопления клеток у фильтрующей поверхности, препятствующие прохождению новых порций биомассы через фильтр. По мере утолщения слоя биомассы на фильтре скорость потока жидкости через него падает.

Для фильтров непрерывного действия, рассчитанных на длительное пользование, предусматривают системы автоматического удаления слоя биомассы, забивающего поры. Биомассу сдувают с поверхности фильтра сжатым воздухом или срезают специальным ножом. Такие способы удаления биомассы характерны, в частности, для барабанного вакуум-фильтра, представляющего собой полый цилиндр, погруженный в культуральную жидкость. Внутренний объем барабана отделен от жидкости фильтрующим мелкопористым материалом. Ток жидкости через фильтрующий слой создается путем откачивания воздуха изнутри барабана вакуумным насосом.

Существуют также фильтры, предназначенные для однократного или многократного периодического использования. Среди них выделяются мембранные (например, тефлоновые) фильтры, позволяющие проводить фильтрацию очень разбавленных кле-

точных суспензий. Однако проблемой при использовании мембранных фильтров является их закупорка клетками, белками, коллоидными частицами. Приемы срезания или сдувания материала, закупоривающего поры, здесь непригодны, поскольку при этом мембранные фильтры повреждаются. Один из путей преодоления проблемы — покрытие мембран гидрофильным слоем, препятствующим контакту белков (коллоидов) с мембраной.

### Центрифугирование

Метод основан на осаждении взвешенных в жидкости частиц с применением центробежной силы. Центрифугирование требует более дорогостоящего оборудования, чем фильтрование. Поэтому оно оправдывает себя, если:

- а) суспензия фильтруется медленно;
- б) поставлена задача максимального освобождения культуральной жидкости от содержащихся частиц;
- с) необходимо наладить непрерывный процесс сепарации в условиях, когда фильтры рассчитаны только на периодическое действие.

Центрифугирование и фильтрация в некоторых производственных процессах реализуются в комбинации — речь идет о фильтрационных центрифугах. Широко применяют центрифуги, где разделение жидкой и твердой фаз не связано с фильтрацией и основано лишь на центробежной силе. Используют центрифуги различных типов, классифицируемые по скорости вращения сосуда (стакана) для разделения биомассы и культуральной жидкости, по способу выгрузки осевшей биомассы и по другим критериям. Наиболее перспективны для осаждения биомассы центрифуги-сепараторы, в которых биомасса оседает на стенках вращаемого цилиндра или на тарелках специальной тарельчатой вставки.

### Методы разрушения клеток

Разрушение клеток (дезинтеграцию) проводят физическим, химическим и химико-ферментативными методами.

Наибольшее промышленное значение имеет физическое разрушение:

- 1) ультразвуком;
- 2) с помощью вращающихся лопастей или вибраторов — метод, обычно используемый в пилотных и промышленных установках;
- 3) встряхиванием со стеклянными бусами;
- 4) продавливанием через узкое отверстие под высоким давлением;
- 5) раздавливанием замороженной клеточной массы;
- 6) растиранием в ступке;
- 7) осмотическим шоком;
- 8) замораживанием — оттаиванием;
- 9) сжатием клеточной суспензии с последующим резким снижением давления (декомпрессия).

Физические способы разрушения более экономичны, чем химические и химико-ферментативные. Они осуществляются без применения дорогостоящих и дефицитных реактивов и ферментных препаратов. В то же время этим способам дезинтеграции клеток присуща определенная неизбирательность: обработка может отрицательно влиять на качество получаемого продукта. При тонкой регулировке условий дезинтеграции некоторые из физических методов позволяют целенаправленно выделить какую-либо одну фракцию внутриклеточного содержимого.

Осторожное и избирательное разрушение клеточной стенки возможно при использовании химических и химико-ферментативных методов. Так, клетки грамотрица-

тельных бактерий обрабатывают лизоцимом в присутствии этилендиаминтетрауксусной кислоты, а клетки дрожжей – зимолизой улитки или ферментами грибов, актиномицетов. К разрушению клеточной стенки микроорганизмов ведет обработка клеток толуолом или бутанолом, что находит промышленное применение при получении дрожжевого автолизата и ряда ферментов (инвертаз, пенициллинамидазы). Эффективный лизис клеток вызывают антибиотики полимиксины, тироцидины, новобиоцин, нистатин и другие, некоторые поверхностно-активные вещества, а также глицин. Можно использовать автолиз клеток при лимитированном по определенному субстрату росте или их лизис при заражении бактериофагами. Последний вариант сопряжен с риском неконтролируемого распространения фага в промышленных установках и поэтому не получил применения.

За дезинтеграцией клеток следует этап отделения фрагментов клеточных стенок. Используют те же методы, что и при сепарации клеток: центрифугирование или фильтрацию. Однако, сообразуясь с размерами субклеточных частиц, применяют более высокоскоростные центрифуги и фильтры с меньшим диаметром пор (часто мембранные), чем при сепарации клеток. В большинстве биотехнологических процессов клеточные стенки отбрасывают как балласт, но возможно и промышленное получение компонентов клеточных стенок как целевого продукта.

#### Отделение и очистка продуктов

Выделение целевого продукта из культуральной жидкости или гомогената разрушенных клеток проводят путем его осаждения, экстракции или адсорбции.

Осаждение растворенных веществ возможно физическими (нагревание, охлаждение, разбавление или концентрирование раствора) или химическими воздействиями, переводящими отделяемый продукт в малорастворимое состояние. Так, в присутствии соединений калия пенициллин переводят в кристаллический осадок. Белки отделяют добавлением сульфата аммония или органических растворителей (этанола, ацетона). Нуклеиновые кислоты осаждают с помощью полиаминов, основные группы которых вступают во взаимодействие с их фосфатными группами. Важной современной модификацией метода является аффинное осаждение (см. ниже).

Экстракцию можно подразделить на твердо-жидкофазную, при которой продукт из твердой фазы переходит в жидкую, и жидко-жидкофазную – перевод продукта из одной жидкой фазы в другую.

К твердо-жидкофазной экстракции относится простое обливание твердого образца водой с целью извлечения из него растворимых веществ, например солей металлов из руд, подвергнутых бактериальной обработке, или растворимых продуктов из массы субстрата (соломы и т.д.) при твердофазном культивировании. Широко применяют органические растворители, в частности экстракцию клеточной массы ацетоном, переводящим в раствор ряд липидных и белковых компонентов.

Жидко-жидкофазная экстракция органическим растворителем часто применяется для извлечения из культуральной жидкости антибиотиков, витаминов, каротиноидов, липидов, некоторых гидрофобных белков. Витамин В<sub>12</sub> экстрагируют фенолом и его производными (крезол, другие алкилфенолы, галогениды), высокоспецифичным экстрагирующим растворителем служит бензиловый спирт, особенно в щелочных условиях. Такие фосфолипиды, как фосфатидилэтаноламин или фосфатидилхолин, извлекают путем экстракции хлороформом.

Эффективность экстракции может быть повышена:

- 1) переходом от однократной обработки экстрагирующим агентом к многократной, когда растворитель, насыщенный экстрагированным продуктом, заменяют свежим растворителем;
- 2) выбором оптимального растворителя, т. е. повышением коэффициента рас-

пределения целевого продукта между водной и органической фазами — этот коэффициент показывает, во сколько раз растворимость продукта в одной из несмешивающихся фаз выше, чем в другой;

- 3) нагреванием экстрагирующего агента и (или) экстрагируемой жидкости, содержащей продукт;
- 4) понижением давления в аппарате для экстракции, что позволяет вести эффективную экстракцию при невысокой температуре, избегая связанных с нагреванием затрат и риска инактивации продукта.

Полностью избежать нагревания, губительного для многих ценных веществ, позволяют методы холодной экстракции (криоэкстракции). Она как бы нивелирует различие между твердым субстратом и культуральной жидкостью, поскольку и то и другое находится в замороженном состоянии. Кристоэкстракция осуществляется растворителями, кипящими при низких температурах и находящимися при комнатной температуре в газообразном состоянии.

Для экстракции неполярных органических соединений можно использовать жидкий пропан или бутан (температуры кипения  $-42$  и  $-0,5^{\circ}\text{C}$  соответственно). При последующем осторожном нагревании до  $\sim 0^{\circ}\text{C}$  кипящий растворитель улетучивается и продукт остается в чистом виде. Органические кислоты, в том числе твердые, малорастворимые в воде, могут быть извлечены из замороженного образца жидким аммиаком (температура кипения  $-33,5^{\circ}\text{C}$ ) в виде солей аммония. Этот процесс служит примером экстракции, сопряженной с химической реакцией.

Кристоэкстракция может использоваться в комбинации с криоконсервацией клеток. Урожай клеток длительное время хранится без потери свойств в условиях глубокого замораживания. Затем одна часть его направляется на экстракцию целевого продукта, другая — на инокуляцию биореактора для нового производственного процесса, третья остается в криобанке.

Экстрагирующий агент может находиться не в жидком, а газообразном состоянии (жидко-газофазная или твердо-газофазная экстракция). Наиболее широко применяется водяной пар.

Адсорбция — распространенный метод отделения продукта — рассматривается как частный случай экстракции, при которой экстрагирующим агентом является твердое тело. Она заключается в связывании вещества поверхностью твердого тела из жидкой или газовой фазы. Традиционно применяемыми адсорбентами являются древесный уголь, глины с развитой пористой поверхностью. Путем адсорбции из культуральной жидкости выделяют антибиотики и витамины.

### Современные методы разделения веществ

Они включают хроматографию, электрофорез, изотахофорез, электрофокусировку, основанные на принципах экстракции и адсорбции. Разделение веществ путем хроматографии связано с их неодинаковым распределением между двумя несмешивающимися фазами. Различают хроматографию на бумаге, пластинках, колонках. При хроматографии на бумаге или на пластинках одной из несмешивающихся фаз служит движущийся растворитель, например бутанол, а другой, неподвижной фазой — волокна бумаги или частицы покрывающего пластинку силикагеля или другого материала. При колоночной хроматографии подвижная фаза — текущий через колонку растворитель, неподвижная — заполняющий колонку адсорбент, чаще всего гранулированный гель. Разделяемая смесь вводится в контакт с подвижной и неподвижной фазами.

Колоночная хроматография допускает масштабирование — увеличение размеров и пропускной способности. Она применяется в промышленных условиях и имеет несколько разновидностей.

Ионообменная хроматография (рис. 12) — гранулы адсорбента, например карбок-

симетилцеллюлозы, несут на себе заряженные группы, катионные ( $-\text{NH}_3^+$ ) или анионные ( $-\text{SO}_3^-$ ), способные к захвату ионов противоположного знака. Она применяется для выделения ионизированных соединений из жидкости, а также для очистки нейтральных соединений от примесей ионной природы. Одной из первых примененных в промышленных масштабах ионообменных колонок была колонка с естественным ионообменником цеолитом для смягчения воды, т. е. удаления из нее  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Ионообменные колонки с амберлитом широко применяют для отделения витамина  $\text{B}_{12}$ .

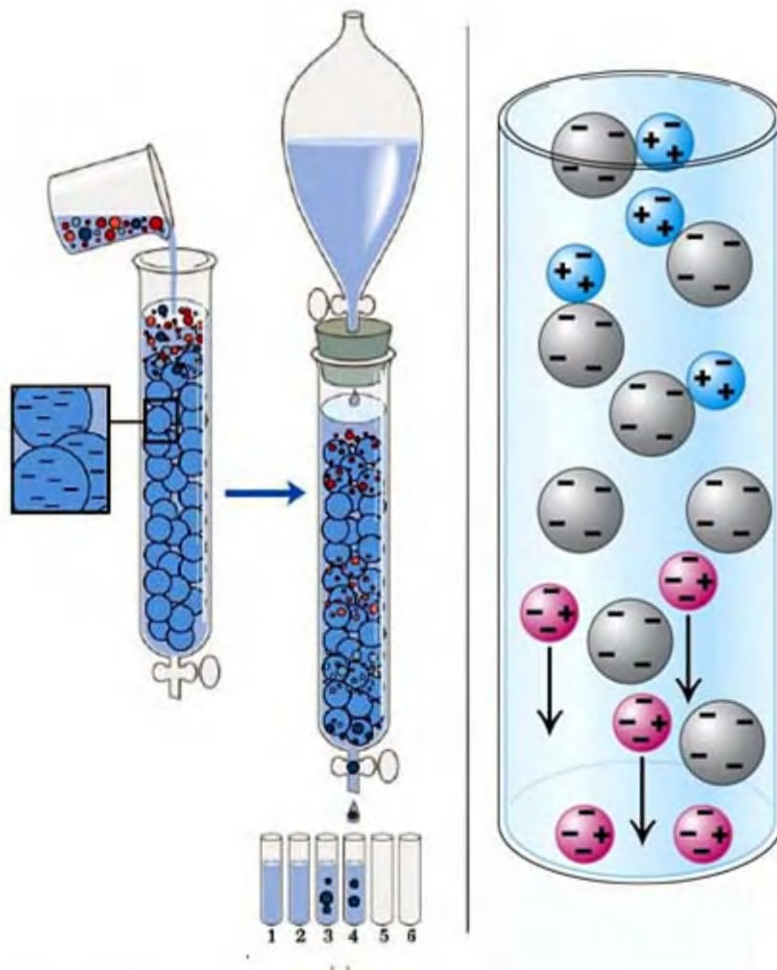


Рис. 12. Катионообменная хроматография (Схематизировано: не показано проникновение катионов в поры частиц геля, изображено лишь поверхностное электростатическое взаимодействие катионов с частицами. Наряду с гелем часто используют ионообменные смолы).

Гель-хроматография, гель-фильтрация - хроматография, основанная на разделении веществ с различной молекулярной массой и диаметром (метод «молекулярных сит»). Частицы адсорбента захватывают и удерживают, скажем, только низкомолекулярные соединения, пропуская высокомолекулярные (рис. 13).

Аффинная хроматография - задерживается компонент, образующий прочный комплекс с лигандом, фиксированным на частицах носителя (рис. 14). Применяют агенты, специфически связывающие одно индивидуальное вещество. Например, фермент очищают путем связывания на колонке, несущей субстрат или специфический ингибитор.

Важную роль в отделении и очистке белковых и небелковых веществ играют взаимодействия антигенов и антител. Основанная на этих взаимодействиях хроматография получила название иммунноаффинной. Новые горизонты открыло перед иммунноаффинной хроматографией использование моноклональных антител, позволяющих провести за один этап 500-кратную очистку человеческого интерферона.

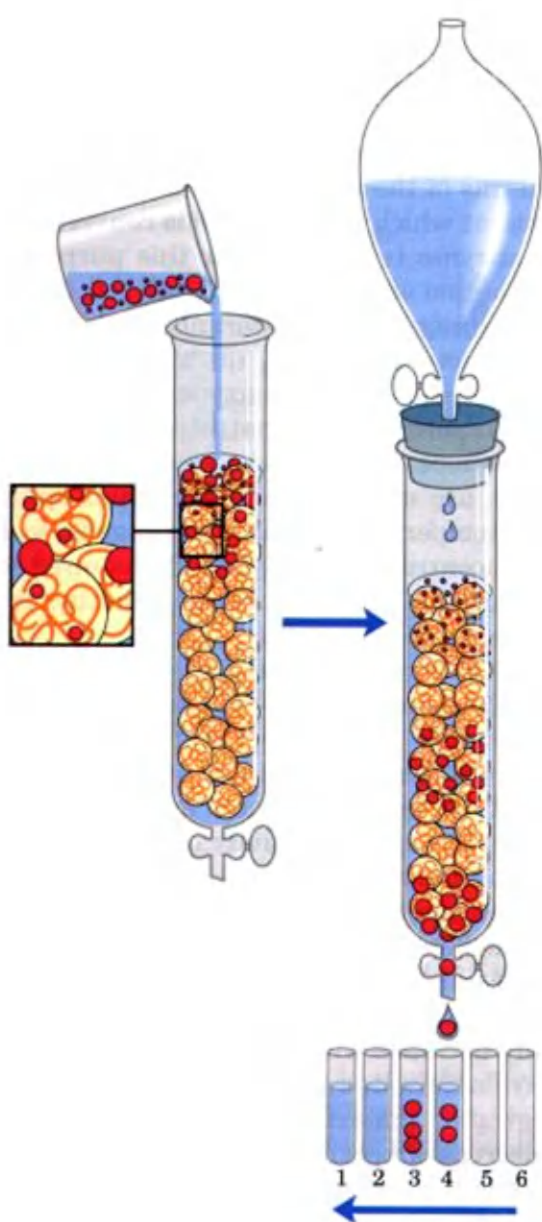


Рис. 13. Хроматография на основе «молекулярных сит». Компоненты, размеры которых соответствуют размерам пор или входов в поры адсорбента, задерживаются на колонке.

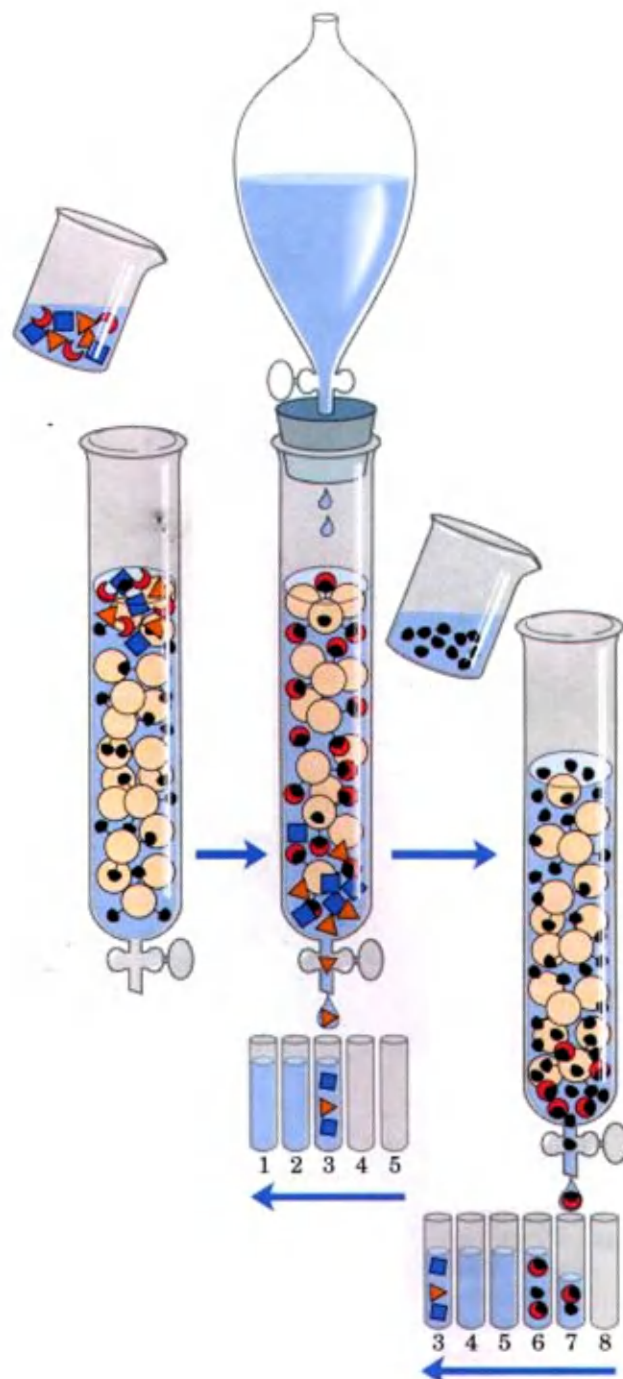


Рис. 14. Аффинная хроматография. В виде частиц различной формы изображены молекулы с различными химическими структурами, из которых только одна вступает в специфическое взаимодействие с частицами геля.

В аффинной хроматографии используют также групповые лиганды, связывающие, например, целую группу сходных по структуре ферментов. К таким лигандам относятся кофакторы ферментов и их аналоги. В этом случае разделение и очистка индивидуальных веществ основана на их различном сродстве к лиганду, что позволяет собрать их порознь в виде отдельных фракций. Могут применяться и еще менее специфичные лиганды, связывающие целые классы веществ, например алкильные и арильные группы или лиганды, представляющие собой текстильные красители.

Аффинная хроматография может обеспечить полную очистку продукта из сложной многокомпонентной смеси – культуральной жидкости, экстракта клеток – в одну стадию, в то время как более традиционные методы осаждения и ионообменной хроматографии требуют многоэтапной очистки, сопряженной с большими затратами труда и времени. Определенные неудобства вызывает относительная дороговизна материалов для аффинной хроматографии, в частности, веществ, используемых в качестве лигандов. Проблемой является также быстрый выход колонки из строя при пропускании через нее смесей, компоненты которых забивают промежутки между гелевыми частицами. Поэтому в производственных условиях колонки используются в периодическом, а не непрерывном режиме.

После пропускания через колонку порции культуральной жидкости, из которой выделяют продукт, частицы геля подвергают очистке. Методы очистки основаны на:

- а) использовании гелевых частиц, превышающих по плотности конгломераты веществ, закупоривающих колонку: различие в плотности позволяет очистить гель путем его избирательного осаждения или проточной промывки, уносящей только загрязняющие частицы;
- б) придании частицам геля магнитных свойств, что позволяет провести их очистку в градиентном магнитном поле;
- в) упаковке частиц геля в виде ленты, покрытой тонкоячеистой оболочкой: лента вращается и проходит попеременно через жидкость с неочищенным продуктом и через буферный раствор, в который переходят загрязняющие примеси.

Масштабирование процесса аффинной хроматографии ограничивается разрушением структуры геля и уносом его частиц током жидкости. Это, в частности, обусловлено тем, что в широких колонках для крупномасштабной очистки продуктов стенки колонки уже не служат опорой для частиц геля, увлекаемых жидкостью. Увеличение высоты колонки приводит к пропорциональному возрастанию сил, разрушающих нижние слои геля. Помимо этого, для повышения эффективности и степени разделения близких по свойствам соединений целесообразно применять мелкие частицы геля (менее 1 мкм в поперечнике), но именно такие частицы легче всего увлекаются током жидкости. В последние годы ищут средства укрепления гелей для крупномасштабной аффинной хроматографии. Частицы агарозы – наиболее перспективного материала для гелей – предполагают укреплять путем сшивок.

Наряду с аффинной хроматографией, называемой также аффинной адсорбцией в геле, для крупномасштабного отделения и очистки продуктов биотехнологических процессов предполагают применять аффинную преципитацию и аффинное разделение. При аффинной преципитации лиганд прикрепляют к растворимому носителю. При добавлении смеси, содержащей соответствующий белок, образуется его комплекс с лигандом, который выпадает в осадок сразу после его формирования или после дополнения раствора электролитом.

Аффинное разделение основано на применении системы, содержащей два водорастворимых полимера. Один из полимеров, например полиэтиленгликоль, несет специфические лиганды. Другой полимер, например высокомолекулярный декстран, обладает сродством к остальным, примесным компонентам. Так, содержащиеся в разделяемой смеси белки, нуклеиновые кислоты, фрагменты клеточных структур предпочитают более полярный декстран, тогда как целевой продукт, скажем, фермент, накапливается «в сетях» полиэтиленгликоля, несущего молекулы лиганда (субстрата, кофактора, ингибитора). Аффинное разделение представляет собой наиболее высокоэффективный из аффинных методов очистки. С применением полиэтиленгликоля-6000 с красителем Цибакрон синий F3G-A в качестве лиганда проведена успешная очистка фосфофруктокиназы, выделенной из 1 кг дрожжей. Объем системы из двух полимеров составлял всего 250 мл, а очистка продолжалась менее 1 ч.

Наряду с хроматографией перспективными для биотехнологии методами разделе-

ния веществ служат электрофорез и его модификации, например изоэлектрическая фокусировка. Разделяемую смесь помещают в мощное электрическое поле, приводящее в движение ее ионизированные компоненты. Направление и скорость перемещения ионов определяются знаком их заряда и другими характеристиками, в сумме обозначаемыми как электрофоретическая подвижность. Различие в электрофоретической подвижности позволяет пространственно разделить компоненты смеси. В современных вариантах электрофореза, как и в хроматографии, используют пластинки или колонки с наполнителем (агарозой, полиакриламидом, сефарозой, оксиапатитом), образующим гель.

В некоторых случаях используют градиентный гель, в котором плотность слагающих его частиц возрастает или убывает в направлении электрического поля линейно или экспоненциально. Применение градиентных гелей позволяет синхронизировать движение ионов, снизить величину разброса между их скоростями, так что ионы образуют при движении в геле компактный фронт, а не размытую широкую полосу.

Широко применяется двумерный электрофорез, при котором на разделяемую смесь действуют одновременно два электрических поля, направленные перпендикулярно друг другу. В этом варианте электрофореза получаются не линейно расположенные полосы, а распределенные по плоскости геля пятна, соответствующие разделенным компонентам смеси.

Проблемой, возникающей при масштабировании электрофоретических методов разделения и очистки, является разогревание геля под влиянием электрического поля. Для слоев геля толщиной 2 мм и более охлаждение становится непростой процедурой: угрозу представляет не только тепловая инактивация образца, например денатурация белка, но и возникновение в толще геля температурных перепадов, искажающих картину распределения компонентов, — электрофореграмму. В настоящее время разрабатываются системы электрофореза с термостатированными гелевыми пластинками.

Для более равномерного распределения полос, соответствующих разделяемым компонентам, разработан электрофорез в неоднородном электрическом поле. Напряженность поля убывает в направлении движения ионов. Это достигается применением гелей клиновидной формы. Другой путь — наведение внутри геля электрического поля, накладывающегося на внешнее, приложенное к гелю. Гель пропитывает смесью рН-буферов, дающей неравномерное распределение заряженных частиц по объему геля (буферный градиент). Результирующее электрическое поле (внутреннее и внешнее) при правильно подобранном буферном градиенте характеризуется напряженностью, монотонно убывающей в направлении движения ионов. Электрофорез в неравномерном электрическом поле широко применяется в генетической инженерии. Этим методом была проанализирована нуклеотидная последовательность гена инсулиноподобного фактора роста, синтезированного химическим путем.

Модификацией метода электрофореза является изоэлектрическая фокусировка, или электрофокусировка (рис. 15). Раствор, которым насыщают гель, содержит соединение с кислотными группами. Гель помещают между двумя электродами, и под влиянием электрического поля кислотные группы буферного соединения меняют степень ионизации. Образуется градиент рН в направлении электрического поля. На гель наносят образец разделяемой смеси, и ее электрически заряженные компоненты мигрируют по направлению к электроду противоположного знака. Поскольку заряженные компоненты движутся по градиенту рН, они постепенно теряют свой заряд и в зоне, где рН соответствует точке электронейтральности (изоэлектрической точке) компонентов, их движение прекращается. Каждый компонент концентрируется (фокусируется) в определенной зоне геля.

В современных системах часто используют электрофокусировку в гелях с иммобилизованными (ковалентно связанными с частицами геля) кислотными группами. Подобный гель обозначают как иммобилизованный. С помощью электрофоку-

сировки в иммобилиновом геле показана микрогетерогенность моно-клональных антител, т. е. присутствие в них незначительно различающихся по электрофоретической подвижности компонентов.

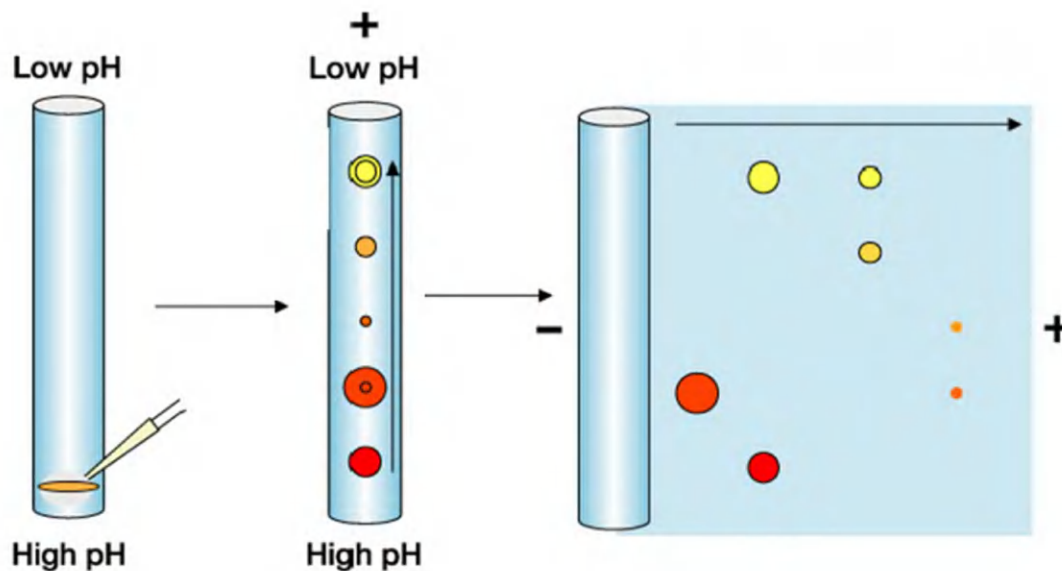
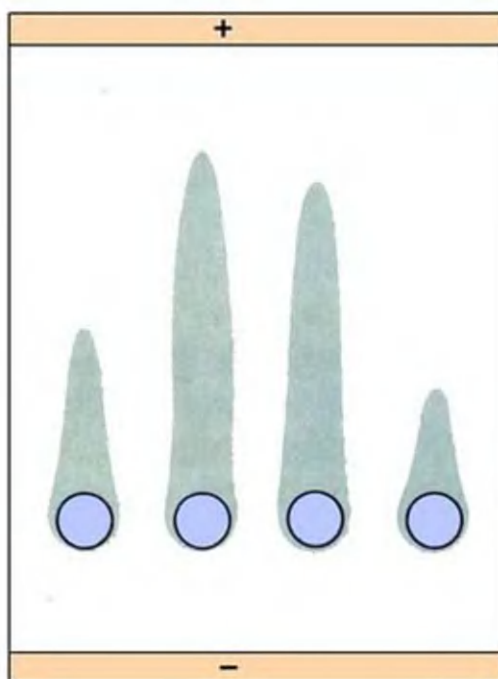


Рис. 15. Метод изоэлектрической фокусировки (электрофореза в pH-градиентном геле) .

Важную модификацию электрофореза представляет иммуноэлектрофорез. В одном из вариантов метода, называемом ракетным иммуноэлектрофорезом, антитело добавляют к гелю, а материал, содержащий антиген, вносят в лунку на краю гелевой пластинки. При наведении в геле электрического поля антиген электрофоретически перемещается по гелю, и зона его распространения очерчивается хорошо видимой контурной линией — зоной образования комплекса антиген-антитело. Контурная линия напоминает по форме ракету, отсюда и название ракетный иммуноэлектрофорез.



Ракетный иммуноэлектрофорез .

Усложненный вариант иммуноэлектрофореза – перекрестный, или двумерный иммуноэлектрофорез, позволяющий разделить многокомпонентные смеси (рис. 16). Образец вносят в лунку на краю гелевой пластинки и электрофоретическим путем «прогоняют» компоненты образца по всей длине геля, пока самый подвижный компонент не приблизится к противоположному краю геля. Получается продольная дорожка на геле, которую вырезают и переносят на другую гелевую пластинку, причем эту дорожку ориентируют поперек направления электрического поля. Второй гель содержит антитела к одному или нескольким компонентам смеси, и после электрофореза на нем образуются «ракеты», каждая из которых соответствует определенному антигену – компоненту смеси.

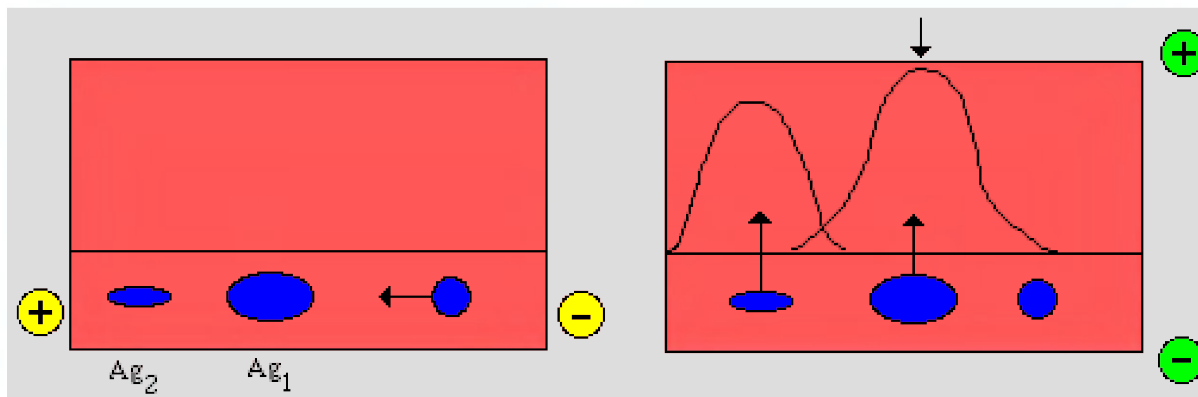


Рис. 16. Метод перекрестного (двумерного) иммуноэлектрофореза. Слева: образец наносят на обычный гель для электрофореза; при наложении электрического поля компоненты образца распределяются в геле. Справа: дорожку с компонентами образца вырезают из геля 1 и переносят на гель 2 с антителами к некоторым или всем компонентам; «дорожку» ориентируют перпендикулярно направлению электрического поля, прикладываемому к гелю 2; компоненты смеси образуют пятна в виде «ракет», соответствующие зонам взаимодействия антиген – антитело.

Из других модификаций электрофореза отметим изотахофорез, основанный на разделении ионных компонентов смеси с различной электрофоретической подвижностью. Используют два электролита, например трис-Cl и трис-глицин. Анионы  $\text{Cl}^-$  имеют большую электрофоретическую подвижность, чем анионы глицина. Соответственно трис-Cl называется лидирующим, а трис-глицин – терминирующим электролитом. Анионные компоненты, которые могут быть разделены в такой системе электролитов, должны обладать электрофоретической подвижностью, промежуточной между электрофоретической подвижностью анионов  $\text{Cl}^-$  и глицина. Разделяемую смесь вносят в гель на границу раздела лидирующего и терминирующего электролита (рис. 17). При наложении электрического поля высокой напряженности анионные компоненты смеси образуют в геле четко разграниченные зоны. Скорость их движения совпадает со скоростью перемещения ионов лидирующего и терминирующего электролита, поэтому метод и получил название изотахофореза – движение (форез) с одинаковой (изо) скоростью (тахо).

Из рассмотренных методов разделения и очистки веществ лишь немногие, кроме ионообменной и аффинной хроматографии, внедрены в крупномасштабное производство. Прочие методы ограничены лабораторным применением. Однако среди биотехнологических продуктов немало и таких, которые производятся пока в масштабах, не перешагнувших уровень лабораторных биореакторов. В таких разработках используются тонкие препаративные методы разделения. Отметим разработки по получению полинуклеотидфосфорилазы *E. coli*, ДНК- и РНК-лигаз, целлюлаз и глюкоамилаз. Некоторые продукты (лекарства, ферменты для аналитических целей)

нецелесообразно масштабировать, так как спрос может быть удовлетворен производством в биореакторах лабораторного масштаба. Тонкие препаративные методы имеют перспективы для своего масштабирования за счет увеличения габаритов соответствующих установок.

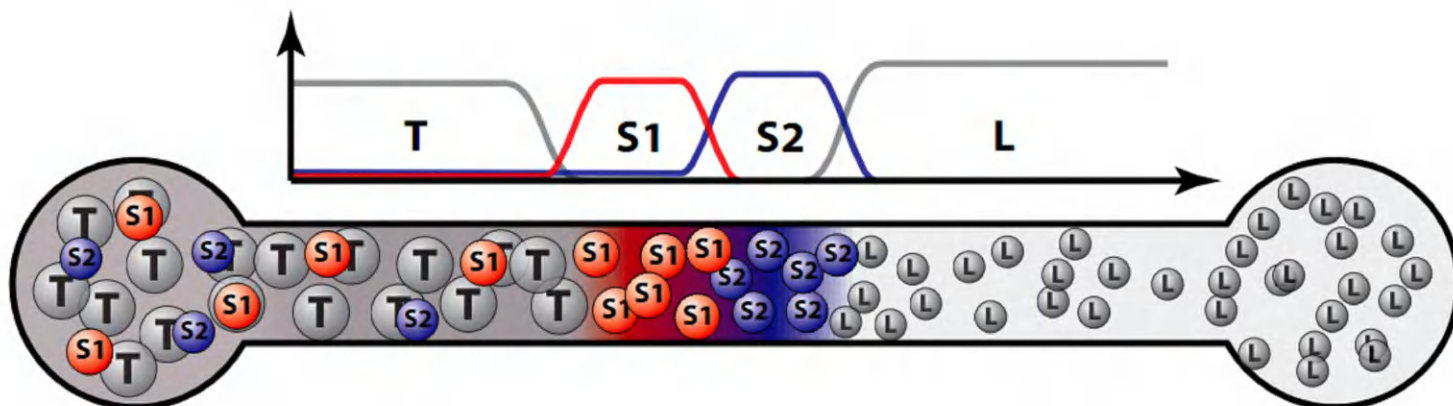


Рис. 17. Изотахофорез. Образец с анионами вносят на границу зон лидирующего и терминирующего электролитов. По оси ординат – концентрация.

Происходит также совершенствование испытанных методов очистки веществ. Так, значительная степень очистки ферментов может быть обеспечена простым нагреванием. Некоторые исследователи добились 9-кратной очистки  $\alpha$ -амино- $\epsilon$ -капролактамгидролазы, подобрав оптимальные условия термообработки гомогената клеток продуцента *Cryptococcus* sp.: нагрев до 68°C при pH 6,3 в течение 15 мин. Среда содержала пиридоксальфосфат, предохранявший целевой фермент от тепловой денатурации.

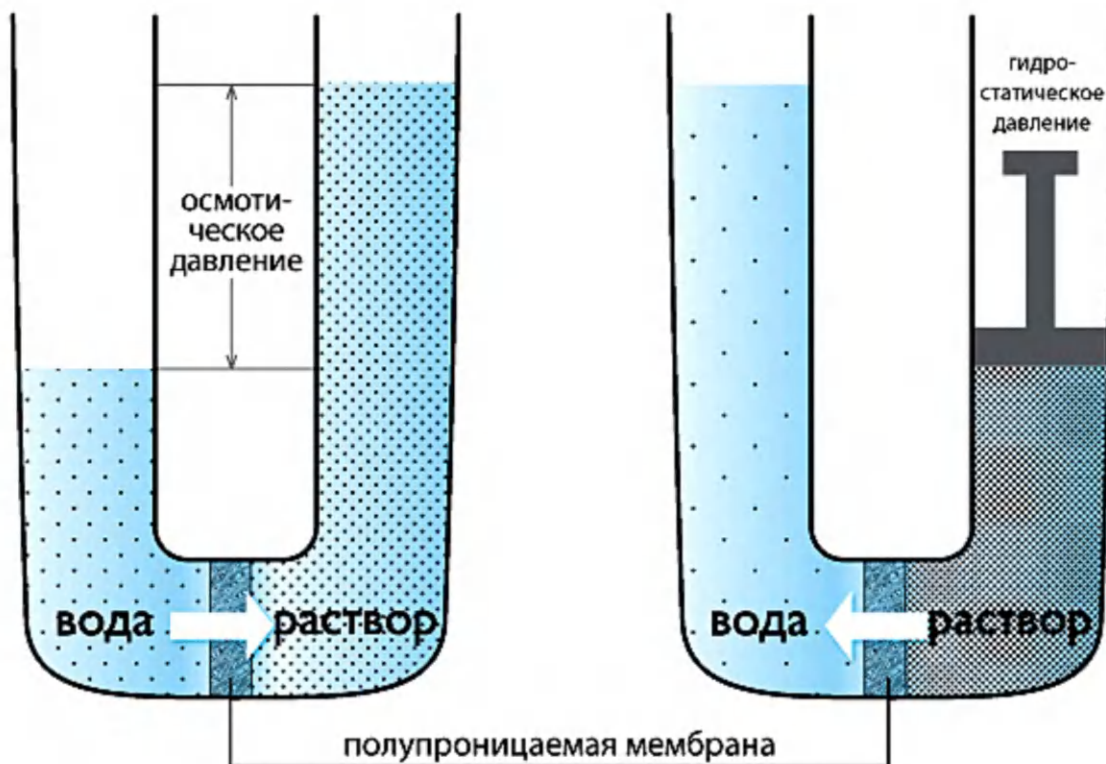
### Концентрирование продукта

За отделением продукта следует его концентрирование. Основные методы концентрирования – обратный осмос, ультрафильтрация, выпаривание.

Если мембрана пропускает воду, задерживая растворенные в ней вещества, речь идет об осмосе. Прямой осмос – диффузия веществ через мембрану, разделяющую раствор и растворитель. Как правило, раствор помещают в мешок из полупроницаемого материала, и этот мешок погружают в сосуд с растворителем. Растворитель, поступающий извне, оказывает на мешок давление, называемое осмотическим. Если к раствору приложить внешнее давление, превышающее осмотическое, то растворитель вытекает через полупроницаемую мембрану против градиента концентрации растворенного вещества, т. е. происходит дальнейшее концентрирование раствора. Подобный процесс представляет собой обратный осмос, используемый как метод концентрирования продукта.

Ультрафильтрация – отделение веществ с помощью мембранных фильтров. Некоторые марки фильтров предназначены для отделения лишь сравнительно крупных частиц: иммуноглобулинов, коллоидных агрегатов, вирусов. Мембраны с наиболее мелкими порами задерживают молекулы органических кислот. При умеренно высоком давлении (200–400 кПа), приложенном к жидкости, скорость ее потока через фильтр достаточно высока для быстрой и эффективной ультрафильтрации. Технология ультрафильтрации подкупает своей простотой, относительной экономичностью и мягким, щадящим обращением с продуктом. Здесь не требуется изменения pH, ионной силы раствора или перевода продукта в другую фазу. Этим объясняется

перспективность ультрафильтрации для концентрирования таких малостабильных продуктов, как молочная и глутаминовая кислоты, некоторые антибиотики и ферменты, витамин В<sub>12</sub>.



Прямой (слева) и обратный (справа) осмос.



Фильтрационная установка.

Метод выпаривания, наиболее древний и известный еще алхимикам, обладает очевидным недостатком: для удаления воды или иного растворителя раствор необходимо нагревать. В производственных условиях чаще используют вакуум-выпарные аппараты, и температура выпаривания, соответственно и вред, причиняемый термолabileм веществам, могут быть снижены в зависимости от уровня снижения давления в выпарном аппарате по сравнению с атмосферным. Нагревающим агентом чаще всего служит водяной пар, хотя используют также обогрев жидким теплоносителем или электрообогрев. Пар характеризуется большой теплотой конденсации и облегчает регулировку процесса выпаривания.

Выпарные аппараты бывают периодически и непрерывно действующие, с однократной и многократной циркуляцией кипящего раствора. Теплообмен между нагревающим агентом и выпариваемым раствором обеспечивается системой труб, змеевиков или паровой рубашкой. Необходимо добиваться равномерного обогрева раствора без локального перегрева. Перспективные методы выпаривания чувствительных к нагреванию веществ состоят в использовании дисковых и пленочных выпарных аппаратов, в которых испарение стимулируется в результате растекания жидкости тонким слоем по нагретой поверхности.

Выпаривание может быть ограничено стадией получения густого сиропообразного раствора целевого продукта. В этом случае вся процедура называется упариванием, а полученный продукт относится к категории жидких. Исчерпывающее удаление влаги, оставшейся после упаривания, обратного осмоса, ультрафильтрации, ведет к получению «сухого продукта» и выделяется технологами в особую стадию — обезвоживание продукта (сушка).

### Обезвоживание продукта

В распоряжении биотехнолога имеются различные методы сушки. Их выбор зависит от физико-химических свойств обезвоживаемого продукта, в частности, от вязкости раствора и от стабильности или жизнеспособности при повышенных температурах, если речь идет о живых объектах. Наиболее старым методом можно считать сушку на подносах. Для сушки термостабильных антибиотиков и аминокислот применяют модификацию метода — ленточную сушку. Подносы в этом случае заменяют на ленточный конвейер, ленту постоянно подогревают.

Перспективным методом является сушка в кипящем слое. Газообразный нагревательный агент (пар, воздух,  $\text{CO}_2$ , дымовые или топочные газы) мощной струей врывается в сушильный аппарат снизу, и частицы обезвоживаемого продукта парят в газовом потоке. Принципиально аппарат совпадает с газофазным биореактором.

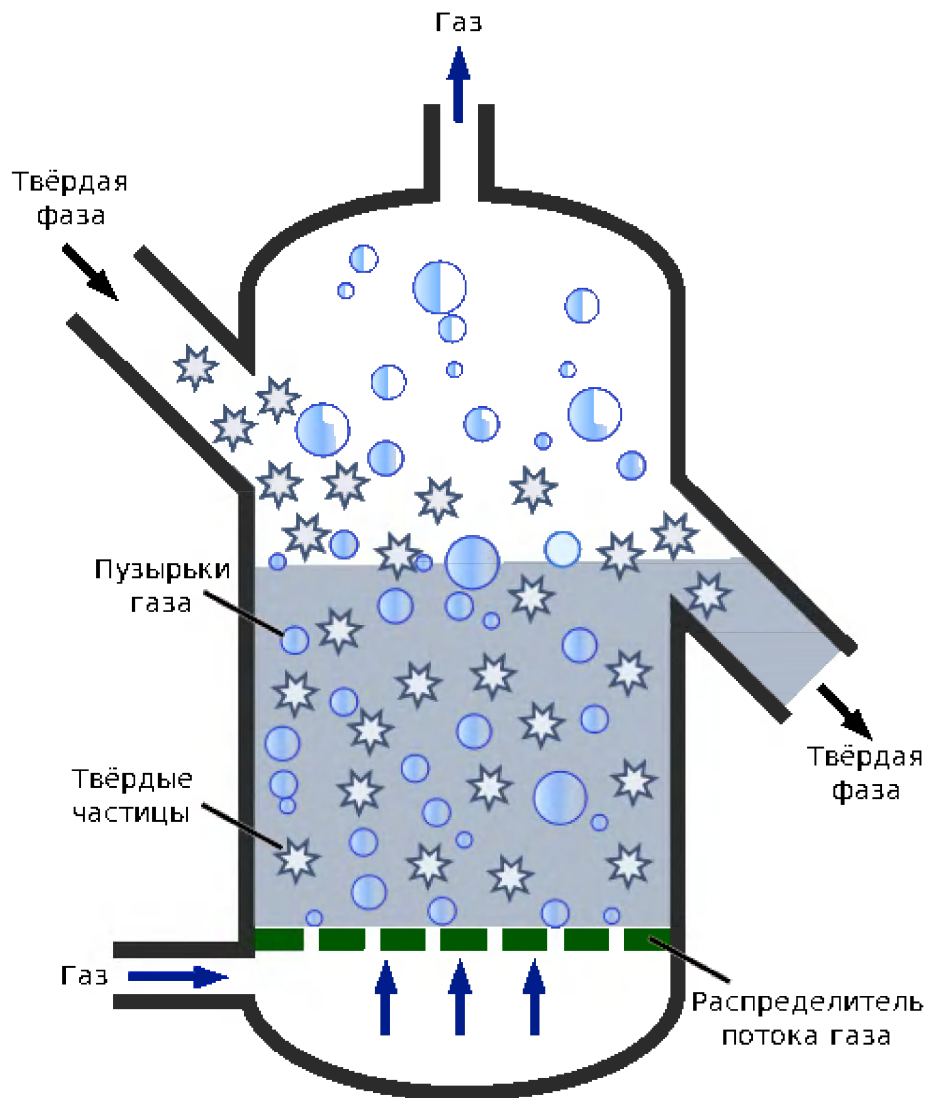
Преимуществом метода является возможность регулирования в широких пределах продолжительности пребывания материала в аппарате, интенсивности массопередачи и теплообмена, возможность организовать непрерывный процесс при простой конструкции аппарата. Ограничение метода состоит в том, что материал не должен приставать к стенкам сушильного аппарата. Метод пригоден для сушки антибиотиков, аминокислот, крахмала, но не суспензий клеток.

Барабанные сушилки, в которых обезвоживают микробные суспензии, состоят из вращающихся подогреваемых барабанов, погруженных в сосуд с суспензией. Соприкасаясь с барабаном, суспензия обезвоживается, и присыхает в виде пленки к его стенкам. Высохшую биомассу соскребают со стенок ножом.

Особо чувствительные к нагреву материалы сушат в вакуум-сушильных шкафах, при пониженном давлении и температуре. Проблемы с этим видом сушильных аппаратов связаны с трудностью их обслуживания в промышленных условиях и частым выходом аппаратов из строя.

Распылительные сушилки превращают раствор или суспензию в аэрозоль путем пропускания под давлением через форсунку, вращающийся диск и т. д. Аэрозоль

подается в сушильную камеру, где его встречает нагретый газ – теплоноситель с температурой 110–150°С. Воздействие столь высокой температуры ограничивает использование метода для сушки термолабильных веществ и живых клеток. В производстве сухих силосных заквасок на основе молочнокислых бактерий выход жизнеспособных клеток после распылительной сушки не превышает 20–30%.



Схематический чертёж реактора с кипящим слоем, использующего свойство псевдооживления.

Разрабатываются низкотемпературные режимы сушки, для эффективного осуществления которых необходимо тщательно удалять влагу из газа-теплоносителя и обеспечить тонкодисперсное распыление исходной суспензии. Другой проблемой, присущей методу распылительной сушки, является налипание продукта на стенки сушильной камеры. Капли суспензии или раствора достигают стенок камеры раньше, чем успевают подсохнуть. Налипание влажных частиц на стенки вызывает нарушение стабильной работы всего сушильного аппарата. Предлагается понижать вязкость исходной суспензии (раствора), что достигается путем нагревания, уменьшения в ней содержания веществ и установки оптимального pH. Каждый из этих способов понижения вязкости не лишен, однако, своих проблем. Например, повышение температуры вызывает угрозу инактивации целевого продукта.

Полученный сухой продукт поступает на хранение после придания ему товарного вида. Возможен также вариант химической модификации продукта.

## Пути модификации продукта

Химическая модификация необходима в тех случаях, когда биотехнологический процесс сам по себе дает лишь «заготовку» целевого продукта. Так, антибиотик, продуцируемый микробной культурой, путем химических перестроек может быть превращен в различные медицинские препараты. Пенициллин G, образуемый *Penicillium notatum*, модифицируют с целью получения ампициллина, метициллина и других полусинтетических пенициллинов. В некоторых случаях достаточно, чтобы организм синтезировал определенную структуру, к которой химическим путем присоединяют необходимые заместители.

Иногда биообъект участвует лишь на одном каком-либо этапе (или немногих этапах) в цепи химических процессов, ведущих к синтезу целевого продукта. Важный пример – придание продукту оптической асимметрии, что позволяет избежать трудоемких химических синтезов. Биообъект (скажем, дрожжи) избирательно потребляет один из изомеров (например, только L-аминокислоты), в среде остается его оптический антипод. Подобная технология известна со времен Луи Пастера. Биообъект в подобных случаях уподобляется одному из реагентов в наборе химика-органика, т. е. речь идет о микробной, говоря шире, биотехнологической химии.

Модификация – необходимый этап в получении ряда ферментов, гормонов, препаратов медицинского назначения. Речь идет о перестройке соединений животного, растительного или микробного происхождения с целью придания им специфических свойств, необходимых человеку. У бычьего инсулина «отстригают» аминокислотные остатки, после чего он становится идентичным человеческому гормону.

Генно-инженерные белки часто наряду с нужными человеку несут балластные аминокислотные последовательности. Короткие пептиды (соматостатин и др.) обычно получают в составе химерных белков, включающих аминокислотную последовательность  $\beta$ -галактозидазы *E. coli* или другого бактериального белка. Химическая модификация сводится в этом случае к отщеплению лишних аминокислотных последовательностей. Если продукт получают в виде мультимера (способ защиты от внутриклеточных протеаз), необходимо его последующее «нарезание» на функционально активные мономеры.

## Стабилизация продукта

Мероприятия, направленные на сохранение свойств продукта в период его хранения и использования потребителем, включают различные физико-химические воздействия на продукт. Так, сушка может значительно повысить устойчивость продукта к внешним воздействиям. Показано, что обезвоживание ряда ферментов наряду с некоторым снижением их активности ведет к повышению их стабильности, включая устойчивость к нагреванию. Панкреатическая липаза свиньи, сразу теряющая активность в водной среде при нагревании до 100°C, функционирует более двенадцати часов при той же температуре в смеси гептанола и трибутирина.

К стабилизации различных продуктов, в том числе кормового микробного белка, ведет добавление наполнителей из грибного мицелия, пшеничных отрубей, кукурузной муки, которые сами обладают питательной ценностью. Стабилизация ферментов достигается добавлением глицерина или углеводов, которые образуют многочисленные водородные связи с аминокислотными остатками, препятствуя тем самым спонтанной (при длительном хранении) или индуцированной нагреванием денатурации ферментов. Стабильность ферментов возрастает также при добавлении неорганических ионов –  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  для пектиназы, формалина – 0,2%-ного раствора для глюкоамилазы, антибиотиков – низина для глюкоамилазы.

В некоторых случаях стабилизация не исчерпывается физико-химическими средствами и представляет собой задачу особого биотехнологического процесса. Меланж, получаемый из яичных желтков, – ценный пищевой продукт, через несколько месяцев хранения темнеет, его органолептические свойства ухудшаются.

Порча меланжа может быть предотвращена, если из него удалить углеводы. С этой целью на меланже рекомендуется выращивать пропионовые бактерии, «выедающие» углеводы. Это приводит к значительному удлинению срока хранения меланжа. В то же время пропионовые бактерии повышают питательную ценность меланжа, обогащая его органическими кислотами и витамином B<sub>12</sub>.

Цели стабилизации белковых продуктов преследуют методы белковой инженерии. Эти методы позволяют повысить стабильность продуктов при длительном хранении и их устойчивость к нагреванию. Важность повышения термостабильности белков, особенно ферментов, находится в тесной связи с расширением области применения термофильных процессов в современной биотехнологии. Представляет интерес увеличение термостабильности лизоцима фага T4 E. coli. Путем генных манипуляций в положении 3 полипептидной цепи лизоцима заменен изолейцин на цистеин, так что образовалась новая дисульфидная связь с цистеином в положении 97. Это обусловило резкое повышение термостабильности лизоцима.

Принципиально новые возможности для стабилизации ферментов и целых клеток биообъекта открывает их иммобилизация.

## СИСТЕМЫ

Химическая модификация ферментов, их перенос в неводную среду, обработка с целью стабилизации, белковая инженерия – все эти методы относятся к компетенции инженерной энзимологии. Центральный метод инженерной энзимологии – иммобилизация ферментов. Иммобилизация – ограничение подвижности молекул ферментов, их конформационных перестроек – основана на физико-химических принципах, позволяющих закрепить структуру фермента таким образом, чтобы активный центр его молекулы сохранял свою работоспособность (каталитическую активность) в течение длительного времени, не подвергаясь структурным изменениям, приводящим к нарушению его конфигурации.

Способы иммобилизации – прикрепление ферментов к поверхности природных или синтетических носителей (адсорбция, химическое связывание), включение ферментов в полимерные гели, мембранные капсулы, полые волокна, поперечная сшивка ферментных молекул. Процессы с использованием иммобилизованных ферментов экономически эффективны. Так, получение фруктозы из глюкозы с применением глюкоизомеразы стало дешевле почти вдвое в результате перехода на технологию, основанную на иммобилизованных ферментных препаратах.

При иммобилизации ферменты из разряда гомогенных катализаторов (находящихся в той же фазе, что и субстраты реакции) переходят в разряд гетерогенных (образующих особую фазу, отделенную от реагентов). Фермент и реагенты могут быть разделены, что позволяет:

- а) в нужный момент остановить реакцию;
- б) регенерировать фермент после окончания реакции и использовать его для нового цикла биотехнологического процесса;
- с) получить продукт реакции без примеси фермента, что имеет особое значение для пищевой и фармацевтической промышленности.

Процесс можно многократно реализовать в периодическом режиме с использованием одного и того же ферментного препарата. Еще важнее возможность непрерывного режима с использованием известного в химической технологии принципа взаимодействия подвижной и неподвижной фаз. Подвижная фаза – раствор, суспензия, эмульсия реагентов – протекает через реактор, заполненный насадкой с им-

мобилизованным на носителе биокатализатором.

Фактором, способствующим длительному, в том числе непрерывному, функционированию иммобилизованных биокатализаторов, является их повышенная стабильность, сохранение активности в течение длительного времени как при хранении, так и в ходе биотехнологического процесса.

Принципы иммобилизации ферментов распространились на клетки и их органеллы как полиферментные системы.

Изолированные ферменты и клетки при иммобилизации приобретают свойства, не характерные для них в свободном состоянии.

## Методы иммобилизации

Методы иммобилизации являются общими для всех типов биокатализаторов – ферментов, клеток, клеточных органелл, комбинированных препаратов (рис. 19). Однако специфика каждого из них должна быть учтена при выборе предпочтительного метода иммобилизации и конкретных условий его реализации.

### Иммобилизация путем адсорбции или химической сшивки

В рамках этого метода биообъект фиксируют на поверхности неорганических (силикагель, пористое стекло, песок, обожженная глина, керамика, бентонит, гидроксид титана, циркония, железа и т. д.) и органических (целлюлоза, хитин и их производные, ионообменные смолы, оксиалкилметакрилат, глицидилметакрилат, нейлон, полиэтилен, полистирол) носителей. Имеется тенденция ко все более широкому применению материалов, получаемых путем прививки одного полимера к другому – поли (малеиновый ангидрид/стирол)-полиэтилен или поли (малеиновый ангидрид/винилацетат)-полиэтилен. Материалы разнообразны. Различны также механизм и прочность связей между биокатализатором и носителем – имеется гамма переходов от простого обрастания носителя через физическую адсорбцию, полярные и ионные взаимодействия к координационным и ковалентным химическим связям. Примером разработки, где носителю отводят лишь роль арматуры, является культивирование клеток млекопитающих в биореакторах для получения гормонов и других ценных продуктов. Известно, что рост клеток стимулируется их фиксацией (заякориванием) на твердом субстрате. Фиксация обеспечивается, в частности, насадкой из частиц ДЭАЭ-сефадекса. Контакт «клетка (субклеточная структура, фермент) – носитель» прочнее при адсорбции под влиянием дисперсионных, полярных и ионных взаимодействий.

Одним из методов широко практикуемой ныне иммобилизации дрожжевых / бактериальных клеток для получения этанола служит их сорбция за счет ионных сил на микропористой ионно-обменной смоле. Адсорбируют аминоксилазу для промышленного разделения смесей L- и D-аминокислот (японская фирма «Танабэ сэйяку»). Клетки дрожжей, адсорбированные на керамике и других носителях, обладают большей дыхательной активностью, чем свободные дрожжевые клетки.

В современных разработках прослеживается тенденция к использованию синтетических крупнопористых материалов, своеобразных «губок», впитывающих клеточную массу. Распространенным губчатым материалом служит полиуретан, образующий твердую «пену» с открытыми ячейками. Этот материал в виде мелко нарезанных частиц помещают в биореактор с клетками. Клетки, проникая в ячейки носителя, быстро растут. Такая система применяется в очистке сточных вод.

Этот пример говорит о простоте рассматриваемого метода иммобилизации. Она сводится к добавлению частиц носителя в перемешиваемую суспензию клеток или

пропусканию такой суспензии через колонку с частицами носителя. Для иммобилизации без химической сшивки характерно слабое влияние носителя на свойства биокаталитической системы. Ферменты сохраняют свою природную активность, а клетки – жизнеспособность. В то же время непрочный характер связи носителя с ферментом (клеткой) ведет к их десорбции, снижающей надежность метода.

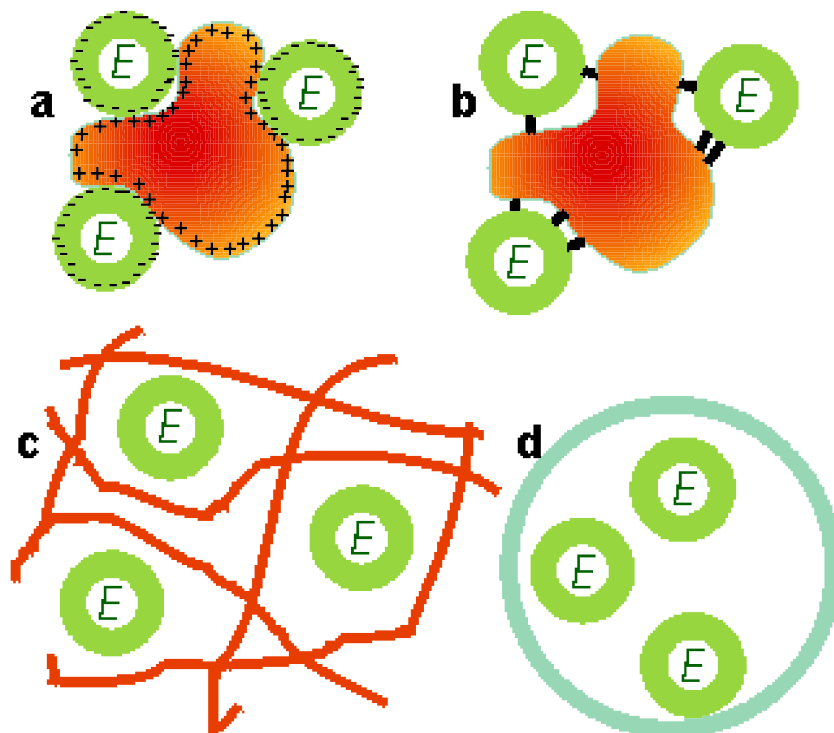


Рис. 19. Основные методы иммобилизации биокаталитических систем: E – объект (фермент); а – адсорбция на поверхности; б – химическое (ковалентное) связывание; с – включение в полимерную структуру; d – инкапсулирование.

Относительно более прочными являются ионные взаимодействия, при которых адсорбция поддерживается при определенных рН и ионной силе омывающего раствора. Для ионной адсорбции применяют различные носители. Если необходимо регенерировать биокатализатор, то заменой раствора можно десорбировать фермент (клетки), т. е. взаимодействия биокатализатора и носителя могут быть поставлены под контроль технолога.

Однако взаимодействия между биокатализатором и носителем теряют прочность при высокой ионной силе раствора, например при получении аспарагиновой кислоты из fumarата аммония. В этих условиях надежнее адсорбция на принципах дисперсионных (гидрофобных) взаимодействий. Используемый для получения аспарагиновой кислоты фермент аспартазу адсорбируют на хлопчатобумажной ткани, к поверхности которой пришиты гидрофобные алкильные или арильные группы.

Что касается прочной химической сшивки биокатализатора с носителем, то этот метод претерпел долгую историю, связанную с теоретическими исследованиями. Он допускает многочисленные модификации. Практически все функциональные группы белков ( $\alpha$ - и  $\varepsilon$ -аминогруппы,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -карбоксильные группы, сульфгидрильные группы цистеина, ароматические кольца тирозина и триптофана, имидазольная группа гистидина, гидроксильная группа аминокислот) могут быть использованы для сшивки биокатализатора и носителя. В частности, широко применяют реакции, ведущие к образованию пептидных связей между аминокеттами биокатализатора и карбоксильными группами носителя или, наоборот, между карбоксильными группами катализатора и аминокеттами носителя. Для реакции необходим водоотнимающий

агент, например дициклогексилкарбодиимид. Многообразны сшивающие агенты. К ним относятся также сульфурилхлорид, гидразин и др. Они образуют различные связи между биокатализатором и носителем. Например, бромциан сшивает гидроксил и аминогруппу.

Проводят реакции между носителем и биокатализатором без участия сшивающих агентов. Одна из подобных реакций зависит от наличия в химической структуре носителя групп  $O=C-O-C=O$  (остаток малеинового ангидрида), которые выступают в прямое взаимодействие с аминогруппами катализатора, образуя пептидные связи. Для реализации подобной реакции к синтетическим полимерным материалам прививают дополнительные структуры, содержащие малеиновый ангидрид. Таким способом успешно иммобилизованы бычий сывороточный альбумин, глюкозооксидаза, щелочная фосфатаза, клетки *Bacillus stearothermophilus*.

Использование привитых полимеров — плодотворный и перспективный подход. Прививая к полимеру те или иные боковые ветви, можно гибко регулировать его свойства и реакционную способность, создавать на его поверхности микроокружение, оптимальное для стабильного функционирования биокатализатора. Представляет интерес иммобилизация микросом на полиэтилене с привитыми полиакриловой кислотой и поливиниловым спиртом. В этих условиях микросомы сохраняют высокую, стабильную монооксигеназную активность. Дополнительной стабилизации ферментативной активности способствует добавление глицерина — пример успешного сочетания двух методов стабилизации фермента: иммобилизация в сочетании с обработкой стабилизирующим агентом.

Иммобилизация путем химического присоединения биокатализатора к носителю отличается высокой эффективностью и прочностью связи. Влияние иммобилизации на активность фермента (клеток) различно и определяется как непосредственным изменением структуры фермента, его конформации, так и диффузионными ограничениями для доступа субстрата (кофактора). С целью уменьшения диффузионных затруднений для ферментативной реакции биокатализатор иногда выводят из микроокружения молекул носителя. Его пришивают к носителю через спейсер, достаточно длинную последовательность химических группировок. Например, при иммобилизации галактозилтрансферазы на сефарозе между носителем и ферментом вставляют последовательность  $-CH_2NH(CH_2)_5CO-$ . Проблемой является выбор оптимальной длины спейсера, при которой предотвращаются нежелательные последствия иммобилизации (диффузионные затруднения, искажение структуры биокатализатора) и в полной мере используются ее полезные эффекты (прочная фиксация биокатализатора и его длительное функционирование).

С целью снижения отрицательного влияния химической сшивки с носителем на функционирование фермента (клетки) проводят удаление места сшивки от активного центра фермента (соответственно от жизненно важных органелл клетки). Если фермент имеет гликопротеидную природу, ковалентную сшивку проводят по углеводной, а не белковой части ферментной молекулы. Спиртовые группы сахаров окисляют периодатом до альдегидных групп, которые затем вводят в реакцию с аминогруппами носителя.

Как особый случай без использования сшивающего агента можно рассматривать иммобилизацию клеток на носителях из полимерных гидроксидов циркония, титана, олова и железа. Гидроксильные группы вытесняются из координационной сферы того или иного металла функциональными группами клеточных стенок. Между носителем и биокатализатором устанавливаются координационная или ковалентная связь.

Иммобилизация путем  
включения в  
полимерную структуру

Таким методом биокатализатор вносят в полимерную структуру: получают гра-

нулы, пленки, волокна, несущие биокатализатор. Метод перспективен, в особенности в применении к целым клеткам. Клетки сохраняют жизнеспособность и высокую каталитическую активность, способны реализовать многостадийные, полиферментные реакции. Применяют как природные, так и синтетические полимерные материалы: альгинат, каррагинан, коллаген, желатину, целлюлозу, хитин, полиакриламид, фоточувствительные полимеры.

Способ включения биологического материала в полимерную структуру определяется спецификой полимера. Полимеризация альгината и каррагинана, добываемых из морских водорослей, зависит от  $\text{Ca}^{2+}$  (для альгината) и  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mo}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  (для каррагинана). Биокатализатор вносят в раствор мономеров альгината/каррагинана и полученную смесь по каплям добавляют в водный раствор соответствующих катионов. Образуются сферические полимерные частицы, несущие иммобилизованный биокатализатор.

Важным технологическим параметром является однородность полученных гранул. Однородные гранулы образуются при пропускании раствора «будущего полимера» с биокатализатором через специальные иглы, формирующие капли стандартных размеров. Предложена новая и, по-видимому, более перспективная технология, основанная на образовании однородных капель при разрыве струи жидкости под влиянием резонанса, создаваемого специальным вибратором. Эта технология успешно применена при получении гранул альгината кальция с включенными клетками пекарских дрожжей и клетками растения *Narlorarpus gracilis*. Используют также приспособления типа пульверизатора, дающего мелкие (менее 1 мм) однородные капли.

Описанную методику получения гранул альгината/каррагинана обозначают как внешнее гелеобразование, противопоставляя ей разработанную в последние годы методику внутреннего гелеобразования. К раствору альгината/каррагинана, содержащему биокатализатор, добавляют соли (например, цитрат кальция для альгината), смесь оставляют на два часа для гелеобразования. Достоинством метода является возможность изготовить гель, однородный по всему объему использованного сосуда.

Иммобилизация в полиакриламидном геле (ПААГ) состоит во внесении биокатализатора в раствор мономера (акриламида), причем к поверхностным функциональным группам биокатализатора присоединяют аналог мономера — N,N'-метилendiакриламид. При соответствующих условиях формируется полимер, в который ковалентно вшит биокатализатор. Иммобилизация в коллагене сводится к интенсивному перемешиванию клеток в водной среде, содержащей частицы этого нерастворимого в воде белка. Когда используют желатину или агар-агар, то биокатализатор вносят в нагретый раствор этих полимеров с последующим охлаждением, вызывающим гелеобразование.

Полимерные материалы различаются по своим свойствам и области применения в качестве носителей биокаталитических систем. Альгинат дает гели с высокой прочностью и хорошими гидродинамическими свойствами. Клетки грибов, бактерий и растений в альгинатном геле нормально растут и размножаются. Включение в альгинатный гель побуждает клетки экскретировать продукты, которые они в свободном состоянии накапливают внутриклеточно. Так, клетки мака *Paraver somniferum* экскретируют производные кодеина, а клетки *Morinda citrifolia* — до 90% синтезированного L-диоксифенилаланина, ценного лекарственного соединения.

Каррагинан используют для иммобилизации ферментов и клеток. Клетки дрожжей — продуцентов этанола — в нем сохраняют каталитическую активность, как и в альгинате. Однако каррагинан образует недостаточно прочные полимерные гранулы, легко разрушаемые при росте клеток и механическом перемешивании в заполненном гранулами биореакторе. Укрепление геля и одновременно дополнительное повышение стабильности содержащихся в нем катализаторов достигается сшивкой гелевых частиц и биокатализаторов с помощью глутарового альдегида. Однако та-

кая обработка приводит к гибели клеток, они сохраняют способность к катализу лишь одностадийных реакций.

ПААГ – сравнительно «старомодный» полимерный материал. Он с успехом применялся на изолированных ферментах и клетках микроорганизмов. Однако он уступает по своим свойствам альгинату и каррагинану. В исследовании с *Pseudomonas putida* показана низкая эффективность ПААГ как иммобилизующего агента: лишь относительно малая доля клеток фиксируется в ПААГ в сопоставлении с каррагинаном и альгинатом. Замена ПААГ на каррагинан дала японской фирме «Танабэ Сэйяку» возможность повысить в 2,3 раза эффективность синтеза аспарагиновой кислоты с применением иммобилизованных микробных клеток. Недостаточная механическая прочность ПААГ ограничивает область его применения.

Это ограничение может быть снято при использовании ПААГ, содержащего жесткую арматуру из керамики.

### Иммобилизация путем инкапсулирования

В рамках этого метода биокатализаторы покрывают специальными полупроницаемыми оболочками, изготовленными из различных материалов – целлюлозы, полиакрилата, полистирола, полиуретана, полиэфиров, полисульфонамидов, поликарбонатов, липидов (рис. 19, d). В последние годы стали ясны преимущества метода, в частности, в приложении к культивированию клеток растений и животных, в том числе гибридом – продуцентов моноклональных антител. С этим методом связывают надежды на повышение эффективности синтеза ценных препаратов пищевого и медицинского назначения культурами растительных и животных клеток.

На примере животных клеток рассмотрим технологию инкапсулирования. Клетки включают в альгинатные капли, дающие сферические гранулы при действии  $\text{Ca}^{2+}$ . Эти гранулы одевают полупроницаемыми мембранами. Затем хелирующим агентом удаляют  $\text{Ca}^{2+}$ . Полимерная структура альгината рассыпается на мономеры, диффундирующие через мембрану во внешний раствор. Клетки, подобно малькам в оболочке икринки, приобретают свободу движения в пределах капсулы, что способствует их росту и доступу к ним питательных веществ. Размеры пор в мембранах устанавливаются с таким расчетом, чтобы в капсулах задерживался целевой продукт, а более низкомолекулярные примеси легко из них вымывались. Если речь идет о гибридных клетках, синтезирующих иммуноглобулины IgG, то поры задерживают этот белок (молекулярная масса 150 кД). Для клеток-продуцентов иммуноглобулинов IgM – изготавливают более крупнопористые капсулы, так как молекулярная масса IgM составляет 900 кД. По окончании процесса, после тщательной отмывки от низкомолекулярных примесей, капсулы разрушают в гомогенизаторе и отделяют центрифугированием от раствора, содержащего концентрированный, легко очищаемый целевой продукт.

Представляют интерес разработки по использованию липидных мембранных везикул в качестве капсул для ферментов, целых клеток и их органелл. Ферменты, завернутые в липидные мембраны, могут служить температурными реле. При определенной температуре мембраны «плавятся» – слагающие их липиды приобретают текучесть. Плавление ведет к скачкообразному изменению проницаемости мембран и открывает возможность создания биокаталитических систем, воздействующих на субстрат лишь в определенном диапазоне температур. Так была инкапсулирована уреаза. При 42°C мембраны липосом претерпевают фазовый переход, что ведет к резкому возрастанию активности фермента по отношению к субстрату (мочевине), находящемуся вне капсулы.

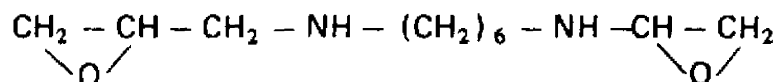
Для иммобилизации используют также полые волокна. Их изготавливают из целлюлозы и ее производных, а также других природных и синтетических полимеров. Раствор, содержащий биокатализатор, вводят во внутренний губчатый объем поло-

го волокна, и далее волокно «запечатывают» с обоих концов. В полости волокна биокатализатор не подвергается химической модификации и сохраняет свои свойства. При этом катализатор легко отделяется от раствора субстрата (продукта).

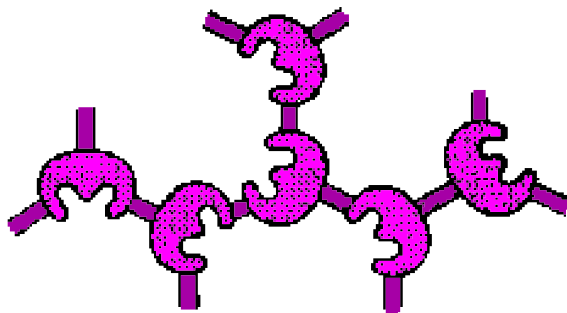
К методу инкапсулирования биокатализаторов близок метод обращенных мицелл, применяемый для катализа реакций в неводной (органической) фазе. Фермент включают в обращенную мицеллу – замкнутую структуру из поверхностно-активного вещества (детергент, липид), содержащую микроскопическую каплю воды. Функционирование такого фермента протекает на границе раздела двух фаз – органической, заполняющей объем биореактора, и водной, заключенной в обращенную мицеллу.

#### Иммобилизация путем поперечных сшивок

Метод поперечных сшивок заключается в химическом связывании ферментных молекул или клеток между собой с формированием конгломератов. Применяют би- или полифункциональные агенты, несущие две или более реакционноспособные группы и образующие сшивки между молекулами белков и других биополимеров. Примером полифункционального агента служат эпоксиполиимины:



Подобные соединения осуществляют поперечную сшивку биокатализаторов за счет эпокси- и иминогрупп. Широко используют также глутаровый альдегид, 2,4-толуолдиизоцианат, гексаметилендиизоцианат, хлорпроизводные триазина и т. д. Достоинство метода относительная простота его реализации, при освоении нового биокатализатора из всех методов он нередко применяется первым.



Иммобилизация методом поперечных сшивок.

В сшивках участвуют функциональные группы биокатализаторов, что часто ведет к нарушению их структуры и снижению активности. Имобилизация клеток путем поперечных сшивок обычно связана с утратой их жизнеспособности. Глутаровый альдегид или другой низкомолекулярный агент проникает внутрь клеток, образуя многочисленные сшивки между внутриклеточными органеллами, ферментными молекулами и т. д. Убивая клетку, такая обработка в то же время стабилизирует конформацию внутриклеточных ферментов, предотвращает атаку на них протеаз, препятствует автолизу клеток. В некоторых случаях ограничиваются иммобилизацией ферментов в клетке, т. е. проводят фиксацию поперечными сшивками клеточного содержимого, без сшивания клеток между собой. Такая обработка может приводить к значительному возрастанию активности клеток как биокатализаторов, например  $\beta$ -галактозидазной активности клеток *E. coli*.

Особое значение имеет поперечная сшивка между клетками и изолированными ферментами, а также между различными видами клеток или несколькими разными

ферментами. В этих случаях речь идет о соиммобилизации биокаталитических систем.

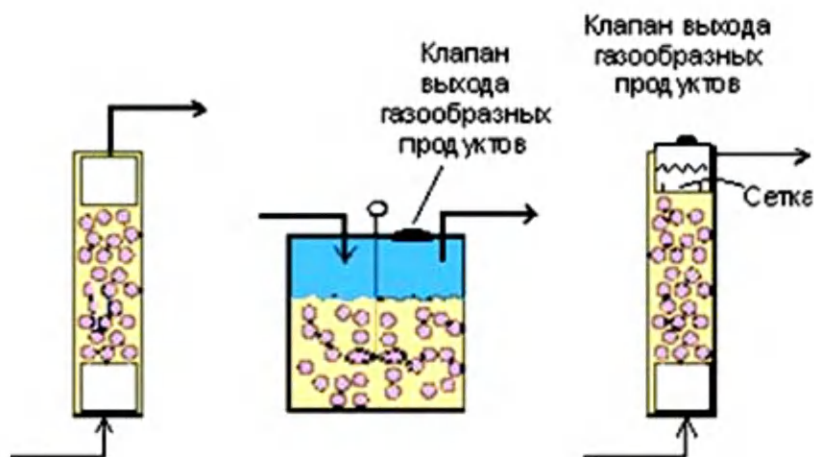
Таковы основные методы иммобилизации. Для каждого типа биокатализаторов есть свои предпочтительные методы. Клетки и их органеллы чаще всего иммобилизуют включением в полимерные структуры, в то время как изолированные ферменты предпочтительно иммобилизуют на поверхности носителей или методом поперечной сшивки.

Применяются также комбинации различных методов. Так, поперечную сшивку применяют для дополнительной фиксации биокатализаторов, иммобилизованных на носителях или в структуре полимера. В другом варианте методики в «строящийся полимер» вносят биокатализатор (например, клетки), предварительно обработанный сшивающим агентом. В некоторых случаях целесообразно укрепить поверхность альгинатных (каррагинановых) гранул с иммобилизованными биокатализаторами, обработав их глутаровым альдегидом или иным сшивающим агентом. В результате гелевые частицы приобретают прочный наружный скелет. Возможно также комбинирование иммобилизации на носителе и инкапсулирования: биокатализатор, прикрепленный к носителю, покрывают капсулой.

Оригинальную комбинацию методов иммобилизации представляет собой способ, предложенный В. Д. Соколовским и Г. А. Коваленко (1984) для окислительно-восстановительных ферментов. Раствор фермента смешивают с золью кремниевой кислоты и смесь наносят на пористый носитель — оксид алюминия. В этих условиях золь кремниевой кислоты за 1–2 мин переходит в гель, так что фермент оказывается одновременно включенным в гелевую структуру и адсорбированным на носителе.

### Реакторы для иммобилизованных биокатализаторов

Как уже отмечалось, иммобилизованные биокаталитические системы функционируют в биореакторе в виде неподвижной фазы, через которую протекает среда с субстратом, подлежащим биоконверсии. Возможны различные инженерные решения для подобного проточного биореактора. Наряду с непрерывным в таких реакторах используют и периодический режим. Аппараты для иммобилизованных биокатализаторов имеют аналогию с реакторами для химических процессов с гетерогенным катализом.



Виды биореакторов для иммобилизованных систем.

Если иммобилизованные катализаторы имеют вид гранул, то важной задачей является их максимально плотная упаковка в аппарате. Таким путем реализуют еще

одно преимущество метода — возможность повышения концентрации биообъекта в реакторе, что влечет за собой и более высокий выход целевого продукта. Например, плотность популяции животных клеток *in vitro* не превышает  $10^6$  на 1 мл среды, тогда как в составе гелевых гранул или капсул достигает  $10^8$ – $10^9$  на 1 мл.

Плотную упаковку реализуют в биореакторе с циркуляционным перемешиванием и насадкой, роль которой играют гранулы с иммобилизованным биокатализатором. Это один из преобладающих типов биореакторов для иммобилизованных биокаталитических систем, используемый, например, для получения спирта с помощью клеток дрожжей или бактерий *Zygomonas mobilis*. Применение циркуляционных биореакторов с насадкой порождает, однако, серьезные проблемы:

- 1) недостаточно эффективное перемешивание, что обуславливает формирование нежелательных температурных, концентрационных и pH-градиентов в объеме аппарата;
- 2) затруднения с удалением  $\text{CO}_2$  и других газообразных продуктов, которые, прокладывая себе путь к верхней части аппарата, разрушают гранулы с иммобилизованным биокатализатором.

Для улучшения перемешивания и газообмена биореактор снабжают механической мешалкой, что ощутимо повышает энергозатраты и может быть причиной разрушения гранул. Борьба с повреждающим действием мешалки ведется путем укрепления гранул. Отметим, что мембранные капсулы для животных клеток обладают прочностью, достаточной для сохранения их целостности при работе механической мешалки. Свободные животные клетки при тех же оборотах мешалки подвергаются лизису.

Предохранение гранул с катализатором от повреждения мешалкой достигается в биореакторе «корзиночного» типа. Биореактор снабжен мешалкой, которая вращается в пустом цилиндре из проволоочной сетки — «корзине». «Корзина» несет в своих ячейках гранулы, содержащие биокатализатор. Получаются два уровня иммобилизации — гранулы с иммобилизованным биокатализатором, которые, в свою очередь, фиксированы в ячейках проволоочной сетки. Проволоочная корзина предохраняет гранулы от разрушения в процессе перемешивания.

Для стимуляции газообмена предложена оригинальная конструкция реактора, в частности для целых клеток, включенных в полимерный гель. Этот гель не оформляют в виде гранул, а еще незастившим заливают в аппарат, где и происходит гелеобразование. Например, гелеобразование альгината вызывают добавлением  $\text{Ca}^{2+}$ . Получается монолит геля с иммобилизованным биокатализатором. В этой массе геля прорезают вертикальные каналы для оттока газов. Такие каналы можно изготовить, поместив в биореактор с незастившим гелем вертикально ориентированные стержни. Подобный биореактор не дает, однако, возможности реализовать принцип протока и поэтому годится лишь для периодического режима работы.

Для биокатализаторов, иммобилизованных в полых волокнах, создан специальный реактор. Раствор субстрата протекает через сосуд, рыхло заполненный полыми волокнами, во внутреннем объеме которых содержится биокатализатор. В таком биореакторе достигнута 90%-ная конверсия фумарата аммония в аспарат с помощью клеток *E. coli*.

Имеются сообщения о пневматических (эрлифтных, колоночных) биореакторах для иммобилизованных растительных клеток.

### Проблемы биокаталитических систем

Остановимся на специфике основных типов биокатализаторов. Знание их особенностей, достоинств и недостатков позволяет найти для каждого из них подходящий способ иммобилизации, соответствующую конструкцию биореактора, оптималь-

ную область применения. Известно, насколько многообразны возможности, между которыми приходится выбирать биотехнологу при иммобилизации той или иной биокаталитической системы. Неудивительно, что многие ранние разработки по иммобилизации терпели неудачи, катализаторы теряли активность вследствие неадекватной методики иммобилизации.

Затруднения, связанные с налаживанием новой, пусть перспективной технологии, существенно ограничивают круг промышленных процессов с использованием иммобилизованных биокаталитических систем. Необходимость в иммобилизации отпадает, если свободный биокатализатор, в частности изолированный фермент, достаточно дешев, а процесс уже отлажен. Пример – ферментативный гидролиз крахмала. Выбор свободного или иммобилизованного биокатализатора, таким образом, должен быть подкреплён соображениями экономической целесообразности.

#### Изолированные ферменты

Первым этапом на пути к получению иммобилизованного фермента служит его выделение из природного источника и очистка. Этот этап часто связан с наибольшими затратами, и даже самая выигрышная стратегия иммобилизации становится непригодной для реализации в промышленном масштабе, если не найден достаточно экономичный способ выделения и очистки соответствующего фермента. Ферментные препараты из микроорганизмов (в том числе генно-инженерных штаммов), культур животных, растительных и грибных клеток обходятся дешевле ферментов, выделяемых из тканей крупного рогатого скота и сельскохозяйственных растительных культур. Последующий этап иммобилизации преследует цель не только создания гетерогенного катализа, но и стабилизации фермента, а в некоторых случаях изменения его специфичности.

#### Стабилизация фермента при иммобилизации

Включая фермент в ячейки полимерной структуры, подвергая его внутри- и межмолекулярным сшивкам, пришивая его к носителю, закрепляют фермент в рабочей конформации, препятствуя денатурационным перестройкам. Этим объясняется повышение стабильности иммобилизованного фермента при длительном хранении и функционировании, а также по отношению к воздействиям повышенной температуры, экстремальных значений pH, органических растворителей. Уже ди-, три- и тетрамеры ферментов, полученные путем поперечных сшивок молекул, более термостабильны, чем мономеры.

Если денатурация все-таки происходит, то при подходящих условиях иммобилизованный фермент ренатурирует быстрее растворимого. Рибонуклеаза А после денатурации, вызванной разрывами четырех внутримолекулярных дисульфидных связей при действии дитиотреитола, самопроизвольно восстанавливает каталитическую активность. Однако для этого необходим довольно длительный лаг-период. В продолжение этого периода молекула принимает различные конформации, пока не отыщет единственный вариант, соответствующий активному ферменту. Ренатурация ускоряется добавлением окислителя, однако лаг-период при этом сохраняется. Рибонуклеаза, иммобилизованная сшивкой на частицах стекла, ренатурирует без лаг-периода при всех испытанных условиях. Предполагается, что иммобилизованный фермент, имея меньшую свободу конформационных перестроек, быстрее свободного находит кратчайший путь к функционально активной конформации.

Возможно, тот факт, что синтезированные в клетке полипептиды быстро принимают рабочую конформацию, объясняется их естественной иммобилизацией на рибосомах.

Иммобилизованные ферменты, как гребцы-невольники на галерах, прикованные каждый к своей скамье, пространственно разобщены на носителе. Это означает резкое затруднение межмолекулярных взаимодействий типа агрегации, которые могут вызвать инактивацию фермента. Если ферменты включены в микропористый носитель, полимерные структуры или микрокапсулы, то они предохраняются также от воздействия микроорганизмов. Это также способствует повышению стабильности иммобилизованных ферментов и позволяет во многих случаях рассматривать иммобилизацию как метод их длительного хранения. Например,  $\alpha$ -кетоглутаратдегидрогеназа, галактозилтрансфераза, амилоглюкозидаза сохраняют каталитическую активность в иммобилизованном состоянии значительно лучше, чем в растворимом состоянии.

Стабилизация биокатализатора достигается при правильном подборе условий и метода иммобилизации. В противном случае может наступить дестабилизация фермента, и даже необратимое разрушение его структуры в процессе иммобилизации — причина неудачного исхода многих ранних разработок. В наши дни этого в большинстве случаев удается избежать, но различные способы иммобилизации дают разные по стабильности ферментные препараты. Активность амилоглюкозидазы, включенной в полиакриламидный гель или пришитой с бромцианом к сефарозе 4В, не снижается при хранении в замороженном состоянии в течение месяца (при  $-14^{\circ}\text{C}$ ). Активность того же фермента, иммобилизованного на сефарозе с помощью карбодиимида, за месячный срок в тех же условиях падает до 25% от первоначальной. Перспективно применение комбинации нескольких методов ограничения подвижности ферментных молекул. Например, связывание с водорастворимым полимером с последующим пришиванием к кремниевому носителю дает большую стабильность препарата целлюlobиазы, чем каждый из этих методов в отдельности.

Наряду со стабилизацией часто наблюдается определенное снижение активности фермента при иммобилизации. Случаи сохранения активности на первоначальном уровне или дополнительной активации фермента редки. Это объясняют искажением структуры фермента при иммобилизации и затруднением доступа к нему кофакторов и субстратов, особенно если фермент со всех сторон экранирован носителем.

#### Изменение функциональных свойств ферментов при иммобилизации

Стабилизация фермента, изменение его активности — это примеры влияния иммобилизации на свойства фермента. Помимо воздействий на структуру и диффузионных ограничений, на характеристики фермента при иммобилизации существенно влияет микроокружение, определяемое природой носителя. Поперечная сшивка молекул химотрипсина гидросукцинимидом ведет к сдвигу его изоэлектрической точки от 8 до 5, уменьшению константы Михаэлиса и изменению других функционально важных параметров. Подобные модификации могут иметь и положительное, и отрицательное значение в зависимости от поставленной задачи.

Испытывая различные способы иммобилизации, исследователь стремится к сохранению функциональных характеристик фермента или к их целенаправленному изменению. Так, иммобилизацией фермента на анионном или катионном полиэлектролите можно добиться сдвига его оптимума pH, соответственно, в щелочную или кислую сторону. Положительное значение имеет расширение оптимальной зоны pH сахарофосфорилазы *Leuconostoc mesenteroides* при ее иммобилизации в желатине с последующей сшивкой глутаровым альдегидом.

Иммобилизация приводит к снижению эффективности ингибиторов ферментов. Одной из причин здесь, по-видимому, является затрудненный доступ ингибиторов к иммобилизованному ферменту. Это подтверждается тем, что ингибирующее действие высокомолекулярных соединений снижается в большей степени, чем низкомолеку-

лярных. Имобилизованный трипсин сохраняет чувствительность к низкомолекулярному ингибитору фенилметан-сульфонилфториду, но не к ингибитору из сои с молекулярной массой 22 кД или овомукоиду с массой 33 кД.

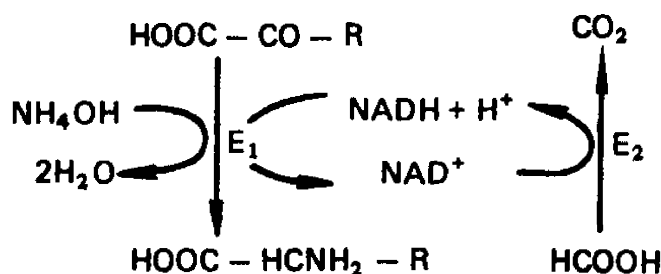
В то же время известны случаи, когда иммобилизация повышает устойчивость ферментов и к низкомолекулярным ингибиторам. Иммобилизация L-аланинаминотрансферазы на коллагеновой мембране ведет к снижению ингибирующего действия двухвалентных катионов.

Важное практическое значение иммобилизации заключается в том, что ферментам можно придать способность функционировать в неводной среде, в частности в органических растворителях. Строго говоря, речь идет о двухфазных системах, так как носитель фермента удерживает в себе воду и именно этим водным микроокружением обусловлено сохранение каталитической активности.

### Проблема регенерации кофакторов

Одностадийные реакции, не требующие кофакторов (получение L-аминокислот из рацематов, превращение глюкозы во фруктозу, гидролиз лактозы и т.д.), относят к ферментативным биотехнологическим процессам первого поколения. Некоторые из них ныне применяют в промышленном масштабе.

Переход к процессам второго поколения связан с освоением более сложных, в том числе многостадийных процессов, которые зависят от растворимых кофакторов, включая АТФ, NAD(P), флавины. Примером служит получение L-аминокислот из кето-кислот:



Реакция зависит от NADH, пополнение фонда которого достигается окислением формиата до CO<sub>2</sub>. Здесь E<sub>1</sub> и E<sub>2</sub> — соответственно дегидрогеназы кетокислот и формиата.

NADH и другие растворимые кофакторы уносятся током жидкости в проточном непрерывно действующем биореакторе с иммобилизованными ферментами, а постоянное добавление новых порций кофакторов крайне неэкономично. В то же время простая иммобилизация кофактора недопустима, так как он должен совершать челночные движения между несколькими ферментами (в приведенном примере — между двумя дегидрогеназами) и, следовательно, обладать определенной степенью подвижности.

Возможны два подхода к решению проблемы регенерации кофактора.

Кофактор может быть пришит к ферменту или его носителю через пространственную ножку: достаточно длинную и гибкую для челночных движений кофактора. Подобные препараты дороги и недостаточно эффективны.

Масса молекулы кофактора может быть значительно увеличена за счет присоединения к водорастворимым полимерам — декстрану, полиэтиленгликолю. Такой «разбухший» кофактор сравнительно легко удерживается в биореакторе, если на пути оттока жидкости из аппарата поставить ультрафильтр. Этот подход более перспективен и использован во многих биотехнологических разработках.

## Имобилизованные клетки

Определенная переориентация с иммобилизованных ферментов на иммобилизованные клетки, наблюдаемая в настоящее время, связана с тем, что:

- а) при использовании целых клеток не требуется проводить отделения и очистки фермента;
- б) клетки осуществляют как одно-, так и многостадийные процессы, имея необходимые для этого кофакторы.

Конечно, метод иммобилизованных ферментов не имеет альтернативы, если речь идет о внеклеточных (экскретируемых) ферментах, например о целлюлозах.

В промышленных масштабах часто используют иммобилизованные убитые клетки, способные обычно лишь к одностадийным процессам. Такие клетки служат эквивалентом инкапсулированного фермента. Остальное клеточное содержимое – ненужный балласт, нередко представляющий угрозу для целевого фермента. Протеазы, способные инактивировать целевой фермент, и другие агенты, которые могут вызвать нежелательные химические реакции, стремятся тем или иным способом удалить из клетки (например, путем вымывания), инактивировать или вывести из сферы действия внутриклеточными сшивками.

## Иммобилизация и рост клеток

Живые клетки более перспективны и в то же время являются более «капризными» биокатализаторами, чем неживые клетки. Однако непостоянство свойств клеток, варьирующих от популяции к популяции, от одной стадии развития к другой, накладывает отпечаток на устойчивость их работы как биокатализаторов.

Иммобилизация в ряде случаев приостанавливает развитие клеток, что способствует стабилизации их каталитической активности. Но так происходит не всегда. От условий и метода иммобилизации, подготовки биообъекта к этой процедуре, предыстории культуры клеток, состава питательной среды, фазы роста зависит, будет ли исследователь иметь дело после иммобилизации с покоящимися или растущими и делящимися клетками. Покоящиеся клетки выигрышнее делящихся. При делении клетки могут покидать носитель, если применен метод иммобилизации на носителе. Освободившиеся клетки угрожают свести на нет технологические преимущества метода иммобилизации, вызывая порчу целевого продукта. Рост клеток может привести к растрескиванию геля, к разрушению иммобилизующих капсул. Иное дело, когда продуктом служит клеточная масса. В этом случае освободившиеся дочерние клетки уносятся из биореактора в аппарат для сепарации, а материнские продолжают делиться в иммобилизованном состоянии.

Многие ценные продукты не синтезируются растущими клетками. Их синтез наблюдается лишь в стационарной фазе развития культуры, в которой и следует поддерживать иммобилизованные клетки. В частности, в растительных клетках – продуцентах витаминов, пигментов и лекарственных соединений – наблюдается взаимное ингибирование роста и синтеза целевого продукта.

Изложенные факты свидетельствуют в пользу применения покоящихся клеток. Для их получения разрабатываются различные методические подходы. В отношении клеток растений, рост и деление которых зависит от фитогормонов, практикуется поддержание иммобилизованной клеточной популяции в отсутствие гормонов. Этим также достигается и более полное выражение генетического потенциала клеток в отношении синтеза целевого продукта. Так, иммобилизованные клетки растения *Morinda citrifolia* синтезируют в 10 раз больше антрахинона, чем свободные клетки того же растения. Для подавления роста иммобилизованных бактериальных клеток-продуцентов применяют антибиотики.

В то же время существует подход, основанный на использовании растущих иммобилизованных клеток. Синтез некоторых продуктов происходит в условиях роста клеток и подавляется при его прекращении.

#### Повышение проницаемости и стабильности иммобилизованных клеток

Иммобилизация клеток зачастую дополняется системой мер, направленных на повышение проницаемости клеточной стенки (пермеабиллизация). В результате пермеабиллизации клетки выделяют в культуральную жидкость максимальное количество целевого продукта, а не накапливают его внутриклеточно. К числу ценных веществ с внутриклеточной локализацией относятся многие генно-инженерные продукты, производимые бактериальными клетками, а также метаболиты растительных клеток, культивируемых *in vitro*. Пермеабиллизация способствует использованию прогрессивных технологий, основанных на принципе протока.

Иммобилизация сама по себе может повышать проницаемость клеточной стенки, мембраны. Однако нередко требуется дополнительная обработка клеток органическими растворителями, изменением pH и другими путями. В рассмотренном примере с *M. citrifolia* дополнительное повышение выхода антрахинона достигается обработкой клеток диметилсульфоксидом. Добавление фитогормонов к растительным клеткам и индукция формирования корней в культуре тканей может также вести к повышению проницаемости. Радикальным воздействием является удаление клеточной стенки, т. е. использование иммобилизованных протопластов.

Таким образом, иммобилизованные клетки – сложные каталитические системы, имеющие более разнообразные возможности, чем изолированные ферменты. Проблемы при реализации «биотехнологического потенциала» иммобилизованных клеток связаны с достижением стабильного выхода продукта и его выведением из клетки в омывающий раствор.

Важным подходом к стабилизации каталитической активности служит периодическое перенесение клеток в составе гранул или частиц других типов в богатую питательную среду. Кратковременная смена условий питания значительно увеличивает активность и сроки функционирования клеток как биокатализаторов. Так, 3-кетостероид- $\Delta'$ -дегидрогеназная активность иммобилизованных клеток *Arthrobacter globiformis*, проявляющаяся на минимальной среде, возрастает в шесть раз после инкубации в богатой питательной среде. В то же время это еще один способ минимизировать рост и деление клеток в процессе их работы.

В ряде биотехнологических разработок иммобилизации подвергают грибные споры. В полноценной питательной среде иммобилизованные споры *Curvularia lunata* прорастают. «Заякоренный» грибной мицелий затем применяют для 11 $\alpha$ -гидроксилирования стероидов. Для гидроксилирования в 11 $\beta$ -положении непосредственно используют иммобилизованные споры другого плесневого гриба, *Aspergillus ochraceus*. Лучшим для иммобилизации грибных спор оказался метод включения в структуру полиакриламидного геля.

#### Клеточные органеллы

Изолированные клеточные органеллы (хлоропласты, митохондрии, микросомы, лизосомы, пероксисомы и др.) как объекты биотехнологии содержат ферменты или полиферментные комплексы и в то же время свободны от большинства других компонентов клетки. Выделение органеллы или группы органелл обычно представляет собой более простую процедуру, чем получение очищенного фермента. В отличие от клеток, изолированные органеллы не растут и не делятся. Хлоропласты и ми-

тохондрии, обладая собственной ДНК, размножаются в составе целой клетки, но не *in vitro*.

Если фотосинтетическая активность клеток пурпурных бактерий меняется от одной фазы развития культуры к другой, то активность выделенных из этих бактерий фотосинтетических мембран (хроматофоров) длительно поддерживается на постоянном уровне, пока не произойдет инактивация. Изолированные и включенные в полиакриламидный гель хроматофоры *Rhodospirillum rubrum* используют в лабораторных масштабах для синтеза АТФ из АДФ и неорганического фосфата за счет световой энергии. Правда, АТФ-синтетазная активность иммобилизованных хроматофоров снижается при длительном освещении.

Архебактерия *Halobacterium halobium*, обитатель Мертвого моря и других засоленных водоемов, при росте на свету образует бактериородопсин – белок, содержащий пигмент ретиналь и придающий мембранам клеток пурпурную окраску. Этот белок отвечает за преобразование световой энергии в энергию разности электрических потенциалов и концентрационного градиента ионов  $H^+$  на цитоплазматической мембране. Выделенные из клеток *H. halobium* пурпурные мембраны предлагают иммобилизовать на различных носителях с целью создания искусственных фотоэлектрических преобразователей – биотехнологических аналогов солнечных батарей.

Поскольку электрические свойства бактериородопсина обусловлены его активностью как светозависимой помпы для ионов  $H^+$ , носитель должен быть проницаемым для  $H^+$ , но не для других ионов. Подходящим носителем является липидная бислойная мембрана, которая в целях ее упрочнения может быть армирована, например, путем нанесения на микропористый тефлоновый фильтр.

### Соиммобилизация

Под соиммобилизацией понимают совместную иммобилизацию различных биокатализаторов: двух или более ферментов, видов клеток, комбинаций ферментов и клеток и другие варианты. Иммобилизация нескольких ферментов позволяет осуществить многостадийные процессы *in vitro*. Пример – превращение кетокислот в аминокислоты, совмещенное с регенерацией кофактора. Многостадийные процессы могут быть осуществлены также с использованием нескольких видов соиммобилизованных клеток, в частности смешанных культур микроорганизмов. Так, трансформация сорбозы в 2-кето-L-гулоновую кислоту, легко переводимую в результате химического окисления в аскорбиновую кислоту, происходит при участии соиммобилизованных клеток *Gluconobacter melanogenes* и *Pseudomonas syringia*.

Большое внимание уделяют соиммобилизации ферментов и клеток. При этом возможны два варианта:

1. Клетки имеют ту же каталитическую активность, что и совместно с ней иммобилизованный фермент. Использование такой системы позволяет значительно ускорить реакцию и стабилизировать каталитическую активность.
2. Клетки и фермент катализируют разные реакции. В этом случае возможно поэтапное преобразование субстрата в целевой продукт.

Важнейшие биотехнологические процессы, реализованные с применением систем из соиммобилизованных ферментов и клеток, представлены в табл. 4.

Широко используется два метода соиммобилизации ферментов и клеток. Один из них состоит в том, что смесь раствора фермента и суспензии клеток включают в полимерную структуру. Другой метод рассмотрим на примере соиммобилизации клеток гриба *Aspergillus niger*, содержащих глюкозооксидазу и каталазу, с изолированной каталазой. Эту систему используют для окисления глюкозы до глюконовой кислоты. Убитый мицелий *Asp. niger* промывают агентом, увеличивающим проницаемость клеток, сушат и затем погружают в раствор каталазы. Сухой мицелий насыщает воду и, следуя за ее потоками, каталаза плотно садится на регидра-

тированный мицелий. Связь между клеткой и ферментом упрочняют путем поперечной сшивки глутаровым альдегидом.

В полученной системе реакция разложения пероксида водорода при участии каталазы эффективно обеспечивает глюкозооксидазную реакцию кислородом. Это позволяет ускорить образование глюконовой кислоты в 10 раз по сравнению с тем же процессом без соиммобилизованной системы. Соиммобилизация *Asp. niger* и  $\beta$ -глюкозидазы препятствует накоплению промежуточного продукта – глюкозы – при сбраживании целлобиозы до этанола и тем самым предотвращает вызываемое глюкозой ингибирование процесса.

Табл. 4. Примеры соиммобилизованных систем, включающих клетки и изолированные ферменты

| Компоненты соиммобилизованной системы                         |                        | Биотехнологический процесс                     |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|
| клетки                                                        | ферменты               |                                                |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ,<br><i>Zygomonas mobilis</i> | $\beta$ -Глюкозидаза   | Сбраживание целлобиозы до этанола              |
| Тоже                                                          | $\beta$ -Галактозидаза | Сбраживание лактозы до этанола                 |
| <i>S. cerevisiae</i>                                          | Глюкоамилаза           | Получение пива с низким содержанием декстринов |
| Тоже                                                          | Пепсин                 | Получение вина с низким содержанием белков     |
| Тоже                                                          | Глюкозооксидаза        | Превращение глюкозы в глюконовую кислоту       |
| <i>Aspergillus niger</i>                                      | Каталаза               | Тоже                                           |
| Тоже                                                          | Глюкоамилаза           | Удаление кислорода из пива                     |

При соиммобилизации биокаталитических систем, в частности клеток с ферментами, встает проблема их функциональной совместимости. Например, попытка превратить крахмал во фруктозу с применением соиммобилизованных глюкоамилазы и бактериальных клеток с глюкоизомеразной активностью не удастся. Это объясняется несовпадением оптимумов pH для двух биокатализаторов.

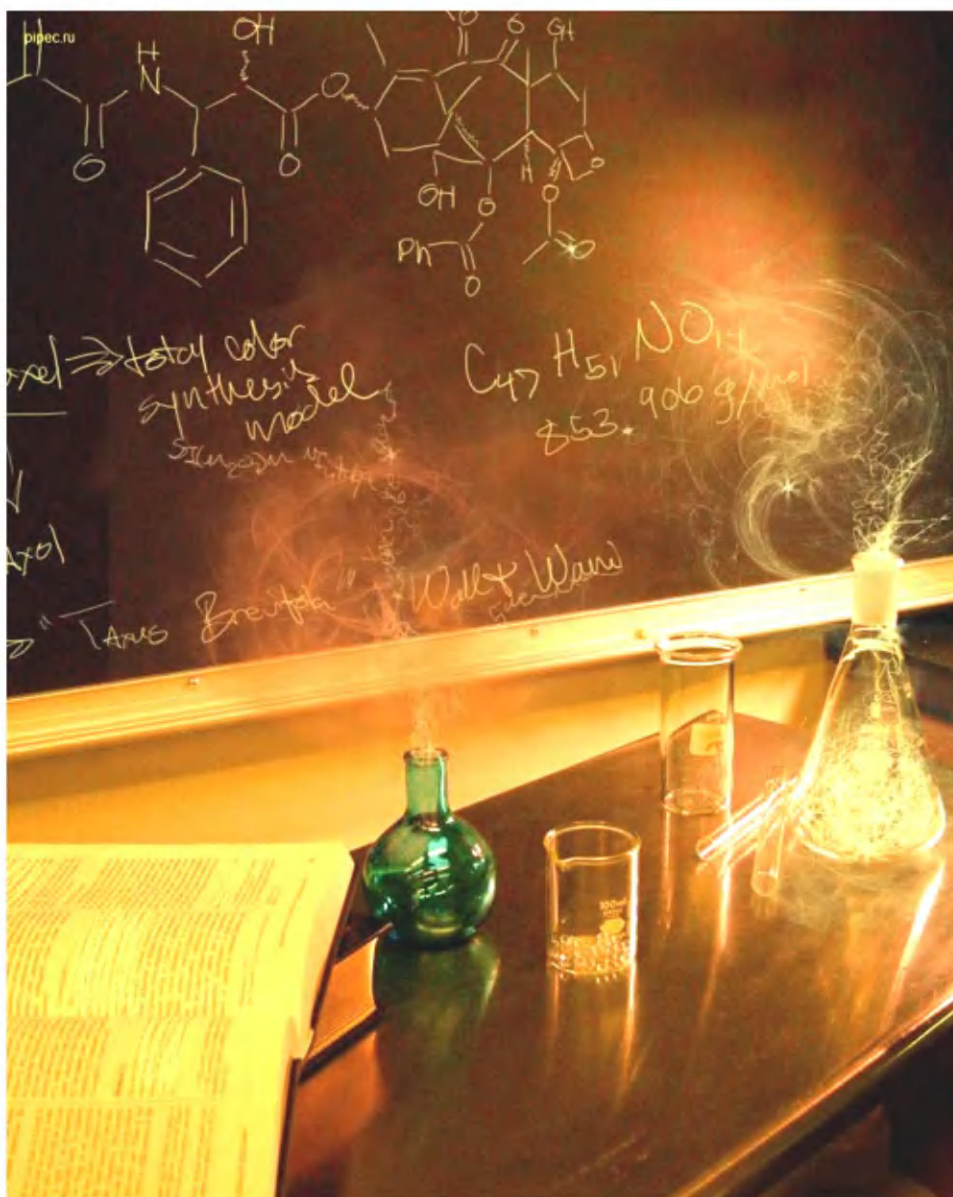
В последние годы усилия направлены на соиммобилизацию клеток растений и их органелл, однако, эти препараты недостаточно стабильны для практического использования.

Рассмотренные преимущества иммобилизованных биокатализаторов свидетельствуют о перспективах их практического использования в медицине, пищевой промышленности, органическом синтезе и биоконверсии энергии. Далеко не все разработки с применением иммобилизованных биокаталитических систем доведены ныне до уровня промышленного применения, многие еще ждут своего часа. Список важнейших биотехнологических процессов на базе иммобилизованных биокатализаторов, внедренных в промышленность, дан в табл. 5.

Табл. 5. Применение иммобилизованных биокаталитических систем в промышленности

| Биокатализатор                           | Метод                                                                                                          | Активность       | Процесс                                         |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|
| Изолированный фермент или мертвые клетки | Иммобилизация в желатиновом геле с дополнительной поперечной сшивкой, в полых волокнах, адсорбция на носителях | Глюкоизомеразная | Получение фруктозы или смеси фруктозы и глюкозы |

|                                          |                                                            |                                                                      |                                                                                                                                  |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Изолированный фермент                    | Адсорбция на ионообменниках                                | L-Аминоацилазная                                                     | Получение L-аминокислот из смесей L- и D-изомеров                                                                                |
| Мертвые клетки                           | Иммобилизация в геле с поперечной сшивкой                  | L-Аспартазная                                                        | Получение L-аспарагиновой кислоты из фумарата аммония                                                                            |
| Изолированный фермент или мертвые клетки | Связывание с носителем, включение в гель                   | Пенициллиназная                                                      | Получение из природного бензилпенициллина 6-аминопенициллановой кислоты – основы для производства полусинтетических пенициллинов |
| Изолированный фермент                    | Включение в ацетатцеллюлозные нити                         | Лактазная ( $\beta$ -галактозидазная)                                | Гидролиз лактозы, получение безлактозного молока                                                                                 |
| Живые клетки                             | Включение в каррагинан                                     | Активность всех ферментов, участвующих в биосинтезе яблочной кислоты | Биосинтез яблочной кислоты                                                                                                       |
| Живые клетки                             | Включение в полиакриламидный гель, крупнопористые носители | 3-Кетостероид- $\Delta'$ -дегидрогеназная                            | Трансформация гидрокортизона в преднизолон                                                                                       |



## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ<sup>1</sup>

### ПОЛУЧЕНИЕ ЗАМЕЩЕННЫХ БЕНЗАЛЬДЕГИДОВ

#### Азометиновое формилирование (Формилирование по Хааку)

<sup>1</sup> Все прописи взяты из интернета. Возможно, не все они работоспособны, они не проверялись, а только редактировались при помещении в журнал.

Данная реакция, вообще говоря, очень неприхотлива в плане исполнения. И может быть выполнена в огромном разнообразии вариаций. Однако, исходя из особенностей «домашней химии», существует ряд посылок и логических следствий, выполнение которых будет являться целесообразным:

1. Формильная группа сильно деактивирует гидроксильные группы для их последующего алкилирования. Поэтому целесообразно вводить в реакцию полные эфиры фенолов. А поскольку они не растворимы в водных р-рах, то процедуру формилирования необходимо производить в метаноле или этаноле. Причем лучше в последнем, поскольку он дешевле и не токсичен.
2. Традиционно более широкое использование р-нитрозодиметиланилина (НДМА) связано с его более легким способом получения, но на самом деле выходы соответствующих альдегидов как для НДМА, так и для р-нитрозофенола (НФ) практически одинаковы и редко когда превышают 50-60%.
3. Поскольку параформ не растворим в спирте, нет никакого преимущества в его использовании и целесообразнее использовать 40%-ный р-р формалина, как более дешевый реагент.
4. Порядок прибавления реагентов не играет существенной роли. НДМА не растворяется в воде, но растворяется в спиртах и разбавленных минеральных к-тах. НФ растворяется в спиртах, горячей воде и горячих разбавленных минеральных к-тах с разложением.
5. Скорость и температура реакции регулируются прибавлением либо нитрозо соединения, либо формалина/параформа, но не к-ты. Т.к. при прибавлении определенного критического кол-ва к-ты может начаться неконтролируемая реакция, и смесь может быть выброшена из реакционного сосуда.

Получение  
анисового  
альдегида

В 500 мл трехгорлой колбе с ОХ растворяют в 200 мл этанола ректификата 20 г анизол и 30 г сырого НФ. В одно горло вставляют термометр, в другое трубку с пористо-стеклянным фильтром. Сквозь нее продувают в течение 10-15 мин несильный ток HCl. Затем заменяют ее КВ с 22 мл 37%-ного р-ра формалина. Включают магнитную мешалку и начинают прикапывание формалина с такой скоростью, чтобы температура РМ держалась в интервале 50-55 °С. После прибавления всего формалина кипятят р-р еще час полтора. Затем упаривают этанол в вакууме водоструя (вакуум нужен для того, чтобы уменьшить степень гидролиза метоксигрупп). Добавляют 100 мл 12%-ного NaOH и извлекают альдегид эфиром с последующей очисткой, либо просто перегоняют с паром из полученного щелочного р-ра.

Выход 13,3 г (53% от теор.)

Получение  
гелиотропина  
(пипероналя)

Синтез ведут аналогично, используя 20 г бензодиоксола, 26 г НФ и 18 мл формалина.

Получают 12 г продукта (47% от теор.)

Вератровый альдегид  
(3,4-диметоксибензальдегид)  
2,5-диметоксибензальдегид

Получаются из 20 г о-ДМБ или р-ДМБ, 25 г НФ и 17 мл формалина с выходами 14

г (58% от теор.) и 13,5 г (56% от теор.) соответственно.

Причем, 56% от теор. для 2,5 - диметоксибензальдегида - это максимальный выход, который мне удалось получить. В целом р-ДМБ реагирует хуже о-ДМБ, что возможно связано со стерическими затруднениями.

...хочу добавить, что р-нитрозодиметиланилин использовать совершенно необязательно, вполне прекрасные выходы я получал и с р-нитрозофенолом; и гораздо дешевле. И еще можно брать в реакцию не уротропин, а параформ, с ним выходы много лучше. И еще таким образом можно не только вводить альдегидные группы, но и превращать в них метильные группы соответствующих замещенных толуолов, т.е. по сути, аналогично реакции Этара, но без использования хлористого хромила. Единственный минус, превращение ксилолов в соответствующие метилтолуолы не парциальное. Реакция при этом заключается в обычном смешении соответствующего толуола с нитрозосоединением и дальнейшим разложением азометинового комплекса.

---

### Нитрозирование фенолов и анилинов<sup>2</sup>

#### Синтез N,N-диметил-4-нитрозоанилина

В фарфоровом стакане, снабженном мешалкой, термометром и капельной воронкой, смешивают 10,3 г (8,6 мл) соляной кислоты с 5 г диметиланилина (диметиланилин вносят в кислоту), прибавляют около 40 г измельченного льда и медленно, при постоянном перемешивании и температуре не выше 10 °С, приливают из капельной воронки в течение 1 ч раствор 3,1 г нитрита натрия в 10 мл воды. Смесь окрашивается в оранжевый цвет, и из нее выпадают желтые кристаллы гидрохлорида п-нитрозодиметиланилина. Содержимое перемешивают еще в течение 1 ч, выпавший осадок отфильтровывают, хорошо отжимают стеклянной пробкой, промывают 5 мл этилового спирта и высушивают в эксикаторе. Выход гидрохлорида 7,2 г (90% от теоретического).

Для выделения свободного основания гидрохлорид п-нитрозодиметиланилина обрабатывают в делительной воронке 5%-ным раствором карбоната натрия и 20 мл эфира. Основание переходит в эфирный слой, который отделяют от содового раствора, а затем отгоняют эфир. N,N-диметил-4-нитрозоанилин выделяется в виде зеленых чешуек. Продукт можно получить более чистым, перекристаллизовав его из петролейного эфира. Получаются зеленые кристаллы с Тпл = 85 °С.

#### Синтез 4-нитрозофенола

В фарфоровый стакан, снабженный мешалкой, термометром и капельной воронкой, помещают 45 мл воды, растворяют в ней 4,6 г нитрита натрия и прибавляют 5 г фенола, расплавленного в 15 мл воды. В эту смесь вводят 60 г измельченного льда и из капельной воронки в течение 1 ч по каплям прибавляют холодный раствор серной кислоты, полученный отдельно смешением 2 мл концентрированной кислоты с 7 мл воды. Прибавление ведут при энергичном перемешивании и наружном охлаждении реакционной массы льдом с солью, чтобы температура во время реакции была около 0 °С. При этой температуре содержимое перемешивают еще в течение 2 ч, после чего п-нитрозофенол отфильтровывают, промывают холодной водой

<sup>2</sup> Гитис С.С. и др. Практикум по органической химии. (1991) стр. 119-120

до нейтральной реакции по индикаторной бумаге и высушивают при 50–60 °С. Выход 5,2 г (80% от теоретического).

=====

## Ванилиновый метод

### 5-Бромованилин Процедура классическая

К размешиваемому, охлажденному (0 °С) раствору 152.15 г (1.0 моль) ванилина в 1000 мл метанола было добавлено в течение 20 минут 176.0 г (1.1 моль) брома со скоростью, не допускающей подъема температуры выше 20 °С. Смесь перемешивалась при комнатной температуре 1 час, затем была охлаждена к 0 °С, и обработана в течение 30 минут 500 мл охлажденной (5 °С) воды.

Перемешивание было продолжено в течение 15 минут, и продукт был собран фильтрацией.

Продукт был промыт водой (4х500 мл), затем 500 мл охлажденного (0 °С), 70 % метанола и высушен в вакууме при 50 °С в течение ночи. Было получено 218.5 г (95%) 5-бромованилина в виде бледно-желтых кристаллов, т. пл. 163–164 °С.

### 5-Бромованилин Процедура альтернативная

К ванилину (15.2 г, 0.1 моль) в ледяной уксусной кислоте (75 мл) добавлен бром (17.6 г, 0.11 моль). После 1 часа перемешивания реакционная смесь разбавлена смесью лед/вода (200 мл), осажденные кристаллы фильтруют, промывают водой и высушивают. Выход 5-бромованилина 22.0 г (95 %), т. пл. 160–162 °С.

Чистота 97 %

### 5-Гидроксиванилин

Гидроокись натрия, 61.2 г (1.53 моль), была растворена в 750 мл воды в 2000 мл круглодонной колбе. К все еще теплomu раствору был добавлен 50.0 г (0.217 моль) 5-бромованилина и 0.5 г медной пыли. Появляется белое осадок.

Реакционная смесь была приведена к интенсивному кипению с обратным холодильником в атмосфере азота при перемешивании магнитной мешалкой.

Цвет изменялся постепенно от желтого до зеленого и затем до темно-зеленого и после приблизительно 6 часов весь осадок растворился. После 27 часов кипячения с обратным холодильником реакция была закончена, и раствор был подкислен 113 мл конц. HCl до pH ~2 и экстрагирован эфиром (или другим соответствующим органическим растворителем), а затем осажден как бисульфитный аддукт, посредством встряхивания органической фазы с избытком насыщенного водного раствора бисульфита натрия. Аддукт был промыт небольшим количеством холодной воды и растворен в избытке 10% раствора углекислого натрия чтобы снова отделить альдегид. Раствор был экстрагирован дихлорметаном и растворитель упарен, оставив титульный продукт.

### Сиреневый альдегид

В двухгорлой круглодонной колбе, оборудованной насадкой Кляйзена, и термометром, растворено 4.9 г Na в 100 мл сухого метанола. После отгонки 30 мл метанола (эквивалент всех предыдущих действий – растворите 11,5 г метилата

натрия в 61,5 мл метанола), раствор 17,9 г бромованиллина и 3 г CuBr в 50 мл ДМФ добавлен одной порцией (внимание! при раздельном добавлении реагентов, всегда добавляйте). Отгонка продолжена, пока реакционная смесь не достигает 100 °С (занимает около 1-1.5 ч, отогнанный метанол – 80 мл). Реакционную смесь льют в 200 мл 3М HCl/лед, экстрагируют 2x75 мл EtOAc, EtOAc – промывают 2x50 мл водой, сушат MgSO<sub>4</sub> и выпаривают. Т. пл. 108 °С (перекрист. из этанола) TLC Rf 0,35 EtOAc:Р 1:1.

И сиреневый альдегид, и гидроксиваниллин могут быть алкилированы любым (примечание: неясно, будут ли метил нитрат и метилсульфат натрия работать на гидроксиваниллине, в силу чувствительности последнего к окислению и, возможно, склонностью к полимеризации) алкилирующим агентом в 3,4,5-триМеО-БА или его аналоги, см. раздел Метилирование

#### Способ через йодирование

Ванилин (2.84 г, 20 ммоль) был растворен в 1N NaOH (20 мл) в 80 С, затем смесь 2N (NaI<sub>3</sub>\*NaI)/H<sub>2</sub>O (10.1 мл = 20.2 ммоль = 5,13 г I<sub>2</sub> + 6,06 г NaI) и 20% водной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 мл = 8 % моля) была добавлена по каплям за 30 минут. Формируется бежевый осадок. Реакционная смесь размешивалась дополнительные 3.5 часа. Раствор 10 % Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.5 мл) был добавлен, чтобы восстановить избыточный иод, затем были добавлены водный 50% NaOH (7.6 мл) и медная пыль (64-128 мг, 1-2 ммоль, 5-10 молярных %). Смесь кипятится на ночь (12-18 ч), охлаждается к комнатной температуре, фильтруется, чтобы удалить катализатор, pH был отрегулирован до 2 добавлением 20 % водной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, и раствор был экстрагирован 5 раз смесью метанол 20%/хлороформ 80%. Выход 3.1 г. (99) % продукта был получен, который по данным ЯМР состоял из приблизительно 75-85% 5-гидроксиваниллина и 15-25 % ванилина.

Примечание: Не пренебрегайте инертной атмосферой в этой реакции!

Дальнейшей информации нет, не только в патенте, но и вообще в природе, однако же, есть уверенность, что это должно сработать. Эта уверенность базируется на способе разделения п-гидроксиБА и ванилина авторства проф. Тарабанько et al. – чем гидрофильней альдегид, тем легче он растворяется в конц. р-ре K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Гидроксиванилин гораздо гидрофильней ванилина и по свойствам должен в этом отношении напоминать п-гидроксиБА.

| Темп, С | Конц. K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>г/л | Растворимость<br>ванилина г/л | Растворимость п-гидро-<br>ксибензальдегида, г/л | Разница |
|---------|---------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|---------|
| 6       | 320                                         | <5                            | 114                                             | >23     |
| 12      | 400                                         | <5                            | 114                                             | >23     |
| 20      | 320                                         | 10                            | 171                                             | 17      |
| 22      | 500                                         | 2                             | 114                                             | 57      |
| 28      | 400                                         | <10                           | 171                                             | >17     |
| 36      | 500                                         | 3                             | 171                                             | 57      |

Короче говоря, при комнатной температуре на 10 г продукта – 65 мл 50% р-ра поташа, что не растворится – взвесить, если слишком много осталось, промыть

ещё поташом, потом высаживаем бисульфитом.

Вот как получить обратно йод:

Водный слой от экстракции 5-гидроксиваниллина (теоретически содержащий 80.8 ммоль NaI) был сконцентрирован в вакууме (явно вакуум не обязательно), чтобы удалить растворенную летучую органику, затем хлорная вода [42 ммоль  $\text{Cl}_2$  = 500 мл 0.086М (0.61) р-ра хлора %] была медленно добавлена. Осадок иода был отфильтрован и промыт водой. Выход 87%. (Вероятно перекись водорода сделает то же самое.)

С медью всё понятно - её мы без проблем получим кипячением серебрянки с медным купоросом (и немного поваренной соли - флюс для растворения оксидной плёнки).

Кристаллический йод легко получается действием смеси соляной к-ты с  $\text{H}_2\text{O}_2$  на иодид калия (его можно купить в аптеке).

=====

### Восстановление бензойных кислот в бензальдегиды

Через бензоил хлорид<sup>3</sup>

К 300 г галловой кислоты в 300 мл  $\text{H}_2\text{O}$  были добавлены 900 мл теплого 50% NaOH при пропускании промытого щелоч. пирогаллолом воздуха (азот) через раствор и затем 900 г  $\text{Me}_2\text{SO}_4$  в течение 1 ч при 40-50 С. Смесь охлаждают и затем добавляют 75 г NaOH, смесь кипятят 3 часа, и охлаждают снова. Добавляют 900 мл конц. HCl с 1 кг дроблёного льда, осадок отделяют, промывают  $\text{H}_2\text{O}$ , растворяют в 2000 мл 40% EtOH и держат 12 часов при 0 С. 3,4,5-триметоксибензойная кислота выпадает в осадок.

200 г 3,4,5-триметоксибензойной кислоты кипятится с 114 г  $\text{SOCl}_2$  2 часа, избыток  $\text{SOCl}_2$  отгоняют при уменьшенном давлении. Охлаждают, затвердевший продукт взвешивают в петролейном эфире, кипятят 10 мин с 1% активированного угля, фильтруют и охлаждают до 0 С. 3,4,5-триметоксибензоил хлорид осаждается.

К 150 г 3,4,5-триметоксибензоилхлорида в 2100 мл эфира было добавлено (медленно, с перемешиванием) 120 г анилина в 510 мл  $\text{Et}_2\text{O}$  и смесь оставили стоять 1 ч, отфильтровали, перемешали с 2% NaCl, отфильтровали и промыли р-ром NaCl. Получается аниlid, 100 г которого нагревают с 75 г  $\text{PCl}_5$  до 70 С, чтобы начал отходить HCl и далее нагревают, чтобы удалить избыток  $\text{PCl}_5$  - получается имидохлорид. К 90 г имидохлорида в 2000 мл  $\text{Et}_2\text{O}$  был добавлен эфирный раствор  $\text{SnCl}_2$ , смесь выдержали при 0 С 12 часов, осаждённая Sn-соль отделяется, промывается  $\text{Et}_2\text{O}$ , и кипятится с  $\text{AcOH-HCl-H}_2\text{O}$  (200:175:325 мл) 1 часа, охлаждается, растворяется  $\text{H}_2\text{O}$  и экстрагируется 3 раза  $\text{Et}_2\text{O}$  - онный сушится и упаривается, выдавая 3,4,5-триметоксибензальдегид.

Через гидразид

Кипятить метиловый эфир триMeO-бензойной к-ты с гидразин гидратом - 8 часов.

Полученный гидразид (1 г) растворяют в 70 мл воды, содержащей 6х молярный избыток аммиака и в ледяной бане, держа темп. на предельно низком уровне, до-

<sup>3</sup> Arch. ital. sci. farmacol. [3] 2, 376-83 (1952); Chem Abs 3314h (1956).

бавляют 3х молярный избыток красной кровяной соли. Отфильтровывают 10% ацил-гидразона и вытягивают эфиром альдегид, 56-59%.

### 3-гидрокси-4метилбензальдегид<sup>4</sup>

К пасте из 500 г ацетата свинца и 300 мл ледяной уксусной кислоты порциями прибавляют 170 г 2,5-диметилфенола в 400 мл ледяной уксусной кислоты при 25 С, размешивают до образования раствора, снова прибавляют 500 г ацетата свинца, упаривают в вакууме 11 мм, к остатку прибавляют эфир, фильтруют в вакууме, остаток перегоняют, к фракции (100/0,01 мм) прибавляют равное количество эфира, охлаждают при -70 С и получают после очистки 2,5-диметил-орто-хинолацетат, выход 10%.

0,5 г 2,5-диметил-орто-хинолацетата, 0,3 г соды и 3 мл ДМСО перемешивают 4 часа при 70-80 С (осторожно выделение диметилсульфата), выливают в воду, экстрагируют эфиром, перегоняют в вакууме 0,01 мм при температуре бани 80-110 С (из остатка при 0,005 мм отгоняют 3-гидрокси-4-метилбензиловый спирт выход 13%, т.пл. 95-96 С), продукт перегонки нагревают 15 мин с 0,9 г бисульфита натрия в 2 мл воды отфильтровывают промывают эфиром и разлагают бисульфитное соединение содой при рН=9,6-10 получают 4-метил-3-гидроксибензальдегид, выход 35%, т.пл. 70-73,5 С.

### Окисление бензиловых спиртов в бензальдегиды

#### Нитратом железа (III)<sup>5</sup>

Получение пипероналя из пиперонилового спирта с высоким выходом и селективностью, используя водный раствор нитрата железа как агент окисления.

Один моль пиперонилового спирта реагируется с 0.5-3 молями, предпочтительно 1-1.5 моля, нитрата железа в воде или смеси воды с 20-70 об.% органического водосмешиваемого растворителя, типа диоксана, этилацетата, или ацетона при 20-120 С, предпочтительно 80-100 С, в течении 20-180 мин.

#### Диметилсульфоксидом.

Общая процедура: смесь 557 мг бензилового спирта, 0.15 мл HBR (48 %) и 5 мл DMSO перемешивали на масляной бане при 100 С. Реакция закончилась через 3 часа. К реакционной массе добавили 5 мл морской воды (раствор натрия хлористого), и потом экстрагировали 30 мл диэтилового эфира. Эфирный слой был промыт соленой водой (4х5 мл). Выпарив эфир и остаток перегоняем, получив 530 мг бензальдегида с выходом 95 %.

По этой методике, скорее всего, можно получать циклогексанон из циклогексанола.

<sup>4</sup> "Montash. Chem." 1963(1964), 95, №1, 116-146. РЖ.Хим. 65:7Ж128 и 7Ж138.

<sup>5</sup> Японский патент №55000314.

| №  | Исходный                         | Время | Продукт                         | Выход |
|----|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| 1  | benzylalcohol                    | 4     | benzaldehyde                    | 95    |
| 2  | 4-methylbenzylalcohol            | 3.5   | 4-methylbenzaldehyde            | 92    |
| 3  | 1,4-benzenedimethanol            | 28    | 1,4-benzenedialdehyde           | 80    |
| 4  | 2-butyloxybenzylalc.             | 3     | 2-butyloxybenzaldehyde          | 95    |
| 5  | 2-(1-methylpropoxy)benzylalcohol | 14.5  | 2-(1-methylpropoxy)benzaldehyde | 79    |
| 6  | 4-hydroxy-3-methoxybenzylalcohol | 2     | 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde | 78    |
| 7  | 4-hydroxybenzylalcohol           | 3     | 4-hydroxybenzaldehyde           | 96    |
| 8  | 3-hydroxybenzylalcohol           | 6     | 3-hydroxybenzaldehyde           | 96    |
| 9  | 2-hydroxybenzylalcohol           | 11.8  | 2-hydroxybenzaldehyde           | 84    |
| 10 | 2-chlorobenzylalcohol            | 22    | 2-chlorobenzaldehyde            | 86    |
| 11 | 2,5-dibromobenzylalcohol         | 12    | 2,5-dibromobenzaldehyde         | 93    |
| 12 | 3-nitrobenzylalcohol             | 26    | 3-nitrobenzaldehyde             | 71    |
| 13 | diphenylmethanol                 | 8     | diphenylmethanone               | 93    |

#### Окисление двойной связи в альдегид окисью меди

Сиреневый альдегид из соли 3,5-диметокси-4-гидрокси-пропенилбензола.

Сиреневый альдегид может также быть приготовлен окислением 3,5-диметокси-4-гидрокси-пропенилбензола другими низкопотенциальными окислителями.

Например: 195 частей 3,5-диметокси-4-гидрокси-пропенилбензола добавлено к смеси оксида меди (II), свежеприготовленного из 1000 частей 5-водного  $\text{CuSO}_4$ , 660 частей гидроксида натрия, и 8000 частей воды и кипячению получившейся смеси под рефлюксом в течение восьми часов. Выпавший красный оксид меди (I) отфильтровывается и промывается водой. Щелочной фильтрат и промывки подкислены и экстрагированы эфиром. Экстракция бисульфитом эфирного экстракта даёт выход приблизительно 155 частей сиреневого альдегида или 90%.

Другие щелочные медные типа жидкости Фелинга, жидкости Бенедикта, могут использоваться с теми же самыми результатами. Щелочной медный окислитель особенно выгоден для замены пропенильной группы альдегидной группой, потому что окислительный потенциал меди(II)/меди(I) адекватен, чтобы окислить двойную связь до альдегида, и в то же самое время недостаточен, чтобы продолжить окисление до кислоты или вызвать разложение материала.

#### Окисление толуолов в альдегиды

#### Двуокисью марганца

Получение альдегидов ароматического ряда окислением толуола и его производных является важным технологическим процессом в синтезе лекарственных ве-

ществ.

Для окисления метильной группы до альдегидной применяют двуокись марганца (Прим. 1). Процесс ведут в серной кислоте. В тех случаях, когда двуокись марганца берут в избытке, используют водную серную кислоту. Если двуокись марганца взята в стехиометрическом соотношении, применяют избыток концентрированной серной кислоты.

Если процесс вести при температуре не выше 40 С, то в результате реакции образуется альдегид. Если же температуру реакции поднять до 60-70 С, то основным продуктом будет бензойная кислота.

Примечание:

1. В этой реакции должна использоваться свежесажённая мелкодисперсная двуокись марганца. Её можно получить, например, смешиванием р-ров перманганата калия и ГМТА (или любого другого восстановителя в нейтральной среде).

Окисление

бромом

Получение

п-бромобензальдегида<sup>6</sup>

В трехгорлой колбе на 1000 мл с мешалкой, ОХ, термометром и капельной воронкой поместили 100 г (0.58 моль) пара-бромотолуола (прим. 7). Шарик термометра и конец капилляра капельной воронки должны находиться возле самого дна колбы. Свободный конец ОХ соединен с промывалкой для поглощения газа. Колбу нагревают в масляной бане до 105 С, освещают лампой на 150 ватт и 197 г (61.8 мл, 1.23 моль) брома медленно прибавляют из капельной воронки (прим. 1). Половина брома прибавляется в течении часа при Т = 105...110 С, другая половина – в течении двух часов, Т возрастает до 135 С. После того как был прибавлен весь бром температура постепенно выросла до 150 С.

Смесь (прим. 2) вылили в колбу на 2000 мл и тщательно перемешали с 200 г мелкого карбоната кальция. Прибавили около 300 мл воды и осторожно подогрели (прим. 3), кипятили 15 часов с ОХ. После чего перегнали продукт в быстром потоке водяного пара (прим. 4). Дистиллят собирали порциями по 500 мл и охлаждали. Пара-бромобензальдегид выпадал, его фильтровали и сушили в десикаторе. С первого литра дистиллята вышло 50-60 г, с т.пл. = 55..57 С. Еще из 2 литров получили 15..20 г, с т.пл. = 50..56 С (прим. 5). Его можно очистить бисульфитным методом (прим. 6), и получить 13..18 г с т.пл. = 55..57 С. Общий выход составляет 65..75 г, 60..69% от теории.

Примечания:

- (1) Скорость прибавления брома должна регулироваться, чтобы избежать накопления брома в смеси. Избыток брома легко различим, он окрашивает в красный цвет смесь и пары в ОХ.
- (2) Пара-бромобензаль бромид – сильный лакриматор, производит ожоги при попадании на кожу. Немедленно промыть спиртом!
- (3) Чтобы колба не лопнула, ее сначала разогревают в водяной бане, потом, слегка побалтывая, на газовой горелке – пока не закипит. После этого можно спокойно ставить ОХ и кипятить.
- (4) Капилляр для пара доходит до самого низа колбы, на конце – шарик диа-

<sup>6</sup> Org Syn Coll, Vol I, 1941, 136

метром 16 мм с четырьмя отверстиями по 0.8 мм. Это помогает перемешивать тяжелый осадок, в противном случае альдегид перегоняется очень медленно. Неплохо также соединить колбу и холодильник большой перегонной насадкой Гопкинса, чтобы предотвратить попадание пены в холодильник (полиметоксилированные альдегиды не перегоняются с паром, поэтому их нужно выделять другим методом - например, через бисульфитный аддукт).

- (5) Около 5...10 г грязной пара-бромобензойной кислоты может быть получено, если подкислить остаток после перегонки.
- (6) Растирают альдегид с насыщенным раствором бисульфита натрия (1 грамм на 2 мл), после 3 часов стояния смесь фильтруют под вакуумом. Осадок промывают абсолютным спиртом, эфиром, и переносят в колбу для перегонки с паром. Прибавляют избыток карбоната натрия и перегоняют альдегид с паром.
- (7) Примечание - эта процедура работает на любом толуоле, не вступающем в реакцию с бромом - напрмр, 3,4,5-триМеО-БА, 2,5-диМеО-4-бromo-БА, или 4-МеО-3-бromo-БА.

---

#### Окисление монопероксосульфатом

##### Бензальдегид

##### Железно-медный катализатор:

- толуол (7.6 г),
  - вода (35 мл),
  - железа (II) сульфат гептагидрат (0.110 г),
  - меди(II) ацетат (0.072 г),
  - метанол (8 мл)
- помещены в 250 мл реактор.

Раствор персульфата натрия в водном метаноле добавлен медленно к смеси, которая поддерживается при 70 С, в атмосфере азота и при агитации. Органическая фаза отделена после двух часов, и водная фаза экстрагирована эфиром. Объединенные органические фазы дистиллированы, чтобы предоставить 8.29 г (95 %) очень чистого бензальдегида.

##### Вератральдегид

##### Железно-медный катализатор:

- 3,4 диМеО-толуол (10 г),
  - железа (II) сульфат гептагидрат (0.0728 г),
  - деминерализованная вода (50 мл),
  - ацетат меди (0.1426 г),
  - метанол (8 мл)
- помещены в 250 см<sup>3</sup> колбу.

Температура реакции поднята к 60 С при подаче азота в реактор. Раствор с водным метанолом персульфата натрия (37.52 г персульфата в 118.8 мл воды и 8 см<sup>3</sup> метанола) прикапывают вовнутрь. Реакция закончена в пределах трех часов.

Произведенный вератральдегид отделен от водной фазы и, после дистилляции получено 0.99 г 3,4 диМеО-толуола и 5.83 г вератральдегида (выход 60 %) .

-----

Окисление  
хлористым  
хромилем  
(реакция Этара)

Один из наиболее часто применяемых способов превращения метилзамещенных бензолов в соответствующие бензальдегиды состоит в обработке их хлористым хромилем в инертном растворителе (в четыреххлористом углероде или сероуглероде). Реакцию обычно проводят при комнатной температуре. Вначале окисляемое ароматическое соединение образует с двумя молекулами хлористого хромилла комплекс, который выпадает в осадок. При обработке комплекса водой образуется альдегид. Механизм этого превращения, называемого реакцией Этара, окончательно не выяснен.

Этот метод привлек особое внимание в связи с тем, что он дает возможность окислять только одну металлическую группу в тех случаях, когда присутствуют другие; м-, о- и п-ксилолы, например, могут быть окислены хлористым хромилем в соответствующие толуиловые альдегиды с выходами около 80%.

Аналогично из мезитилена получают 3,5-диметилбензойный альдегид с выходом 70%.

С помощью реакции Этара соответствующие альдегиды могут быть получены также и из различных замещенных толуолов.

Получение дихлорида  
диоксохрома  
(хлористого хромилла)

Синтез ведут в приборе на шлифах, так как хлористый хромил разъедает резиновые и корковые пробки и просачивается сквозь них.

В колбу Вюрца, снабженную длинным нисходящим, прямым холодильником помещают по 50 г тщательно растертых и перемешанных дихромата калия и хлорида натрия. Смесь обливают 75 мл конц. серной кислоты. Реакция начинается немедленно. Колбу тут же закрывают пробкой. Ртм медленно нагревают. Хлористый хромил перегоняется в приемную колбу, соединенную с атмосферой через 2 промывных склянки с конц. р-ром щелочи, в противном случае сильный кашель гарантирован.

Нагревание прекращают когда в приемник перестанут поступать темно-красные, маслянистые капли. Выход ~ 60 г.

Хлористый хромил представляет из себя тяжелую, летучую, дымящую жидкость темно - зеленого цвета, в проходящем свете темно - красную. Он в высшей степени огнеопасен. Воспламеняет спирты, вплоть до гексанола, кетоны, алифатические альдегиды, простые эфиры. При попадании на кожу ощущается потепление, затем внешний слой кожи трескается и отшелушивается. Язв не образуется, так что с ним можно работать и без перчаток.

Окисление толуолов  
хлористым хромилем  
на примере получения  
бензальдегида

В колбу на 250 мл наливают 25 мл толуола в 25 мл  $CCl_4$  и постепенно, из ка-

пельной воронки добавляют 60 г хлористого хрома в 50 мл  $\text{CCl}_4$ . Немедленно выпадает мелкий осадок шоколадного цвета. Его отсасывают на фильтре Шотта №4. Сушат на воздухе при комнатной температуре, ни в коем случае не нагревая, так как он может взорваться. Затем высыпают в стакан и приливают воды. Мгновенно происходит реакция. Образующийся альдегид экстрагируют органическим растворителем (можно диизопропиловым эфиром, можно дихлорметаном). Упаривают, альдегид для очистки можно перегнать с водяным паром, а можно и не перегонять. Выход ~ 17 г.

=====

### Пиперональ из бензодиоксида и глиоксиловой кислоты

#### Конденсация<sup>7</sup>

200 г 90% серной кислоты добавлены по каплям к смеси 148 г (1 моль) 50% водной глиоксиловой кислоты и 122 г (1 моль) бензодиоксида при 5 С в ходе 40 мин с перемешиванием. После перемешивания смеси в течение ещё 6 часов, 500 г ледяной воды добавлено, и смесь перемешана ещё 10 мин. Кристаллы растворены в 650 мл воды и 100 мл толуола при 85 С и фазы разделены. После промывания фазы толуола несколько раз раствором 20% гидроксида натрия и отгонкой растворителя, 7.1 г 1,2-бензодиоксида получают обратно. После охлаждения водной фазы к комнатной температуре, большая часть 3,4-метилendioксиманделовой кислоты кристаллизуется, а после концентрации материнского раствора, выкристаллизовывается ещё около 30 г 3,4-метилendioксиманделовой кислоты.

Всего 167.3 г 3,4-метилendioксиманделовой кислоты, (выход 85.3% от теории относительно прореагировавшего бензодиоксида), получено из водной фазы.

#### Декарбоксилирование<sup>8</sup>

Следующее смешано при агитации в окружающей температуре:

- 294.23 г (1.5 моль) 3,4-метилendioксиманделовой кислоты;
- 562 г воды;
- 258.75 г 37 % соляной кислоты, 2.625 моль;
- 2.1 г 69 % азотной кислоты, 23 ммоль.

Полученная суспензия нагрета при агитации в 43 +/- 2 С, затем 103.5 мг (1.5 ммоль) нитрита натрия, растворенного в 4 г воды быстро добавлены при этой температуре, далее 107.5 г 69% азотной кислоты (1.177 моль), медленно добавлено, приблизительно в течение трёх часов, так, чтобы температура среды реакции была между 40 и 50 С без внешнего нагревания или охлаждения. В конце добавления, реакция оставлена на один час с перемешиванием при 43 +/- 2 С, тогда всё остывает к комнатной температуре и, наконец, экстракция имеет место три раза 600 г трихлорэтаном. Объединенные органические фазы тогда промыты 1 раз водой, три раза насыщенным водным раствором  $\text{NaHCO}_3$  и, наконец, однажды водой blfkt - сконцентрировались под уменьшенным давлением.

220 г (1.46 моль) сырого пипероналя изолировано, который очищен перегонкой под уменьшенным давлением.

178 г (1.186 моль) чистого пипероналя изолировано, с точкой плавления 37 +/- 1 С. Выход - 79 % от теоретического.

<sup>7</sup> US Patent №4,190,583

<sup>8</sup> US Patent #5095128

Итак, за всё про всё - 67% выход - не очень много, но очень просто и экологично.

А вот абстракт из японского патента №7330755:

PURPOSE: To produce piperonal from 1,2-methylenedioxybenzene in a high yield without requiring separation and purification of 3,4-methylenedioxy-mandelic acid as an intermediate.

CONSTITUTION: The characteristic of this method for production of piperonal is that it is carried out by reacting 1,2-methylenedioxybenzene with glyoxylic acid in the presence of sulfuric acid at 0 to 5 deg.C to synthesize 3,4-methylenedioxy-mandelic acid, subsequently heating the reaction solution at 5 to 30 deg.C for 0.5 to 5hr, then adding water and an organic solvent thereto and oxidizing 3,4-methylenedioxy-mandelic acid with nitric acid.

### Пиперональ из чёрного перца<sup>9</sup>

Теоретически из 100 г перца при содержании пиперина в нём 6% (колеблется от 3% до 9%) можно получить 3,15 г пипероналя. Конечно, стопроцентных выходов в химии не бывает, поэтому реально вряд ли стоит рассчитывать на больше половины этой цифры. Впрочем, вам может повезти с перцем.

Вот что этот метод из себя представляет.

#### Экстракция пиперина

##### Метод 1

Пиперин может быть изолирован из смолы *P. nigrum* или *P. longum* (оная смола получается экстракцией перца спиртом, метанолом или ацетоном). Мелкоизмельчённые плоды растения экстрагированы дихлорометаном в комнатной температуре с перемешиванием в течение 12 часов. Экстракт фильтрован, сконцентрирован в вакууме, и затем остаток очищен на колонке глиозема. Чистый пиперин может также быть получен кристаллизацией из этанола, который может требоваться для продовольствия и/или медицинских использований. Пиперин получен непосредственно из сырого остатка в меньших количествах экстракцией алкоголем, фильтрованием и кристаллизацией.

##### Метод 2

Коммерчески доступная смола чёрного перца или смола длинного перца используется как источник пиперина. Может также использоваться измельчённый чёрный перец или длинный перец.

К смеси бутанола и гексана (35 литров) добавлена смола чёрного перца - 35 кг, смесь нагрета до 40 С. Затем смесь тогда охлаждена и фильтрована.

Осадок промыт смесью бутанола/гексана, чтобы получить сырой пиперин.

Сырой пиперин растворен в метаноле при 60 С и обработан глиоземом и акти-

<sup>9</sup> То, что этот метод практически достоверен, не вызывает сомнений. Вызывают сомнения только лишь выходы - дело в том, что все эксперименты в этой области делались людьми, не имеющими хорошего представления о химии.

вированным углем с перемешиванием. Всё тогда фильтровано и сконцентрировано под вакуумом, чтобы получить порошок.

Чистота такого пиперина = 98%.

### Метод<sup>10</sup> 3

100 г мелкоизмельченного черного перца (*Piper nigrum*) заливают 200 мл спирта и экстрагируют в течение 2 суток. После этого спирт упаривают досуха, и полученный осадок быстро промывают раствором гидроксида натрия для удаления смол. Остаток промывают водой и растворяют в небольшом количестве горячего спирта. После охлаждения выкристаллизовывается алкалоид с температурой плавления 128-129,5 °С, плохо растворимый в воде, лучше - в спирте, эфире, хлороформе. В щелочной среде разлагается на пиперидин и пипериновую кислоту. Выход 5-9 г.

### Гидролиз в пипериновую кислоту

These intructions are in the small scale, obviously they can be increased) Heat mixture of 0.1g piperine and 10ml of 2M ethanolic potassium hydroxide under reflux for 1.5h. Evaporate the ethanolic solution to dryness under vacuum. Suspend the solid potassium piperate that remains in the flask in about 5ml of hot water and carefully acidify the suspension with 6M HCL. Collect the precipitate, wash with cold water, recrystallise from COLD ethanol. The mp of the product should be around 206C (a little less than the literature values due to the slight Chavacine impurification. Chavacine is the Z,Z isomer of piperic acid (E,E).

Вместо этанола возможно также использовать 90% метанол.

Обратите внимание, очень важно использовать именно этиловый/метиловый спирт и именно гидроокись калия - в противном случае гидролиз пиперина не идёт!

### Деструктивное окисление пипериновой кислоты в пиперональ

#### Хромовой кислотой

В охлажденную смесь 20 г дихромата калия и 30 г 20% серной кислоты засыпали 2 г чистой калиевой соли пипериновой кислоты. Реакция начинается уже на холоду с выделением углекислого газа, и при небольшом нагревании, реакционная масса приобретает приятный запах (возможно пипероналя). Смесь выдерживают некоторое время при слабом кипении с обратным холодильником, при этом никаких изменений не наблюдается, после чего реакционную массу смешивают с большим объемом воды и перегоняют с обратным холодильником. Дистиллят имеет нейтральную реакцию и является чистой водой. Остаток встряхивают с эфиром, эфир отделяют и отгоняют. Он не должен давать остатка. Это единственный доказанный продукт окисления пипериновой кислоты среди всех, пропорциональный углекислоте.

Возможно, в хромовом растворе содержится еще какой-нибудь продукт легко

<sup>10</sup> Генри Т.А. "Химия растительных алкалоидов" М. 1956.

растворимый в воде, но нерастворимый в эфире. Для проверки этого, было проведено количественное окисление пипериновой кислоты. Для этого использовали трехгорлую колбу, закрытую тремя просверленными корковыми пробками. Через 2 этих отверстия проходят прямые стеклянные трубки почти до дна сосуда. Они вытянуты к концу в кольцеобразный капилляр, и через них происходит удаление пузырьков углекислого газа. На верхнем выступающем конце одной стеклянной трубки укреплен каучуковый рукав с плотной пришлифованной нажимной крышкой и маленькой воронкой (для вливания серной кислоты), верхний конец другой стеклянной трубки заканчивается двумя U-образными, содержащими гидроксид калия, трубками для освобождения прибора от выделяющегося газообразного углекислого газа. Через третье отверстие в корковой пробке проходит простая сжатая искривленная трубка, по которой углекислота проходит сначала через сосуд с концентрированной серной кислотой, затем через хлоркальциевую трубку и после этого в уловитель с КОН. Аппарат с КОН через хлоркальциевую трубку соединен с аспиратором, который просасывает через всю систему медленный поток воздуха, для полноты поглощения углекислоты. В небольшой колбе растворили дихромат калия в необходимом количестве воды; отвешивают количество чистой пипериновой кислоты в маленьком платиновом тигле, реагенты помещают в колбу, колбу закрывают, аспиратор включают и затем через воронку постепенно частями вносят порции серной кислоты. Реакция постепенно замедляется почти полностью, и требуется нагревание колбы. Постепенно проводят медленное внешнее нагревание до начала кипения, затем огонь убирают, жидкость непрерывно медленным воздушным потоком охлаждается и наконец реакционная смесь снова успокаивается.

0,4113 г сухой чистой пипериновой кислоты дает этим способом связанного  $0,9614 \text{ CO}_2 = 0,2622 \text{ C} = 63,75 \% \text{ C}$ .

Пипериновая кислота  $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}_4$  66,05 % C.

Таким образом, весь углерод пипериновой кислоты с точностью до 2,3 % выделяется в виде углекислоты. Вследствие этого доказывалось с большой надежностью, что пипериновая кислота при обработке ее хроматом калия и серной кислотой образует исключительно продукты окисления – углекислый газ и воду. Этот результат достаточно показательный, потому как он позволяет разложить сложное органическое соединение разбавленным раствором хромовой кислоты при таких низких температурах, полностью в углекислоту и воду.

#### Марганцевой кислотой в нейтральном растворе

Калиевая соль пипериновой кислоты реагирует с раствором мелкокристаллического перманганата калия, так как происходит немедленное обесцвечивание каждой капли последнего реагента с выделением коричневого оксигидрата. Одновременно примечательно, что жидкость приобретает очень приятный, схожий с кумариновым, запах, и когда через некоторое время подвергается перегонке, это пахучее вещество перегоняется с водяными парами и может быть извлечено из водного раствора эфиром. При отгонке эфира остается оно как быстро застывающее бесцветное масло.

Это вещество образуется в большом количестве и для изучения и определения количественных пропорций опыт был проведен количественно. С этой целью растворили 20 г калиевой соли пипериновой кислоты, постепенно прибавляли раствор 10 г перманганата калия в 100 мл воды и жидкость перегнали. Вода переходит сначала мутная как молоко, потом светлеет и после 24-часового стояния дает много пышных хорошо сформированных кристаллов. К остатку дистилляции добавляют новый раствор 5 г перманганата калия, снова перегоняют и повторяют те же самые операции, в течение того же промежутка времени с 5 г марганцевой соли, пока не останутся только следы вещества. Для этого необходимо 40 г перманга-

ната калия. Под конец получают отфильтрованный от гидроокиси марганца остаток дистилляции, как светлую желтую жидкость щелочной реакции. Она содержит остатки пипериновой кислоты, дающую с соляной кислотой и насыщении углекислотой белый порошкообразный осадок, плавящийся при 288 градусах, и содержащий кроме нее, только значительное количество щавелевой кислоты.

=====

### 3,4,5-ТМБА из фенола (карболки)

Фактически, реакции четыре, но две последние делаются в одну процедуру. Вот как это происходит. Формальдегид реагирует с фенолами с образованием метилов - это то же самое, что бензиловый спирт,  $-CH_2-OH$  группа. Происходит эта реакция весьма активно и, если есть такая возможность, замещаются все орто- и пара- положения фенола - а именно, в случае с простым фенолом реакция идёт до получения 2,4,6-тригидроксиметил-фенола. (Кстати, из гваякола получится дигидроксиметил-гваякол, который в последующих реакциях даст 5-гидроксиванилин) Очень похожая реакция - хлорометилирование.

Эти метиловские группировки могут быть окислены до альдегидных - в этом патенте используется кислород и платиновый катализатор, но другая литература по этой части советует попробовать окисление бихроматом калия в водном растворе серной к-ты<sup>11</sup>. Выход пока неизвестен. Также это окисление может быть осуществлено свежесажённой двуокисью марганца в хлороформе (какой-то голландский патент). Выход также не указан.

В результате получается триформилфенол - соединение с тремя альдегидными группировками на кольце. Он нерастворим в воде, поэтому может быть просто отфильтрован и использован без очистки в следующем шаге.

Эти альдегидные группы затем отщепляются от кольца с заменой на гидроксил при помощи перекиси водорода в слабощелочной среде. Выгода состоит в том, что та формилгруппа, которая расположена мета- к крайним гидроксилам, не отщепляется, а так и остаётся!

Эта реакция известна как реакция Дакина и сама является частным случаем реакции Байера-Виллигера. (Кстати, этим методом можно заменить на гидроксил не только альдегидную группу, но и эфиры бензойных кислот).

Заметьте, что условия реакции (особенно, pH) должны быть строго соблюдены, чтобы избежать окисления 3,4,5-тригидроксиБА во всяческие хиноны.

Получившийся ликвор затем, без изоляции (несомненно, практически невозможной в домашних условиях) этого тригидроксиБА, щелочат и метилируют ДМС, получая 44% выход 3,4,5-ТМБА в расчёте на триформилфенол.

### Приготовление 2,4,6-триметиллолфенола

100 г 30 % формальдегида (1.0 моль) и 23.5 г фенола были смешаны в 250 мл конической колбе, оборудованной магнитной мешалкой. Объем был отрегулирован к 125 мл (приблизительно 10 мл воды), и 10.2 г гранул гидроксида натрия (0.25 моль) были тогда добавлены, при перемешивании. Смесь была охлаждаема ледяной ванной, чтобы не превысить 30-40 С. Когда температура понизилась к 25 С, колба была продута аргоном, перемешивание было закончено, и гомогенный раствор был оставлен стоять в течение 24 часов в окружающей температуре (22-23 С).

После этого периода, не больше, чем 315 миллимолей свободного формальдегида

<sup>11</sup> Справочник по органической химии Бейльштейна, том 8, стр. 31.

были определены в смеси. Реакционная смесь была тогда вылита в 800 мл холодного изопропанола, при перемешивании. Гетерогенная смесь размешивалась в течение дополнительных 10 минут, и обильный розовато-белый осадок был тогда отфильтрован. Осадок ополаскивался изопропанолом и затем эфиром, высушен в печи при 40 С под давлением 1 мм, и это дало 40 г порошка, в котором следующее было определено ЯМР:

- 11.5 моль% диметилфенолята натрия;
- 83 моль% натрия, с 2,4,6-триметилфенолятами;
- моль% disodium соли tetramethylolbis-hydroxydiphenylmethane.

#### Окисление метилолов

23.4 г свежеприготовленного, сырого триметилфенолята натрия, содержащего 0.10 моль субстрата и 400 мл воды были залиты в 500 мл пятигорлую круглодонную колбу, оборудованную центральной мешалкой, стеклянным двойным электродом для измерения pH, термометром, капельной воронкой и газовым входом. Аппарат был продут аргоном.

1 г 4.3 % платины на угле и 60 мг висмута (III) сульфата были добавлены. Аппарат, соединенный с источником кислорода при атмосферном давлении, был тогда продут с чистым кислородом; соотношение перемешивания было отрегулировано к 1,050 оборотов в минуту.

Температура была поднята к 45 С, и в то же самое время pH был поднят к 11.0, 30 % раствором гидроксида натрия (12 г, т.е. 0.09 моль).

После 1 часа, 15 минут, 3.8 литра кислорода были поглощены, и никакой дополнительный кислород не был использован в течение следующих 25 минут. Катализатор был отфильтрован от горячего на стеклянном фильтре пористости 4. Осадок был промыт водой, и фильтрат был охлажден до 10 С. Последний был, осторожно подкислен серной кислотой; осадок начал появляться в районе pH 8. Добавление кислоты было закончено, когда pH достиг 4 (17 мл 25%  $H_2SO_4$  использовался). Желтый осадок был отфильтрован, промыт 10 мл воды, высушен при 30 С. под давлением 1 мм ртутного столба. Это выдало 14.7 г желтого порошка. Выход веса сырого материала, по существу содержащего триформилфенол и олигомеры, был 82 %.

2,4,6-триформилфенол нерастворим в воде при 25 С, и имеет следующие растворимости в органических растворителях при 25 С:

- Этанол - 0.5 г/л
- Диэтиловый эфир - 0.25 г/л
- Бензол - 3 г/л

#### Окисление триформилфенола перекисью водорода при pH < 7

450 мг триформилфенола (2.5 ммоль) были помещены в 500 мл колбу, оборудованную термометром, электродом, холодильником и двумя капельными воронками. 12.5 мл свободной от кислорода воды были добавлены, магнитная мешалка была включена, и температура была поднята к 45 С - все под азотом.

pH был поднят к 4.5 10% раствором гидроксида натрия, содержащимся в первой воронке, и 1.96 г 10% перекись водорода (5.8 ммоль) была тогда капля по капле добавлена в течение 10 минут из второй воронки.

Раствор, который был гетерогенным в начале, постепенно стал гомогенным. Реакционная смесь была подержана при 45 С:

1. 50 минут при pH 4.5, и

2. 45 минут при pH 5-5.5.

Всего было добавлено 4.16 ммоль гидроксида натрия.

#### Метилирование с

3,4,5-тригидроксибензальдегидами

Чтобы более легко измерять выход галлового альдегида, полученного в течение предыдущего шага, все полученные продукты были метилированы следующим способом.

В аппарате, описанном выше, капельная воронка, содержащая 10% гидроксид натрия была заменена воронкой, содержащей деаэрированный 30% гидроксид натрия. Воронка, содержащая перекись водорода была заменена воронкой, содержащей диметилсульфат (ДМС).

pH смеси был поднят к 8, при поддержании температуры 45 C, в атмосфере азота. 4.75 г ДМС (37.5 ммоль) были добавлены в течение 40 минут, при поддержании pH при 8-8.5. Эксперимент был закончен, когда pH стабилизировался, что произошло в течение 1 часа, количество добавленного 30% раствора гидроксида натрия было 4.2 г (31.5 ммоль).

После охлаждения к 20 C, реакционная смесь была, подкислена к pH 3.5 0.25 мл 50%  $H_2SO_4$  и экстрагирована три раза по 20 мл дихлорэтана. Органические экстракты были промыты 10 мл воды, высушены сульфатом натрия и проанализированы газовой хроматографией.

Гидроксилы были полностью метилированы, потому что ни галловый альдегид, ни 5-hydroxy-p-vanillin, ни syringaldehyde (3,5-dimethoxy-4-hydroxybenzaldehyde) ни изомерный, 3,4-dimethoxy-5-hydroxybenzaldehyde, не были обнаружены.

Выход 3,4,5-trimethoxybenzaldehyde 216 мг = 44 %. Относительно представленного триформилфенола. Выход 1,3,4,5-tetramethoxybenzene 24 мг = 5%.

Выход галлового альдегида был, таким образом, по крайней мере, 44%, относительно 2,4,6-триформилфенола.

=====

#### Формилирование

фенолов алкоголятом

магния/параформом

Способ состоит в том, что из фенола и алкоголята магния делают смешанную магниевую соль (фенолят-алкоголят), которую затем реагируют с параформальдегидом в толуоле на кипящей водяной бане, отгоняя образующийся в процессе метанол, а потом всё это дело выливают в кислоту и т.д.

В отличие - глобальное отличие - от известного всем Раймера-Тимана, эта процедура идёт с великолепными выходами (94% для p-MeO-фенола, например) и, что тоже важно, проявляет поистине замечательную орто-селективность.

В плане же реагентов она не более требовательна, чем РТ - учитывая, что магний в форме анодов для водонагревателей можно свободно купить в магазине, а алкоголь из него спокойно можно сделать варкой в (ме)этиловом спирте (с чуточком йода для затравки).

Алкоголят можно использовать как в форме порошка, так и в форме р-ра или суспензии в спирте - после образования фенолята спирт отгоняется с толуолом. Также можно делать его прямо ин ситу из магниевых опилок (см. пример №2 в патенте<sup>12</sup>).

<sup>12</sup> Patent EP0529870

### Пример 3

Порошок этилата магния (17 г) был добавлен к смеси 4-нонилфенола (55 г) и толуола (400 мл) при комнатной температуре. Смесь была нагрета до 90-95 С, и была перемешана при этой температуре 2,5 часа. Температура была затем поднята до 100 С, и дистиллят этанола (5 мл) удалили отгонкой.

После охлаждения до 90 С параформальдегид (26,3 г) был добавлен в четыре приёма, и перемешивание было продолжено 2ч при 95 С.

Горячая смесь была вылита в смесь холодной воды (1.5 л) и конц. серной кислоты (40 г), и всё было перемешано на ночь при комнатной температуре. Смесь была затем экстрагирована толуолом, и толуол был промыт водой до полного исчезновения следов кислоты. Толуол был удален отгонкой под уменьшенным давлением, оставляя сырой 5-нонилсалицилальдегид (62,7 г).

### Пример 4

Фенол (48 г, 0.5 моль) и 323,75 г раствора 8% метилата магния (0,3 моль) в метаноле был нагрет от 20 С к 65 С в течение 15 мин и затем перемешан при кипении в течение дальнейшего часа.

Половина метанола была тогда удалена отгонкой, и был добавлен толуол (500 г). Смесь нагревали, пока внутренняя температура не достигла 100 С (приблизительно 1 час) и большинство метанола было удалено как азеотроп с толуолом.

Параформальдегид (46,4 г 1.5 моль) был медленно добавлен по частям в течение 2 часов, поддерживая внутреннюю температуру 102-105 С и удаляя низки кипящий дистиллят. Реакционная смесь была перемешана при 105 С в течение ещё часа, охлаждена до 25 С и затем медленно добавлена к 588 г 10 % серной кислоты, сохраняя температуру ниже 35 С. После перемешивания в течение 5 часов, органический слой был отделен от водного слоя, и р-ритель удалён в вакууме, чтобы дать салицилальдегид с выходом 78%.

2,4-dimethylphenol - 66%

4-methoxyphenol - 94%

4-chlorophenol - 33%

-----

В 2 л RBF снабженную обратным холодильником, механической мешалкой и капельной воронкой поместили 32 г магния и прилили 200 мл сухого метанола (можно взять и больше, чтобы быстрее магний прореагировал). Реакция идет бурно. Иногда колбу надо охлаждать, чтобы холодильник не плевался. Когда смесь начнет загустевать, из капельной воронки медленно начинают приливать раствор 250 г п-метоксифенола в 300-500 мл горячего толуола. Все это дело нагревается и хорошо перемешивается мех. Мешалкой (следите чтобы не прижарился фенолят).

Когда весь магний растворится отгоняют метанол (можно и не отгонять). Густую смесь перемешивают еще минут 10, и небольшими (экзотерма) порциями начинают приливать суспензию 180 г параформа в толуоле. Эта стадия занимает около часа. Смесь приобретает желтый цвет и разжижается. Далее РМ мешают еще полчаса и приливают разбавленную серную к-ту до кислой реакции. Отделяют толуольный слой и отгоняют толуол. В остатке 2-ОН,5-МеО бензальдегид.

Полученный продукт не загрязнен ПМфом, но есть примесь димеров. Его чистят бисульфитом или перегоняют при пониженном давлении. Выход около 80%.

Этот альдегид красит руки (и не только - кто чем работает) в желтый, весьма стойкий цвет.

=====

## Формилирование фенолов нитробензолсульфокислотой

### Метод<sup>13</sup> 1

#### п-Оксибензальдегид

К 600 л подкисленного раствора м-сульфо-п-толугидроксиламина<sup>14</sup> добавили 22,5 кг 40%-ного формальдегида и 28 кг фенола, после чего раствор оставили стоять при обычной температуре, в течение 2 дней. По прошествии этого времени раствор нагрели, при этом в растворе образуется и отделяется бензилиденовое соединение. Полученный раствор смешивают с ацетатом натрия и при охлаждении добавляют ацетат анилина, пока не образуется продукт конденсации. Наконец анилиновое производное п-оксибензальдегида отфильтровывают, растворяют в растворе соды или бисульфита и с водяным паром отгоняют отщепившийся анилин. Из оставшегося раствора с помощью подкисления выделяют п-оксибензальдегид и очищают перекристаллизацией из воды.

#### Резорцилальдегид

В 800 л воды растворили 60 кг натриевой соли нитробензолсульфокислоты и 22 кг резорцина. При охлаждении и хорошем перемешивании к раствору добавили 50 кг чугунных стружек и медленно прилили 150 кг соляной кислоты (плотность = 1,16) смешанной с 16 кг 38%-ного формальдегида. Оставляют раствор на 24 часа в покое, после чего он становится приблизительно нейтральным. Железосодержащий осадок отделяют от бензилиденового соединения выливанием реакционной смеси в очень разбавленный раствор едкого натра и быстрой фильтрацией выпавшего осадка. К фильтрату добавляют раствор ацетата свинца, при этом выпадает свинцовое производное резорцилальдегида в виде серого осадка. Осадок фильтруют, хорошо промывают водой и разлагают нагреванием с разбавленной соляной кислотой. В чистом виде получают через бисульфитное производное. Получают резорцилальдегид, как однородное вещество с температурой плавления 134 С.

Резорцилдиальдегид не образуется.

#### Протокатеховый альдегид

К раствору 11 кг пирокатехина и 30 кг натриевой соли нитробензолсульфокислоты в 600 л воды, при постоянном перемешивании и хорошем охлаждении прибавили 75 кг концентрированной соляной кислоты, 8 кг 38%-ного формальдегида и 25 кг чугунного порошка. После однодневного стояния при обычной температуре, отфильтровывают полностью железную грязь, добавляют насыщенный раствор поваренной соли и проводят двукратную экстракцию эфиром в подходящем аппарате. Объединенные эфирные вытяжки отделяют и промывают бисульфитным раствором, из которого альдегид выкристаллизовывается при подкислении. Альдегид перекристаллизовывают из кипящего толуола, получая кристаллы с температурой плавления 150 С.

Маточный раствор содержит незначительное количество альдегида в виде бензилиденового соединения, который может быть выделен посредством осаждения ацетатом анилина. Фильтрат нерастворимого анилида расщепляют и очищают альдегид, как в примере 1.

<sup>13</sup> Patent DE105798

<sup>14</sup> Патент №103578

## Ванилин

15 кг нитробензола нагревают с 45 кг дымящей серной кислоты до 120-130 С, до тех пор пока при пробе с водой не будет выделяться нитробензол. Сернокислотную смесь вносят затем в 600 л воды и охлаждают примерно до 15 С. К этому раствору прибавляют 10 кг гваякола и 8 кг 38%-ного формальдегида. При хорошем перемешивании вносят также постепенно 25 кг чугунных стружек. После стояния раствора в течение 24 часов отфильтровывают липкое бензилиденное соединение, а раствор насыщают поваренной солью и отделяют ванилин и гваякол из фильтрата экстракцией эфиром. Отфильтрованное бензилиденное соединение растворяют в растворе ацетата натрия и эфиром из этого раствора извлекают еще ванилин. Как и в предыдущем примере встряхивают эфирные вытяжки с раствором бисульфита и затем получают ванилин в свободном виде подкислением раствора. Ванилин кристаллизуется при охлаждении из кипящего лигроина в виде белых игл с температурой плавления 80 С.

м-Метоксисалицилальдегид похоже не образуется.

## альфа-Нафтолальдегид

Сернокислотную смесь 15 кг нитробензола и 45 кг дымящей серной кислоты внесли в 250 л воды, после чего этот раствор смешивают с 8 кг 38%-ного формальдегида, а затем, при сильном перемешивании и охлаждении вносят раствор 14 кг альфа-нафтола в 13 кг 40%-ного едкого натра и 1000 л воды. Добавляют 25 кг чугунных стружек, оставляют реагировать на долгое время. В растворе часто выпадают листочки альфа-нафтола. Через 4-5 часов, когда раствор дает не более чем ярко-желтую окраску по бумаге конго, осадок растворяют в ацетате натрия и фильтруют. Фильтрат очень сильно разбавляют водой, нагревают до кипения и смешивают с соляной кислотой, при этом выпадает альфа-нафтолальдегид, как кристаллический осадок. Альфа-Нафтолальдегид трудно растворим в растворе бисульфита. Очищенный, он кристаллизуется в виде тонких сросшихся кристаллов, которые плавятся при 150-151 С, растворимы в спирте и эфире, трудно растворимы в воде.

---

## Метод<sup>15</sup> 2

### Протокатеховый альдегид

Растворяют в деревянном чану с мешалкой и змеевиком для нагрева 11 кг пирокатехина и 30 кг натриевой соли м-нитробензолсульфокислоты в 600 л кипящей воды, дают остыть и медленно прибавляют 75 кг технической соляной кислоты 210 Ве, а затем тоже медленно прибавляют одновременно 8 кг 40%-ного формальдегида и 24 кг чугунных стружек (на 1 кг формальдегида 3 кг стружек). По окончании прибавления перемешивают еще 8-10 час., дают 12 часов стоять, отделяют железный шлам, высаливают 200 кг поваренной соли, затем извлекают протокатеховый альдегид эфиром. Из эфирного р-ра его переводят в р-р бисульфита, из которого выделяют нейтрализацией серняком, отсасывают на нуче и сушат при 50 С. Выход - 8 кг.

---

<sup>15</sup> Швицер Ю. "Производство химико-фармацевтических и теххимических препаратов". М.-Л. 1934 стр.213.

## Формилирование фенолов этилортоформиатом

### Получение свободных оксибензальдегидов<sup>16</sup>

К смеси 0.1 моль фенола, 20 мл бензола и 10 мл этилортоформиата прибавляют небольшими порциями при перемешивании 20 г (0.15 моль) безводного  $\text{AlCl}_3$ , температура при этом повышается до 60 С. Через 10 мин смесь охлаждают и добавляют по каплям 30 мл охлажденной 5%-ной  $\text{HCl}$ , затем несколько раз встряхивают с эфиром. Органические вытяжки после встряхивания с раствором соды упаривают до 50 мл. Затем о-оксиальдегиды и исходные продукты отгоняют с паром до получения 150 мл дистиллята. При охлаждении из дистиллята выделяется оксиальдегид, который кристаллизуется из воды.

| Фенол          | Бензальдегид            | Выход, % | Т. пл. С |
|----------------|-------------------------|----------|----------|
| 2,5-Диметил    | 4-Окси-2,5-диметил      | 41       | 133      |
| 3,4-Диметил    | 2-Окси-4,5-диметил      | 44*      | 71       |
| бетта-Нафтол   | 2-Оксинафталъдегид      | 41*      | 82       |
| Пирокатехин    | Протокатеховый альдегид | 45       | 154      |
| Орцин          | 2,4-Диокси-6-метил      | 66       | 180      |
| Пирогаллол     | 2,3,4-Триокси           | 92       | 159      |
| Оксигидрохинон | 2,4,5-Триокси           | 89       | 223      |
| Флороглюцин    | 2,4,6-Триокси           | 96*      |          |

\* Выход определялся по фенилгидразону.

## Формилирование по Вильсмайеру

### Классический метод<sup>17</sup>

Комплекс Вильсмейера получили прибавлением в течении 30 мин 92 мл фосфорил хлорида (свежевскрытая ампула) к 150 мл безводного диметилформамида при перемешивании и охлаждении в ледяной бане. Светло-оранжевый раствор прибавили по каплям в течении 2 часов к перемешиваемому раствору 116 г 1,4-диметокси-4-что-то-бензола<sup>18</sup> (полученного метилированием диметилсульфатом в воде, не очищенного, но хорошо высушенного) в 150 мл безводного диметилформамида при 100-110 С, использовалась хлоркальциевая трубка для защиты от влаги воздуха. Нагрев продолжали в течение 3 часов. Полученную черную смесь разбавили 1 л ледяной воды, нейтрализовали 20% едким натром до  $\text{pH}=7-8$  и экстрагировали ди-хлорметаном (3х150 мл). Объединенные экстракты промыли 100 мл воды, высушили

<sup>16</sup> Межерикский В.В., Олехнович Е.П., Лукьянов С.М., Дорофеев Г.Н. "Ортоэфиры в органическом синтезе" 1976. Стр. 86-87.

<sup>17</sup> J.C.S. Perkin 1, 1974, 1353-1354

<sup>18</sup> Этот метод не работает на диметоксибензолах без электродонорного заместителя в 4-позиции.

сульфатом натрия и отогнали растворитель при атмосферном давлении и температуре ниже 80 С. Полученное черное вещество перекристаллизовали из смеси этанол-вода 3:2, кристаллизация окончилась в холодильнике. Выход 106 г чистого светло-коричневого 2,5-диметоксибензальдегида (76%, т.пл. 52-53 С).

-----

Индол-3-альдегид

[Indole-3-carboxaldehyde]

В литровую, круглодонную, трехгорлую колбу оснащенную эффективной механической мешалкой, осушающей трубкой с драйеритом, и 125 мм капельной воронкой (КВ) помещены 288 мл (274 г, 3.74 моля) свежеперегнанного ДМФ (Прим. 1). Колба помещена в охлаждающую баню из льда и соли на полчаса, и затем 86 мл (144 г, 0.94 моль) свежеперегнанной хлорокиси фосфора (Прим. 2) были добавлены к ДМФ в течение получаса. На этом шаге может наблюдаться розоватый цвет формирующего комплекса. 125 мл КВ заменена на 200 мл КВ и р-р 100 г индола (0.85 моль, прим. 3) в 100 мл (95 г, 1.3 моль) ДМФ добавлен к желтому р-ру в течение часа. В это время температура не должна подниматься выше 10°. Как только весь р-р индола в ДМФ прибавлен, КВ заменена на термометр и температура вязкого р-ра поднята до 35°. Сироп интенсивно перемешивается при данной температуре около часа и еще дополнительно 15 мин. Это необходимо для того, что бы чистый желтый р-р стал непрозрачной канареечно-желтой пастой (Прим. 4). К концу реакции 300 г колотого льда добавляется к пасте (Прим. 5) с осторожным перемешиванием, производя чистый, вишнево-красный водный р-р.

Этот р-р перемещен со 100 мл воды в 3 л трехгорлую колбу содержащую 200 г колотого льда и оснащенную эффективной механической мешалкой и КВ, содержащей р-р 375 г (9.4 моль) гидроксида натрия в литре воды. Одна треть водной щелочи прикапывается с перемешиванием (Прим. 6). Другие две трети приливаются быстро с интенсивным перемешиванием (Прим. 7), полученная суспензия быстро нагревается до кипения, охлаждается до комнатной температуры и оставляется в холодильнике на ночь. Осадок отсасывается на фильтре и ресуспендируется в 1 л воды. Большинство неорганических примесей растворяется, продукт затем отсасывается на фильтре, промывается тремя порциями по 300 мл воды и сушится на воздухе, выход 120 г (97%) индол-3-альдегида, Т.пл.=196-197°. Индол-3-альдегид, получаемый в данной процедуре, достаточно чист для большинства целей, но при желании может быть рекристаллизован из этанола (Прим. 8).

#### Примечания:

1. Был использован свежеперегнанный ДМФ от Мерк или Дю-Понт, b.p. 151-153°.
2. Была взята свежеперегнанная хлорокись фосфора (чда), b.p. 106-108°.
3. Был взят продажный индол, перекристаллизованный один раз (150 г на 1.8 л петролейного эфира 60-90°) m.p. 52-53°.
4. Выпадение осадка, описанное здесь, происходило не во всех случаях, но никакого заметного эффекта на чистоту и выход конечного продукта это не оказывало, если перемешивание и нагревание зеленовато-желтого р-ра продолжалось еще, по крайней мере, час.
5. Реакция между неводной пастой и водой (или льдом) экзотермична, так что иногда бывает полезно охладить пасту в ледяной бане перед добавлением льда. Но в любом случае неприятностей не должно возникнуть, если 300 г льда добавить сразу.
6. Момент, когда быстрое прибавление должно начаться легко узнается по исчезновению красного цвета р-ра и появлению вместо него зеленовато-синего или зеленовато-желтого цветов.

7. К концу прибавления содержимое колбы может заколдобиться и остановить мешалку. Использование мощной мешалки на этом этапе весьма желательно, так же как и добавление 100 мл воды при интенсивном перемешивании возвращает заколдобленный ошметок к состоянию жидкой пасты. Во время периода нагревания приливание воды может происходить неоднократно, а быстрого и эффективного перемешивания обычно бывает достаточно, чтобы разбить образующийся ошметок. Ко времени, когда температура достигнет точки кипения, чистый желто-оранжевый р-р должен быть получен. При нагревании происходит значительное выделение диметиламина, особенно ближе к точке кипения.
8. Около 8,5 мл 95 этанола требуется на грамм альдегида. Выход альдегида после рекристаллизации редко превышает 85%, и Т.пл. повышается только на 1-2°. Концентрация материнских ликворов до 15% от их первоначального объема дают еще 12-13% альдегида, который столь же чист, как и первая порция.

Индол-3-альдегид может быть получен непосредственным формилированием индола с использованием ДМФ или N-метилформанилида и хлорокиси фосфора в качестве катализатора, по реакции Раймера-Тимана, по модифицированной реакции Гаттермана через 2-карбетоксииндол, формилированием натриевой соли индола моноокисью углерода в жестких условиях при высокой температуре под давлением, по реакции Гриньяра, гидролизом и декарбоксилированием анила 3-инданил глиоксильной к-ты, модифицированной реакцией Соммле из грамина или индола, а так же окислением и гидролизом N-скатол-1-N-фенилгидроксиламина. Метод описанный выше является методом Смита. Этот метод далеко превосходит все другие методы приготовления индол-3-альдегида о которых сообщалось здесь, поскольку чрезвычайно прост и удобен, выходы почти количественные, а чистота продукта очень высока. Два других метода с использованием ДМФ описаны в Organic Syntheses (pp. 331, 831).

---

#### Метод с тионилхлоридом

##### Диметиламинобензальдегид

К 1 эквиваленту ДМФ и 4 эк. диметиланилина был добавлен с охлаждением 1 эк.  $\text{SOCl}_2$ . При исключении  $\text{H}_2\text{O}$  реакции позволяют стоять 1 ч при 20 С, потом 2 ч при 90-95 С. В конце концов, позволяют стоять 15 мин в комнатной температуре. Тогда раствор сделан кислотным разбавленной  $\text{HCl}$ , нагрет 2 ч до 90-95 С. Затем сделан щелочным с  $\text{NaOH}$  и экстрагирован эфиром/хлороформом. От нейтрально промытого и высушенного экстракта отогнали растворитель, остаток затем фракционировали при 11 торр. Получившийся альдегид (60 % от теории) был кристаллическим и чист.

##### Индолкарбоксальдегид

В трехгорлую колбу емкостью 100 мл, снабженную магнитной мешалкой, термометром, доходящим до дна колбы, капельной воронкой и холодильником, помещают 18,5 мл (0,255 моль) свежеперегнанного хлористого тионила и при охлаждении льдом и перемешивании медленно, по каплям, прибавляют 20 мл (0,255 моль) абсолютного ДМФА. Через 30 мин образовавшийся сернистый ангидрид удаляют продуванием инертного газа через реакционную смесь. К полученным бесцветным кристаллам добавляют 40 мл ДМФА. И постепенно при перемешивании прибавляют раствор 30 г (0,255 моль) индола в 15 мл ДМФА, поддерживая температуру реакционной массы не выше 20°С. После окончания прибавления смесь выдерживают еще 30

мин, и выливают на лед, затем нейтрализуют водным раствором 21 г едкого натра, нагревают до кипения и охлаждают. Выпавшие кристаллы отфильтровывают, промывают водой и сушат на воздухе.

От себя добавлю, что у меня выходы получались не выше 91%. Возможно потому что я не перегонял хлористый тионил перед реакцией. Хотя он у меня ЧДА.

Т.пл 192–193°C. Выход 7,3 г (99%).

ИК спектр (CCl<sub>4</sub>): 1655см<sup>-1</sup> (C=O).

Спектр ПМР (DMCO-D6+CDCl<sub>3</sub>): 7,18–7,70 (м., Н-5-7), 8,0 (Н-2), 8,3 (Н-4), 9,82 (СНО), 11,66 м. д. (NH).

#### Метод с фосгеном

4 г ДМФ растворили в 40 мл CCl<sub>4</sub>. При 10–20 С с небольшим охлаждением, в р-р пропустили 5 г фосгена. Диметилформаимидхлорид выпадает как белые кристаллы. Р-ция перемешивается, пока весь фосген не исчезнет. Вся каша охлаждена до 10 С и по каплям добавляется 6,5 г диметиланилина. После перемешивания полчаса при 10–20 С, смесь медленно нагрета до 50–55 С и три часа грета. Затем вылита в смесь 80 г льда и 20 г воды. Кислотная водяная фаза отделена, и с хорошим перемешиванием вылита в 30% NaOH (кол-во не указано...), в конце добавления рН должен быть около 8–9. Альдегид отделяется как жидкость, но очень быстро кристаллизуется. Промыт водой, сушен в вакууме при 40–50 С.

Выход пара-диметиламинобензальдегида – 90–95% от теоретического.

#### Формилирование по Раймеру-Тиману

##### Процедура классическая<sup>19</sup>

В 2-х литровую трёхгорлую колбу поместили 125 г (1 моль) 4-метоксифенола и горячий раствор 320 г (8 моль) NaOH в 400 мл H<sub>2</sub>O (добавляют горячим, чтобы фенол растворился и не образовался карбонат).

На колбу поставили О.Х., капельную воронку и термометр (использовался адаптер Кляйзена), а также механическую мешалку, затем нагрели до ~70 С на масляной бане. Когда температура установилась, по каплям добавляли 160 мл, 2 моля хлороформа в течение 4 часов, при этом перемешивая и поддерживая температуру. По ходу реакции смесь стала тёмно-коричневой с жёлто-зелёным слоем и тяжёлым коричневым осадком (натрия фенолят).

Реакционную смесь мешали ещё час при той же температуре, после дали остыть и перелили в 5-литровую колбу, прибавив немного горячей воды, и подкислили H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (150–200 мл 10Н). Когда реакция становится кислой продукт всплывает наверх в виде чёрного масла.

Это чёрное масло перелили в колбу с небольшим кол-вом воды и перегнали с паром (собрали около 5 литров дистиллята).

После перегонки остаётся немало чёрной смолы.

Жёлтое масло в дистилляте экстрагировали ДХМ и выпарили получив 112 г (74%) 5-Метоксисалицилальдегида, который можно в дальнейшем подчистить перегонкой

<sup>19</sup> Org.Rect. vol28 p16.

под азотом (т.кип. 133 С/15mmHg).

Данный материал был достаточно чист для метилирования в 2,5-диметоксибензальдегид с выходом в 76% с ДМС/NaOH(вод.)

Примечания:

1. Главное поддерживать температуру реакции около 70 С, но она в самом начале ненадолго повысилась до 80 С. Соли этого салицилальдегида довольно чувствительны к окислению воздухом.
2. Если нет никакой мешалки, то колбу с реакцией можно просто время от времени хорошенько покручивать.

-----  
Усовершенствованный  
вариант

100 см<sup>3</sup> хлороформа, 9.4 г фенола, 20 г безводного гидроксида натрия и 3.6 см<sup>3</sup> воды помещены в 250 см<sup>3</sup> реактор, обеспеченный охлаждением, механической мешалкой и термометром, и температура среды реакции термостатически поддержана в 50 С. Эти условия начальной смеси соответствуют соотношению гидратации 0.4 молей воды на моль гидроксида натрия (2 моля воды на моль исходного соединения) и к 12.6-кратному кол-ву хлороформа на моль исходного соединения, выраженному в молях. Вслед за этим температура среды реакции поднята к 58 С в течение одного часа. Затем 12 г гидроксида натрия в мелкоизмельчённой форме прогрессивно добавлен в течение двух часов, температура поддерживается постоянно 58 С. Реакция продолжается в течение 1 часа. В конце реакции, начальный фенол полностью исчезает.

Остаточный хлороформ получен и переработан. Смесь альдегидов получена в форме натриевой соли. Он нейтрализован, до нейтральности рН. Салицилальдегид может быть получен обычным способом с выходом близко к 77 % (9.4 г относительно начального фенола) паровой дистилляцией или извлечением эфиром. Р-гидроксibenзальдегид получен с выходом 17 % (2 г извлечением эфиром после подкисления остаточного р-ра до рН 1.

-----  
С гвайяколом

10 см<sup>3</sup> метанола и 90 см<sup>3</sup> хлороформа, также 6.2 г гвайякола помещены в 250 см<sup>3</sup> реактор с механической мешалкой и термометром. Затем 16 г мелкоизмельчённого гидроксида натрия и 6 г воды добавлены при поддержании температуры смеси при 0 С. Эти начальные условия смеси соответствуют соотношению гидратации 0.825 моль воды на моль гидроксида натрия [6.6 моль воды на моль начального соединения [гвайякол)]. Вслед за этим смесь медленно возвращена окружающей температуре и очень постепенно поднята к 58 С.

В ходе реакции (через час), 16 г мелкоизмельчённого гидроксида натрия постепенно добавлены в течение 2 часов. Температура сохраняется постоянной в течение 1 часа. Тогда реакционная смесь охлаждена до 40 С., и рН приведён к 2, постепенно добавляя серную кислоту. Фаза хлороформа тогда отделена от водной фазы и высушена Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Водная фаза снова экстрагирована эфиром. Органические фазы затем выпарены. Они содержат альдегиды и остаточный гвайякол.

=====

## Формилирование по Даффу

### Классическая процедура в уксусной кислоте

В 12-литровую круглодонную колбу снабженную мощной мешалкой, термометром, проходящим внутрь колбы, электрической печкой, выхлодной трубкой с термометром, и охлаждаемым водой холодильником было внесено 310 г (1.5 моля) переплавленного 2,6-дитерт.бутилфенола, 1300 мл уксусной кислоты и 420.6 г (3.0 моля) гексаметилентетрамида. Температура раствора поднялась с 24 С до 36 С. Дальнейшее внесение уксусной кислоты (1205 мл) вызвало повышение внутренней температуры до 38 С. После добавления 495 мл воды, перемешиваемый раствор образовал эмульсию с небольшим понижением температуры. С внешним нагревом при 93 С был получен прозрачный раствор. Когда температура реакции достигла 108 С, началось слабое кипение, сопровождавшееся выделением диоксида углерода. После часа кипения можно было наблюдать мелкие желтые кристаллы. После того, как было собрано 42 мл конденсата, температура реакционной смеси поднялась до 113 С. После 6 часов кипения смесь загустела (помутнела?). Нагрев был заменен ледяной баней. После охлаждения до 25 С, реакционная масса была вылита на вакуумный фильтр. Фильтрат (2875 мл, 3103 г) был сохранен. Кристаллы продукта были перенесены в стакан и перемешивались в течение 5 минут с 3 л воды. Промывная вода была удалена посредством пористого стеклянного фильтра. Было добавлено еще 3 л воды и взвесь была вылита на вакуумный фильтр. Когда большая часть воды была удалена, продукт был перенесен на стеклянный поддон и высушен в вакууме в течение 5 часов при 60-65 С. Согласно анализу газожидкостной хроматографией (GLC), продукт был 100% 3,5-дитерт.бутил-4-гидроксibenзальдегид. Спектры ядерно-магнитного резонанса и инфракрасный были идентичны при сравнении с образцом. Выход был 90%.

-----

### Формилирование диалкоксibenзолов

Смесь 1,3-диэтоксibenзола (40 ммоль) и ГМТА (12.8 г, 92 ммоль) в  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{H}_2\text{O}$  (100/20 мл) была нагрета к кипению 3 ч. После охлаждения, смесь вылили в воду и экстрагировали EtOAc. Объединенные экстракты были промыты водой и высушены над  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . После удаления растворителя in vacuo, остаток был отделен колоночной хроматографией с гексаном/EtOAc (6:1) как элюентом, чтобы дать диэтоксibenзальдегид с выходом 48% от теории (бесцветные иглы, т.пл. 69-70 С).

-----

### Классическая процедура в глицерине

Хорошо размешиваемая (Прим. 1-2) смесь 740 мл глицерина и 216 г борной кислоты, в 2 л трёхгорлой круглодонной колбе, оборудованной термометром и холодильником для нисходящей перегонки, обезвоживается нагреванием в масляной бане до ровно 170 С. Эта температура поддержана в течение 30 минут и затем понижается. Когда температура упадёт до 150 С, смесь 154 г (1 моль) 2,6-диMeO-

фенола и 154 г (1.1 моля) гексаметиленetetрамина (Прим. 3) добавлены настолько быстро, насколько возможно через горло, держащее термометр. Температура падает до приблизительно 125 С. Быстрое нагревание немедленно начато, но замедлено, когда температура начинает достигать 145 С и остановлено при 148 С. Реакция должна наблюдаться и управляться очень тщательно, когда эта температура достигнута, так как реакция становится экзотермичной в этой точке (Прим. 4-6). Температура поддержана в 150-160 С приблизительно (Прим. 7) 6 минут. В конце этого времени смесь охлаждена к 110 С настолько быстро насколько возможно (Прим. 6, 8), и предварительно приготовленный раствор 184 мл концентрированной серной кислоты в 620 мл воды добавлен к реакционной смеси. После размешивания в течение 1 часа, смесь охлаждена к 25 С в ледяной ванне. Борная кислота, которая отделяется от раствора, удалена фильтрованием (Прим. 9) и промыта от остатков материнского ликвора 400 мл воды. Фильтрат и промывки объединены и экстрагированы 3х500 мл хлороформа (Прим. 10-12).

Раствор хлороформа тогда экстрагирован фильтрованным раствором 180 г бисульфита натрия в 720 мл воды (Прим. 13), перемешивая быстро Hershberg мешалкой в течение 1 часа. Отделенный раствор бисульфита промывается дважды хлороформом, фильтруется, и подкисливается под тягой раствором 55 мл концентрированной серной кислоты в 55 мл воды. После осторожного нагревания на паровой ванне в течение короткого времени, воздух пробулькивается через горячий раствор, пока вся двуокись серы не исчезнет. Продукт, который отделяется как смесь кристаллов и масла, с готовностью затвердевает после охлаждения (Прим. 14). Сиреневый альдегид собран фильтрованием, промыт холодной водой, и высушен в печи при 40 С, чтобы дать 62.5-66 г светло-коричневого материала, тающего при 110.5-111 С, который все еще содержит маленькое количество чужеродного материала, который не тает при 300 С. Перекристаллизация сырого продукта из водного метанола, используя 30 мл воды и 3 мл метанола на каждые 10 г альдегида, дает 56-59 г (31-32%) продукта, тающего ровно при 111-112 С. Второе экстрагирование раствора хлороформа фильтрованным раствором 60 г бисульфита натрия в 240 мл воды дает дополнительные 3-4 г продукта.

#### Примечания:

1. Использование Hershberg мешалки рекомендуется.
2. Желательно провести это приготовление под тягой из-за большого объема аммиака, выделенного во втором шаге.
3. Большой избыток гексаметиленetetрамина в маленьком пробном эксперименте не улучшал выход.
4. Реакционная смесь темнеет быстро, и имеется энергичное выделение аммиака.
5. Температура обычно повышается к 160 С через 5 минут, и охлаждение необходимо.
6. Охлаждение выполнено потоком холодной воды по внешней стороне колбы.
7. Имеется, несомненно, некоторый промежуток в этих условиях. Те же самые выходы были получены, когда температура была поддержана в 150-160 С в течение от 5 до 9 минут. Более длинные времена реакции, без быстрого охлаждения после периода нагревания, понижали выход. Времена реакции 15 минут, 30 минут, и 1 час дали выходы 20.8 %, 10.0 %, и 6.5 %, соответственно. Некоторые исследователи, проделав большое кол-во других подобных реакций, пришли к выводу, что температура может измениться между 145 С и 175 С без ущерба для выхода.
8. Приблизительно от 3 до 5 минут требуется для охлаждения.
9. Если не удалена, борная кислота делает извлечение продукта, невозможным или очень трудным. Так как борная кислота мелкодисперсна, фильтрование чрезвычайно медленно, если не использовать большие воронки Бюхнера, предпочтительно с большими отверстиями. Тестеры избежали этой трудности, ис-

пользуя тканевый фильтр в этой точке.

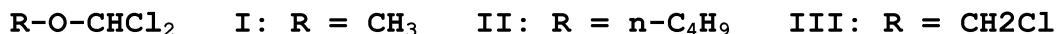
10. Продукт не может быть изолирован паровой перегонкой реакционной смеси.
11. Сиреневый альдегид намного больше растворим в хлороформе, чем в эфире. Извлечение по существу полно, так как четвертая экстракция дала увеличение в выходе только 0.3-0.7%.
12. Если альдегид изолирован непосредственно концентрацией раствора хлороформа, цвет его более темный, и точка плавления, и выход более низкие.
13. Это большой избыток бисульфита натрия, но меньшие количества удаляют меньший процент сиреневого альдегида из раствора хлороформа. Когда большие количества бисульфита использованы, извлечение продукта все еще неполно.
14. Продукт должен быть охлажден только к 15 С и фильтрован немедленно. Более длительное и дальнейшее охлаждение заставляет сульфат натрия кристаллизоваться из смеси. Очень небольшое кол-во продукта остается в фильтрате.

### Формилирование по Рихе

Синтезы ароматических  
альдегидов с использованием  
алкилдихлорметиловых эфиров

Известны многочисленные методы получения ароматических альдегидов из производных муравьиной кислоты. Реакция Гаттермана-Коха [Ber. dtsh. chem. Ges., 30 (1897), 1622; Liebigs Ann. Chem., 347 (1906), 347; Org. React, V (1949), 290; Methoden der org. Chem. (Houben-Weyl), 7/1, 16], например, идет через комплексные соединения формилхлорида, а в реакции Гаттермана [Ber. dtsh. chem. Ges., 31 (1898), 1149; Liebigs Ann. Chem., 357 (1907), 313; Org. React, IX (1957), 37] для получения альдегидов из фенолов или эфиров фенолов применяют циановодород. А. Вильсмайер [Ber. dtsh. chem. Ges., 60 (1927), 119; Chemiker-Ztg., 75 (1951), 133] применил для формилирования ароматики и гетероциклов алкил- и арилпроизводные формамида, а К. Раймер и Ф. Тиман [Ber. dtsh. chem. Ges., 9 (1876), 824, 1268; 10 (1877), 1562] переводили фенолы в альдегиды при помощи хлороформа.

Производными муравьиной кислоты с повышенной реакционной способностью являются и алкилдихлорметиловые эфиры [дихлорэфиры ортомуравьиной кислоты, Chem. Ber., 92 (1959), 83; Angew. Chem., 69 (1957), 726], которые особенно хорошо пригодны для введения альдегидной группы в ароматический углеводород.



При смешении алкилдихлорметилового эфира с охлажденным раствором или суспензией ароматического углеводорода и катализатора Фриделя-Крафтса ( $TiCl_4$ ,  $SnCl_4$ ,  $AlCl_3$ ) в дихлорметане или сероуглероде начинается интенсивное выделение хлороводорода, и при этом отделяется маслообразный или твердый темно-окрашенный продукт. Реакция завершается примерно за 10 минут. При обработке реакционной смеси ледяной водой можно выделить соответствующий альдегид. Промежуточным продуктом является алкоксибензилхлорид ( $ArCH(OR)Cl$ ). Соединения такой структуры весьма нестабильны [Liebigs Ann. Chem., 498 (1932), 101] и при нагревании более или менее легко отщепляют алкилхлорид, переходя в альдегид. Водой они быстро гидролизуются до альдегида, спирта и соляной кислоты.

Применимость этой реакции была исследована на большом числе ароматических углеводородов. Помимо алкил- и арилбензолов и высших аннелированных углеводо-

родов могут быть проформилированы алкилариловые эфиры и тиофен, причем в основном достигаются весьма хорошие выходы (см. таблицу ниже).

Реакция с алкилдихлорметилowymi эфирами родственна реакции Гаттермана-Коха, но имеет существенные преимущества. В реакции Гаттермана-Коха требуется постоянное генерирование формилхлорида из газообразных компонентов: оксида углерода и сухого хлороводорода. Алкилдихлорметилowy эфир, напротив, является, по меньшей мере, столь же реакционноспособным производным ортомуравьиной кислоты, но в удобной, готовой к применению форме. По этой причине реакция протекает за короткое время без применения давления и хлорида меди (I). Дополнительное преимущество состоит в том, что агрессивный хлорид алюминия можно заменить более мягко действующим тетрахлоридом титана или олова, что делает доступными чувствительные альдегиды.

Метод с использованием алкилдихлорметилowych эфиров превосходит реакцию Гаттермана-Коха и по широте применения: целый ряд весьма реакционноспособных ароматических соединений, таких как нафталин [J. Chem. Soc., 1904, 216; согласно US Patent 2485237 (1946), С. А., 44 (1950), 2027с 1-нафталъдегид получается по Гаттерману-Коху с 73% выходом в б/в HF-BF<sub>3</sub> под давлением], тиофен и эфиры фенолов, неожиданным образом не реагируют по Гаттерману-Коху, тогда как в рассматриваемой реакции достигаются хорошие выходы. Нитроанизол также можно проформилировать дихлорэфирами.

В случае реакции с толуолом или анизолом может быть доказано образование, наряду с п-, также и о-альдегида. В полученном с выходом 80% толуальдегиде посредством окисления перманганатом и разделения фталевых кислот было найдено, что смесь изомеров содержит, по меньшей мере, 60% п-соединения. В остальных реакциях цель разделения изомеров не преследовалась, так как из перечисленных в таблице альдегидов всегда получались с хорошим выходом производные высокой чистоты. Положение альдегидной группы в фенантрен- и пиренальдегиде пока не установлено.

Выходы альдегидов зависят от природы введенного в реакцию хлорэфира. Из числа исследованных хлорэфиров, дихлорметилметилowy (I, R = CH<sub>3</sub>) и дихлорметилбутиловый (II, R = n-Bu) оказались одинаково хорошо пригодными. Напротив, дихлорметилхлорметилowy эфир (III, R = CH<sub>2</sub>Cl) в меньшей степени годится для этих синтезов, поскольку реагирует медленнее и имеет склонность к смолообразованию. В принципе, для этой реакции могут применяться алкилдихлорметилowe эфиры и с другими алкильными остатками. Однако, от исследования дихлорметилэтилового и пропилового эфиров мы отказались, так как их получение в чистом виде по описанному методу было затруднительным. Образующийся в качестве побочного продукта оксихлорид фосфора лишь с большим трудом отделяется перегонкой. Примеры реакций сведены в Таблицу (см. ниже).

О реакциях формилирования алкилдихлорметилowymi эфирами в литературе до сих пор сообщалось только Г. Фишером и сотр. [Liebigs Ann. Chem., 512 (1934), 239; Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem., 244 (1936), 31; там же, 272 (1942), 14]. Они использовали полученную из этилформиата и пентахлорида фосфора смесь оксихлорида фосфора и дихлорметилэтилового эфира в 100-кратном избытке в присутствии тетрабромидо олова для формилирования производных порфирина.

Не описанный ранее дихлорметилбутиловый эфир (II, R = n-Bu) был получен в чистом виде по аналогии с методом Фишера:



Он представляет собой бесцветную, чувствительную к воде жидкость, которую можно хранить при защите от влаги в течение продолжительного времени. Тем же способом в лабораторных масштабах можно получать и дихлорметилметилowy эфир. Для получения малых количеств альдегида алкилдихлорметилowy эфир несложно

получить из эфира муравьиной кислоты. Новый метод получения альдегидов также применим и в промышленности, когда в реакцию вводится дихлорметилметилловый эфир, полученный хлорированием монохлордиметилового эфира в описанном [Chem. Techn., 10 (1958), 515, 659] циклическом процессе.

Таблица

| Продукт                 | Выход,<br>% | ROCHCl <sub>2</sub> | MCl <sub>n</sub> | eq. ArH:Cl-<br>эф.:кат. | Метод<br>обраб. | Свойства                   |
|-------------------------|-------------|---------------------|------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------|
| Бензальдегид            | 37          | Me                  | Al               | 1.2:1:1                 | A               | т.кип. 178-180°            |
| о- и п-<br>Толуальдегид | 80          | Me                  | Ti               | 1.2:1:2                 | A               | т.кип. 82-84°/<br>12 мм Hg |
|                         | 73          | Bu                  | Ti               | 1:1.2:2                 | A               |                            |

#### Практическое применение

В статье Рихе и сотр. упоминается, что смесью EtOCHCl<sub>2</sub> и POCl<sub>3</sub>, полученной растворением PCl<sub>5</sub> в этилформиате, можно формилировать, не выделяя хлорэфир. Оба реагента обычно есть в лабораториях; этилформиат легко получить из спирта и муравьиной кислоты в присутствии безводного CaCl<sub>2</sub>. Хотелось довести это до практической методики. Сразу скажу: получилось. Выход 2,5-DMBA 94%, а смеси толуальдегидов – 82%.

Продажный, либо долго хранившийся этилформиат обычно содержит примеси спирта, муравьиной кислоты и равновесное с ними количество воды. Они реагируют с PCl<sub>5</sub> с разогревом и выделением газов (HCl, CO и, возможно, EtCl), поэтому при смешении реагентов желательно охлаждение. Муравьиную кислоту из EtOCHO удаляют, встряхивая его с холодным р-ром бикарбоната. Раствора надо брать немного (контроль pH), т.к. этилформиат заметно растворяется в воде, и встряхивать недолго, допустим, минуту, так как он легко гидролизует. После этого удаляют воду и остатки спирта безводным CaCl<sub>2</sub>. Пара процентов примесей, однако, не мешает. В описанных синтезах использовался этилформиат марки "ч" без какой-либо очистки. Непрореагировавший PCl<sub>5</sub>, в принципе, способен превратить получающийся альдегид в арилдихлорметан, поэтому для приготовления реагента брался небольшой избыток этилформиата. Реагент хранился при комнатной температуре и использовался на следующие сутки после получения. Вероятно, он пригоден для формилирования сразу после растворения PCl<sub>5</sub>, но это не проверялось. Реагент летучий, токсичный и едкий, а в реакции выделяется газообразный HCl: необходима хорошая вентиляция. Безводный SnCl<sub>4</sub> и PCl<sub>5</sub> также опасны в обращении.

Формилирование 1,4-DMB по Рихе в присутствии TiCl<sub>4</sub> описано: "Synthesis of 2,5-dimethoxybenzaldehyde" (Chemistry Discourse). Авторы зачем-то кипятили смесь двое суток, работали с граммом вещества и поэтому вообще удивительно, как они сумели получить 46%-ный выход 2,5-DMBA.

Формилирование толуола по этому методу дает смесь изомеров, из которой можно попытаться выделить п-толуальдегид (т.пл. -6 °C) низкотемпературной кристаллизацией. Но целевой продукт все равно планировалось превратить в 3-метил-4-нитробензальдегид, а он плавится при 47 °C, что вполне удобно. Поэтому разделение изомеров было отложено до стадии нитрования. Что из этого вышло – будет сообщено особо. Примененные условия, возможно, слишком жесткие (скорее всего, можно обойтись без нагревания), а продукт окисляется на воздухе даже легче, чем бензальдегид (в раствор карбоната при промывке можно было бы добавить сульфит). Возможно, это и стало причиной некоторого снижения выхода по сравнению с 2,5-DMBA. С другой стороны, Рихе получил смесь толуальдегидов с таким же выходом (80%), как и здесь (82%).

## Экспериментальная часть

$\text{PCl}_5$ : FW 208.24

$\text{HCO}_2\text{Et}$ : FW 74.08, d 0.921, Vm 80.43, bp 52-54 °C

1,4-DMB: FW 138.17, mp 56-58 °C

$\text{SnCl}_4$ : FW 260.52, d 2.217, Vm 117.51

PhMe: FW 92.14, d 0.867, Vm 106.27, bp 110-111 °C

2,5-DMBA: FW 166.18, mp 52 °C

### Получение формирующего реагента

К  $\text{PCl}_5$  (51.2 г, 0.246 моль, в виде крупных кусков) при перемешивании и охлаждении холодной водой прибавили этилформиат (21 мл, 1.06 eq., марки "ч") в несколько порций. Происходило кратковременное разогревание и выделение газа. Смесь перемешивали при комнатной температуре в течение нескольких часов, предохраняя от влаги воздуха, до полного растворения  $\text{PCl}_5$ . При проведении реакции с большими количествами реагентов или порошкообразным  $\text{PCl}_5$  необходимо постоянное охлаждение холодной водой. Получили 49.5 мл бесцветной жидкости, устойчивой при хранении, если исключить контакт с влагой.

### 2,5-Диметоксибензальдегид

К раствору 1,4-диметоксибензола (22.53 г, 0.163 моль) в сухом DCM (90 мл) при охлаждении льдом и перемешивании прибавили  $\text{SnCl}_4$  (22 мл, 1.1 eq.) (температура повышалась незначительно) и затем по каплям в течение 15 мин прибавляли формирующий реагент (49.5 мл, 1.5 eq.). Смесь темнела и интенсивно выделялся  $\text{HCl}$ . По окончании прибавления ледяную баню убрали и смесь перемешивали 1 ч (слабое выделение газов все еще наблюдалось), после чего при перемешивании вылили в ледяную воду (300 мл). Температура выросла почти до 40 °C, и DCM слегка кипел. Смесь быстро приобрела светло-желтую окраску. Перемешивали еще 15 мин, затем органический слой отделили. Водный слой, окрашенный в желтый цвет и содержащий заметное количество продукта, экстрагировали 4x30 мл DCM и объединенную органическую фазу интенсивно перемешивали с 0.5 л 10%-ного водного раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (большой избыток) в течение ночи до удаления остатков  $\text{POCl}_3$  и  $\text{EtOCHCl}_2$  (по запаху, осторожно). Органический слой отделили, сушили фильтрованием через 3 см слой смеси силикагеля с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (1:1 по объему) на воронке с фильтрующим дном (большая часть окрашенных примесей сорбируется силикагелем), элюировали остатки продукта с фильтра DCM (сорбированный продукт имеет светло-желтый цвет) и упаривали в вакууме. Остаток кристаллизовали: растворяли в DCM (20 мл) при нагревании, прибавляли петролейный эфир (160 мл), охлаждали до комнатной температуры и после кристаллизации основной массы вещества выдерживали смесь в морозильной камере (-18 °C). Кристаллы отфильтровывали с отсасыванием, промывали холодным (-18 °C) петролейным эфиром и высушивали на фильтре током воздуха. Маточный раствор после нагревания до комнатной температуры фильтровали через силикагель (2 см), элюировали остатки продукта смесью DCM-петролейный эфир 2:1, упаривали в вакууме и повторяли кристаллизацию, беря на 1 г вещества 1 мл DCM и 8 мл петролейного эфира. После 3-ей кристаллизации в маточном растворе остаются в основном примеси (1.5 г). Всего получено 25.42 г хроматографически чистого бесцветного кристаллического 2,5-диметоксибензальдегида (94%).

Толуальдегид  
(смесь о- и п-изомера).

К раствору  $\text{SnCl}_4$  (25 мл, 0.213 моль) в PhMe (100 мл, 0.941 моль) при перемешивании и охлаждении холодной водой прибавили 10 мл формирующего реагента. После небольшого индукционного периода начинается реакция (выделение газа, потемнение и отделение 2-й жидкой фазы). Далее по каплям прибавляли еще 40 мл реагента (всего 50 мл, около 1.5 экв. по отношению к  $\text{SnCl}_4$ ), поддерживая температуру ниже  $30^\circ\text{C}$ . После прибавления реагента, которое заняло около 10 мин, охлаждающую баню убрали (выделения газа почти нет) и постепенно нагрели смесь на водяной бане до  $60^\circ\text{C}$  (за 15 мин). При  $\sim 35^\circ\text{C}$  выделение газа возобновляется, и смесь темнеет сильнее, затем выделение газа ослабевает. Далее смесь охладили, вылили при перемешивании в холодную воду (0.5 л) и перемешивали 10 мин; окраска постепенно становится светло-зеленой. Органический слой отделили, промыли водой (200 мл) и перемешивали с раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (66 г) в воде (200 мл) в течение ночи до полного гидролиза хлорпроизводных. Светло-желтый органический слой отделили; водный слой экстрагировали  $\text{CHCl}_3$  (3x20 мл) и объединенные органические фазы фильтровали через слой смеси силикагеля с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ( $\sim 1:1$  по объему); остатки альдегида элюировали хлороформом. Полученный раствор упарили на ротационном испарителе, и остаток перегнали в вакууме масляного насоса. Получили бесцветную жидкость с запахом бензальдегида (20.88 г, 82%, считая на  $\text{SnCl}_4$ ), т.кип.  $38^\circ\text{C}$  (давление неизвестно, но меньше 1 мм Hg). Продукт чрезвычайно легко окисляется на воздухе: через  $\sim 2$  ч после перегонки в капельках на стенках колбы-приемника выросли кристаллы кислоты. В перегонной колбе остается около 1 г вязкой желтой жидкости; после отгонки летучих веществ из конденсата, накопившегося в охлаждаемой ловушке, остается около 0.5 г продукта.

Формилирование через  
хлорометилирование

Эта реакция известна как реакция Соммле (Sommelet). Суть её состоит в том, что бензил хлорид реагирует с уротропином (ака сухое горючее) в водном этаноле. Реакция протекает, в сущности, так же, как и реакция Делепина, но из-за небольших отличий на стадии гидролиза образующегося первоначально уротропинового комплекса получается на амин, а альдегид.

Исходный бензил хлорид (или бромид) можно получить из соответствующего бензилового спирта, или радикальным хлорированием толуола, но самый распространённый способ их получения - хлорометилирование ароматических колец.

Следует иметь в виду, что реакция с уротропином бензил хлоридов, у которых замещена орто-позиция (как в случае с 2,5-) протекает несколько медленнее, а если замещены обе орто-позиции, то вообще не идёт.

3-Тенальдегид

Гексаметиленetetрамин (77 г, 0,55 моля) растворяют в 200 мл хлороформа и по возможно быстрее при встряхивании колбы прибавляют 88 г (0,5 моля) бромистого 3-тенила (прим. 1). К колбе присоединяют обратный холодильник и в течение 30 мин смесь кипятят на паровой бане. После охлаждения смесь хлороформа и кристаллического вещества (прим. 2) выливают в 250 мл воды и перемешивают до полного растворения. Слой хлороформа отделяют и дважды промывают водой порциями по 125 мл, после чего соединенные водные вытяжки подвергают перегонке с

водяным паром. После того как переходящий дестиллат становится прозрачным (обычно собирают около 1 л дестиллата), его подкисляют небольшим количеством соляной кислоты (прим. 3) и экстрагируют тремя порциями эфира по 100 мл. Эфирный раствор сушат над безводным сернокислым кальцием, эфир выпаривают, а остаток перегоняют. 3-тенальдегид собирают при 72-78° (12 мм) или при 195-199° (744 мм,  $n_{D20}$  1,5860 (прим. 4). Выход составляет 30-40 г (54-71% теор.).

#### Примечания:

1. Реакционная смесь кипит самопроизвольно, и при прибавлении реагентов следует соблюдать осторожность, чтобы хлороформ в результате бурного кипения не выбросило из реакционной колбы.
2. На этой стадии кристаллическую соль гексаметилентетрамина можно отделить и перекристаллизовать. При 120° она размягчается, а при 150° плавится с разложением.
3. При применении методики, разработанной Соммеле, образуется смесь альдегида с аминами. В результате подкисления амины отделяются от эфирного раствора.
4. Проверившие синтез получили препарат с т. кип. 80-81° (14 мм).

#### 2-Тенальдегид

##### Способ первый

Смесь 41,5 г (0,31 моля) 2-хлорметилтиофена (хлористого 2-тенила), 88 г (0,60 моля) гексаметилентетрамина, 130 мл ледяной уксусной кислоты и 130 мл воды взбалтывают круговым движением до тех пор, пока она не станет гомогенной, что сопровождается значительным выделением тепла. После этого смесь кипятят с обратным холодильником в течение 4 час. К концу этого периода прибавляют 125 мл концентрированной соляной кислоты и кипячение с обратным холодильником продолжают в течение, еще 5 мин. После охлаждения смесь экстрагируют тремя порциями эфира по 100 мл. Эфирные вытяжки соединяют и сушат над безводным сернокислым натрием или магнием, а затем эфир отгоняют. Неочищенный препарат перегоняют в вакууме, пользуясь коротким дефлегматором; после перехода головного погона, состоящего из уксусной кислоты, препарат собирают при 63-66° (6 мм) [115-118° (65 мм)]. Выход составляет 25-26 г (71-74% теоретич.).

##### Способ второй

Хлористый 2-тиенилметилгексаметилентетраммоний.

В 1-литровую круглодонную колбу помещают 67 г (0,5 моля) 2-хлорметилтиофена, 400 мл хлороформа и 70 г (0,5 моля) гексаметилентетрамина. Колбу снабжают обратным холодильником и смесь поддерживают при слабом кипении в течение получаса. Затем ее охлаждают и фильтруют через воронку Бюхнера. Осадок промывают холодным хлороформом (100 мл), тщательно отсасывают, а затем сушат на воздухе. Выход препарата, получающегося в виде бесцветного порошка, составляет 128-136 г (94-99% теоретич.).

#### $\alpha$ -Тиофеновый альдегид.

Соль гексаметилентетраммония помещают в 2-литровую круглодонную колбу, которая содержит 400 мл теплой воды. Колбу приспособляют для перегонки с водяным паром и пропускают последний до тех пор, пока не отгонится весь альдегид (прим. 1). Затем дистиллят охлаждают, прибавляют к нему 10 мл 6 н. уксусной кислоты (прим. 2) и альдегид экстрагируют двумя порциями эфира по 100 мл.

Эфирный раствор сушат над безводным хлористым кальцием, после чего эфир отгоняют на паровой бане, продолжая эту операцию до тех пор, пока объем раствора не уменьшится приблизительно до 50 мл. Затем раствор помещают в колбу Клайзе на емкость 100 мл; эфир отгоняют, после чего альдегид перегоняют в вакууме. Собирают фракцию с т. кип.  $89-91^{\circ}$  (21 мм);  $n_D^{20}$  1,5880. Выход составляет 27-30 г (48-53% теоретич.). Вещество получается в виде бесцветной маслянистой жидкости, которая при стоянии медленно темнеет (прим. 3).

**Примечания:**

1. Чтобы собрать весь тиофеновый альдегид, приходится отогнать около 1500 мл дестиллата.
2. Уксусную кислоту прибавляют для удаления следов аминов, которые отгоняются при перегонке с водяным паром. Такой метод очистки приходится применять ввиду значительной растворимости продукта присоединения бисульфита натрия к тиофеновому альдегиду.
3. Если альдегид предполагают сохранять в течение некоторого времени, то рекомендуется прибавить к нему небольшое количество гидрохинона.

**$\alpha$ -Нафтойный альдегид**

Лучшим способом получения  $\alpha$ -нафтойного альдегида является реакция Соммле. Исходными веществами в этом случае являются  $\alpha$ -хлор- или  $\alpha$ -бромметилнафталин и уротропин; процесс ведут в водно-спиртовом растворе или в растворе ледяной уксусной кислоты. Указанная методика улучшена и в приведенной ниже прописи применением в качестве растворителя 50%-ной уксусной кислоты.

Внимание! Следует соблюдать осторожность и избегать соприкосновения с 1-хлорметилнафталином, который обладает слезоточивым, и нарывным действием, а также с альдегидом, который, по-видимому, обладает теми же свойствами, но в меньшей степени.

В 1-литровую колбу, снабженную обратным холодильником, помещают 106 г (0,6 моля) 1-хлорметилнафталина (прим. 1), 168 г (1,2 моля) уротропина, 250 мл ледяной уксусной кислоты и 250 мл воды. Смесь кипятят с обратным холодильником в течение 2 час. Примерно через 15 мин раствор становится гомогенным, после чего начинается выделение масла. После кипячения в течение указанного времени к смеси прибавляют 200 мл концентрированной соляной кислоты и кипячение продолжают в течение еще 15 мин. (прим. 2). По истечении этого времени смесь охлаждают, а затем экстрагируют эфиром (300 мл); эфирный слой промывают три раза водой, порциями по 100 мл, затем 10%-ным раствором соды, порцией в 100 мл (прим. 3), и вновь водой (100 мл). Эфирные вытяжки сушат над 15 г безводного сернокислого натрия, фильтруют и эфир отгоняют. Оставшуюся жидкость перегоняют в вакууме, собирая дистиллят при  $105-107^{\circ}$  (0,2 мм) [ $160-162^{\circ}$  (18 мм)] (прим. 4). Выход бесцветного  $\alpha$ -нафтойного альдегида, застывающего между 0 и  $2,5^{\circ}$  (прим. 5), составляет 70-77 г. (75-82% теоретич.).

**Примечания:**

1. Температура плавления применявшегося хлорметилнафталина была равна  $24-26^{\circ}$ . Можно применять препарат и с более низкой температурой плавления, но в этом случае выход соответственно падает; например, из хлорметилнафталина с т. пл.  $15-18^{\circ}$  был получен  $\alpha$ -нафтойный альдегид с выходом 73%, причем вещество оказалось не вполне чистым. Проверившие синтез нашли, что неочищенный хлорметилнафталин можно применять с хорошими результатами. В соответствии с приведенными указаниями нафталин, параформальдегид и соляную и фосфорную кислоты кипятят с обратным холодильником. После того, как не-

очищенный препарат будет промыт водой, 10%-ным раствором поташа и вновь водой, его растворяют непосредственно в 500 мл ледяной уксусной кислоты, разбавленной 500 мл воды, и обрабатывают с помощью описанного выше способа гексаметилентетрамином. Общий выход почти бесцветного  $\alpha$ -нафтольного альдегида составляет 162 г; т. кип. 162-164° (18 мм);  $n_D^{25}$  1,6503 (выход составляет 52%, считая на нафталин).

1. В случае использования указанного способа получения лучше всего применять в качестве холодильника при удалении непрореагировавшего нафталина трубку большого диаметра. После отгонки нафталина эту трубку заменяют обыкновенным холодильником и нафтольный альдегид перегоняют так, как это делают обычно.
2. Различные амины и альдегиды, имеющиеся в реакционной смеси, вступают в реакцию с образованием шиффовых оснований. Если последние не гидролизовать сильной кислотой, то они будут загрязнять конечное вещество.
3. Следует соблюдать осторожность во время промывания раствора содой, так как при этом выделяется некоторое количество углекислого газа.
4. Бурый остаток от перегонки содержит некоторое количество метилен- $\alpha$ -нафтилметиламина.
5. Температура плавления  $\alpha$ -нафтольного альдегида, указанная Стефеном (33-34°), очевидно, неправильна. Температура замерзания образца, очищенного через бисульфитное соединение и затем перегнанного, была равна 2,5°. При проверке синтеза ни разу не удалось получить совершенно бесцветный препарат, несмотря на многократные перегонки с применением обычных лабораторных перегонных приспособлений.

#### Бензальдегид

В колбу снабженную эффективной мешалкой помещают 50 г (0,35 моль) уротропина, 150 мл уксусной к-ты, 150 мл воды и 50 г (0,3 моль) бензилбромида. Перемешивают около часа, а затем кипятят еще 2-3 часа. Добавляют 100 мл конц. HCl и кипятят еще 30 минут. Затем охлаждают и экстрагируют эфиром. Эфирные вытяжки промывают р-ром соды и один раз водой. Сушат сульфатом магния и отгоняют эфир. Затем в ту же колбу приливают воды и перегоняют бензальдегид с водяным паром. Выход 21 г (67% от теор.).

#### Фенилацетальдегид

Смесь 30 г (0,16 моль) фенетилбромида, 28 г (0,2 моль) уротропина, 100 мл уксусной к-ты и 100 мл воды кипятят 4 часа. Добавляют 50 мл конц. HCl и кипятят еще 10 минут. Затем экстрагируют эфиром, промывают, сушат и отгоняют эфир на водяной бане. Оставшееся красное масло заливают раствором бисульфита, тщательно растирают и промывают аддукт эфиром. Затем разлагают щелочью и перегоняют альдегид с паром. Выход 11 г (55% от теор.). Т.пл.=-10 С, Т.кип.=195 С;  $d=1,027$ ;  $n_D^{20}=1,5290$ .

#### Гексаналь<sup>20</sup>

42 г (0,3 моль) уротропина растворяют в смеси 100 мл уксусной к-ты и 100 мл воды и добавляют 41 г (0,25 моль) бромистого гексила. Кипятят 2 часа, затем добавляют 50 мл конц. HCl и кипятят еще 10 минут. Затем экстрагируют эфиром, промывают, сушат и отгоняют эфир на водяной бане. Альдегид перегоняют в интервале 136-140 С. Повторная дистилляция дает 10,8 г (55% от теор.) гексанала

<sup>20</sup> Каприловый альдегид, - применяется в синтезе оливетола.

с Т.кип.=131-132 С.  $d=0,834$ ;  $n_D^{20}=1,4035$ .

=====

### Формилирование через реактивы Гриньяра

#### Реакция с этоксиметиленанилином

Приготавливают реактив Гриньяра из 15 г п-бромтолуола в 100 мл эфира к которому по каплям при комнатной температуре добавляют 13.4 г этоксиметиленанилина в 30 мл эфира. Затем смесь кипятят 30 мин, после чего разлагают льдом и HCl, и кипятят ещё 30 мин для гидролиза образовавшегося анила. Перегонка с паром в атмосфере CO<sub>2</sub> дает продукт, который экстрагируют эфиром и очищают обычным образом. Выход п-толуальдегида - 16.2 г, 82%

#### Реакция с этилортоформиатом.

К реактиву Гриньяра, приготовленному из 20.8 г п-бромтолуола и 3.3 г магния в эфире, добавляют 22 г этилортоформиата и кипятят 5 ч. Эфир отгоняют, и при почти полном его удалении происходит энергичная реакция, поэтому для ее замедления сосуд быстро погружают в ледяную баню. Смесь оставляют на ночь, а затем добавляют 50 г льда и 125 мл 5M HCl, упаривают Et<sub>2</sub>O и нагревают 30 мин в атмосфере CO<sub>2</sub>. П-толуальдегид выделяют в виде бисульфитного производного. Выход 20.3 г, 74%

=====

### 3-Метокси-4-метил-бензальдегид из толуальдегида

Есть несложный метод формилирования толуола, дающий смесь изомеров, в которой ~60% п-толуальдегида. Интересно было выяснить пригодность этой смеси для синтеза ММА по известному [1] методу через 4-метил-3-метокси-БА.

Описаны две очень похожие методики получения 4-метил-3-метокси-БА из нитротолуальдегида [2,3] (восстановление SnCl<sub>2</sub>, диазотирование, термическое разложение соли диазония в воде и метилирование Me<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Обе базируются на описанных в Organic Syntheses процедурах для получения м-гидрокси-БА [4] и м-метокси-БА [5]. К методикам там даны ценные примечания, которых нет в статьях. У метода есть недостаток: необходима кристаллизация промежуточных продуктов (соли амина и соли диазония), иначе высокая концентрация Cl<sup>-</sup> в р-ре во время разложения соли диазония приведет к образованию значительного количества хлор-БА. Восстановление SnSO<sub>4</sub> в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> могло бы эту проблему решить, но оно не описано. (Получение и очистку солей олова см. в [6].)

Обсуждался и вариант, где нитрогруппу восстанавливают дитионитом (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, тех. название - гидросульфит натрия [7] (не путать с бисульфитом!)).

Нитрование БА KNO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> описано [8]. Метод применим к толуальдегиду [9]. Нитровали и нитрующей смесью [10], но ее состав подразумевает использование дымящей HNO<sub>3</sub>.

### Результаты и обсуждение

Нитрование смеси толуальдегидов KNO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> по [8] с высоким выходом дало

смесь нитротолуальдегидов, практически неразличимых по ТСХ. Выделение 4-метил-3-нитро-БА кристаллизацией также оказалось малоэффективным (26% на исходный альдегид, 43% от предполагаемого выхода) и трудоемким, хотя здесь возможны усовершенствования.

Было четко установлено, что для успешного получения 3-гидрокси-4-метил-БА необходимо исходить из чистого 4-метил-3-нитро-БА, т.к. смесь гидроксиальдегидов трудноразделима. Для восстановления необходимо брать минимальный (неск. %) избыток соли олова (II). Точное измерение количества возможно, если реагент чист, либо оттитрован. Без кристаллизации солей амина и диазония можно обойтись, если после восстановления удалить из р-ра хлорид-ион соупариванием с разб.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (возможность применения  $\text{SnSO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$  не исследовалась); тогда выход растёт с 60% [2] до 70%. Метилирование гидроксиальдегида ( $\text{DMS} / \text{aq. NaOH}$ ) даёт 90%-ный выход продукта, как и описано.

Методика получения 1-(4-метил-3-метоксифенил)-2-нитропропена из [1] требует значительного расхода  $\text{EtNO}_2$  (20 мл/г альдегида), поэтому конденсацию проводили более экономно (2 мл  $\text{EtNO}_2$  / г альдегида), с кат.  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  в  $\text{AcOH}$ . Кристаллизацией был выделен чистый нитропропен с выходом 67% (еще на ~10% можно рассчитывать после хроматографии остатка, лит. [1]: выход 83.5%).

Восстановление нитропропена пока не проводилось.

#### Экспериментальная часть

$\text{KNO}_3$ : FW 101.11

$\text{MePhCHO}$ : FW 120.15

4- $\text{Me}_3\text{-NO}_2\text{PhCHO}$ : FW 165.15, м.п. 47 °C

$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : FW 225.65, м.п. 37.7 °C; anhydr. FW 189.62, м.п. 247 °C

$\text{NaNO}_2$ : FW 69.00

3- $\text{HO-4-MePhCHO}$ : FW 136.15, м.п. 73 °C

3- $\text{MeO-4-MePhCHO}$ : FW 150.18, м.п. 45-46 °C

3- $\text{MeO-4-MeP}_2\text{NP}$ : FW 207.23, м.п. 52 °C

#### Нитрование смеси

##### о- и п-толуальдегида

В 3-хгорлую круглодонную колбу на 250 мл поместили конц.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (75 мл), и при перемешивании магнитной мешалкой порциями прибавили растертый  $\text{KNO}_3$  (20.3 г, 0.201 моль). После полного растворения смесь охладил до ~-10 °C и прибавляли по каплям при перемешивании смесь изомеров толуальдегида (20.88 г, 0.174 моль), поддерживая температуру 0...+5 °C. После прибавления ~5 мл альдегида реакционная смесь практически затвердевает и за счет теплоты кристаллизации температура поднимается до +7 °C. После прибавления конц.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (25 мл) перемешивание снова становится возможным, и оставшийся альдегид прибавляют при +4...+6 °C. Общее время прибавления - 50 мин. Смесь перемешивали при 0...+6 °C еще 1.5 ч, вылили в лед с водой (250 мл) и экстрагировали хлороформом. Экстракт промывали 10%-ным р-ром  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (водный слой окрашен в ярко-оранжевый цвет), сушили фильтрованием через слой смеси  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  с силикагелем (большая часть окрашенных примесей сорбируется), смывали с фильтра остатки продукта хлороформом и упаривали фильтрат досуха на ротаторном испарителе. Из полученного масла удаляли остатки растворителя в вакууме масляного насоса. Получили 28.8 г продукта (колич.), не затвердевающего при стоянии в холодильнике (+4 °C). Низкотемпературная (-40 °C) кристаллизация из  $\text{MeOH}$  (80 мл) дала 11.4 г (40%) слегка желтоватых кристаллов с т.пл. 35-39 °C. Попытка получить из маточного р-ра следующую порцию кристаллов дала вещество, плавящееся ниже

комнатной температуры, поэтому его снова растворили, объединили с маточником, упарили и получили 17.0 г маслообразной смеси изомеров.

Перекристаллизацией твердой фракции из смеси эфира и петролейного эфира получили чистый 4-метил-3-нитро-БА с т.пл. 46-47 °С (7.35 г, 26%). Упаривание маточного р-ра и кристаллизация остатка дали еще ~2 г продукта с т.пл. 36-40 °С.

Попытка получения  
3-гидрокси-4-метил-БА  
из смеси изомерных  
нитротолуальдегидов

Дигидрат хлорида олова (II) (77.6 г, 1.1 eq., советский) растворили в конц. HCl (102 мл). Осталось на вид несколько граммов аморфного осадка (основные соли олова (IV)?). Полученную суспензию при перемешивании от руки прибавили к некристаллизующейся смеси нитротолуальдегидов (17.0 г). Через несколько минут перемешивания - все ускоряющееся нагревание. Чтобы избежать вскипания, 2 раза по 1/2 мин охлаждали под струей воды. Альдегид растворился. Температура 78 °С. Смесь красно-оранжевая, слегка мутная, но капель не видно. Возник вопрос о полноте восстановления (а вдруг остался арилгидроксиламин, растворимый в водной кислоте). Как определить - решения не было. Добавили еще  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (7.0 г, 0.1 eq.) - растворилось без признаков реакции. Дали остыть (20 мин), затем охладили ниже 0 °С, стимулирование кристаллизации не дало результата. Охлаждение сильнее, жидким азотом - выпадает что-то аморфное, ниже нуля растворяется. Скверно, раз соль амина не кристаллизуется - придется диазотировать всю смесь вместе с избытком  $\text{SnCl}_2$ . К холодной смеси прибавляли по каплям р-р  $\text{NaNO}_2$  (7.1 г, 1 eq.) в минимальном объеме воды при перемешивании, поддерживая температуру ниже +5 °С за 45 мин (если быстрее - выделяются нитрозные газы, т.е. часть реагента теряется); выпадал красно-бурый осадок соли диазония. Прибавили еще 1.0 г  $\text{NaNO}_2$  в виде р-ра. Перемешивали при +4...+6 °С 1 ч 10 мин, затем, не отогревая, отфильтровали осадок на воронке с фильтрующим дном. Количество явно меньше ожидаемого. Нагрели в литровом стакане 250 мл воды до кипения и при перемешивании порциями прибавляли к ней соль диазония, суспендированную в небольшом количестве воды (если прибавлять твердую, сбивается в комок и не контактирует с водой). Выделялся азот, всплывало темное масло. Когда выделение азота прекратилось, охладили и экстрагировали несколько раз хлороформом. Экстракты фильтровали через смесь силикагеля с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (смолы, вода и часть окрашенных примесей удаляются), промывали фильтр хлороформом и экстракты упаривали. Остаток - темные кристаллы (фракция 1).

Фильтрат после отделения соли диазония нагревали до прекращения выделения азота и обрабатывали аналогичным образом. Получено темное масло (фракция 2), содержащее, вероятно, смесь гидрокси- и хлоральдегидов, поскольку здесь соль диазония разлагалась в солянокислой среде. Это подтверждается и ТСХ (хлороформ - ацетон 19:1 v/v, обнаружение под УФ светом и проявление альдегидов р-ром ДНФГ): помимо группы гидроксиальдегидов с  $R_f < 0.5$ , присутствующих и в 1-й фракции, есть пятно с  $R_f \sim 0.7$ . Обе фракции (из твердой соли диазония и из р-ра) отдельно очищали кислотнo-щелочной экстракцией: встряхивали с 10%-ным водным NaOH и PhMe, водный слой отделяли, подкисляли AcOH, экстрагировали 3 раза PhMe, экстракты фильтровали через смесь силикагеля с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , элюировали остатки вещества с фильтра 20%-ным EtOAc в PhH и упаривали. Из фракции 1 получилось 1.4 г частично кристаллического вещества, из фракции 2 - 1.5 г масла, все красно-бурого цвета. Из обеих фракций после растворения в PhH и прибавления петролейного эфира удастся получить кристаллы, всего 0.6 г, по ТСХ - смесь двух альдегидов. В маточном р-ре как минимум, три альдегида и несколько

неальдегидных примесей.

#### Очистка $\text{SnCl}_2$

Долго хранившийся, окисленный дигидрат  $\text{SnCl}_2$  (60 г) при нагревании ( $40^\circ\text{C}$ ) растворяют в воде (25 мл) с добавкой конц.  $\text{HCl}$  (1 мл), фильтруют через целит от основных солей и упаривают в вакууме до начала кристаллизации. Охлаждение р-ра холодной водой ( $10^\circ\text{C}$ ) должно приводить к образованию кашицы из кристаллов. Если смесь затвердевает, нужно добавить немного воды, нагреть до растворения и повторно охладить. Дигидрат  $\text{SnCl}_2$  отфильтровывают с отсасыванием и тщательно отжимают на фильтре. Из маточного р-ра после упаривания и охлаждения получают еще 1-2 порции кристаллов. Их сушат в вакуум-эксикаторе над  $\text{NaOH}$  1 сутки (дигидрат частично обезвоживается) и завершают обезвоживание (до постоянной массы) при осторожном нагревании в вакууме масляного насоса, не допуская плавления. Выход зависит от чистоты исходного вещества (можно надеяться на 60-75%).

#### 3-Гидрокси-4-метил-БА

К чистому (т.пл.  $46-47^\circ\text{C}$ ) 4-метил-3-нитро-БА (7.35 г) при энергичном перемешивании прибавили р-р чистого безводного  $\text{SnCl}_2$  (26.76 г) в конц.  $\text{HCl}$  (40 мл) и перемешивали при охлаждении проточной водой до полного растворения альдегида (реакция сильно экзотермическая, идет с самоускорением, и в конце смесь закипает). После остывания до  $\sim 50^\circ\text{C}$  смесь поместили в охлаждающую баню и перемешивали при  $0^\circ\text{C}$ . Через  $\sim 20$  мин происходит кристаллизация комплексной соли аминокальдегида. В отличие от оригинальной методики, соль не отделяли. Вместо этого к смеси прибавили раствор конц.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (22 мл) в воде (40 мл), упарили в вакууме для удаления  $\text{HCl}$  (баня  $60^\circ\text{C}$ ), дважды соупарили в вакууме с водой (100 мл), довели объем р-ра до 100 мл прибавлением воды, охладили до  $0^\circ\text{C}$  и при перемешивании по каплям прибавили р-р  $\text{NaNO}_2$  (3.7 г) в воде ( $\sim 10$  мл), поддерживая температуру  $0-5^\circ\text{C}$ , за 15 мин. Выпадает буроватый осадок соли диазония. Перемешивали при этой температуре еще 20 мин (в р-ре присутствует избыток  $\text{HNO}_2$ ), прибавили мочевины (1 г) и перемешивали еще 15 мин. Полученную смесь при сильном перемешивании вылили в 1-л стакан с 300 мл воды, нагретой до кипения, с такой скоростью, чтобы образующаяся пена успевала оседать. Остатки соли диазония смывали в стакан водой. Реакционную смесь перемешивали при нагревании до прекращения выделения азота ( $\sim 15$  мин), затем охладили до комнатной температуры и экстрагировали продукт хлороформом (6х30 мл). Экстракты сушили фильтрованием через слой смеси  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  с силикагелем на воронке с фильтрующим дном, элюировали остатки продукта хлороформом (темно-окрашенные примеси в основном остаются на силикагеле) и упаривали в вакууме. Получили бурые кристаллы (5.96 г). Сырой продукт хроматографировали на колонке с силикагелем в градиенте 20% петролейного эфира в  $\text{PhH}$  - 20%  $\text{EtOAc}$  в  $\text{PhH}$ . Полученные после упаривания растворителя светло-коричневые кристаллы (5.10 г) перекристаллизовали из смеси  $\text{PhH}$  - петролейный эфир (10+11 мл) при охлаждении холодной водой ( $10^\circ\text{C}$ ). Получили бежевые кристаллы продукта (4.26 г, 70%), т.пл.  $74-75^\circ\text{C}$ .

#### 4-Метил-3-метокси-БА

К р-ру  $\text{NaOH}$  (1.9 г) в воде (25 мл) прибавили 3-гидрокси-4-метил-БА (4.25 г) и перемешивали до полного растворения, после чего по каплям при перемешивании прибавляли диметилсульфат (4.5 мл) за 8 мин (температура растет до  $\sim 30^\circ\text{C}$ ) и продолжали перемешивание при комнатной температуре ( $16^\circ\text{C}$ ). Через 45 мин мас-

лообразный органический слой кристаллизуется. Перемешивали еще 15 мин, экстрагировали продукт бензолом, промывали экстракты 2М р-ром NaOH (3x8 мл), сушили фильтрованием через слой смеси Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с силикагелем, элюировали остатки продукта хлороформом и упаривали в вакууме. Из водной фазы реакционной смеси и щелочных экстрактов после подкисления, экстракции хлороформом и упаривания выделили 0.36 г исходного вещества. Его повторно метилировали (0.4 г NaOH в 3 мл воды, 0.9 мл диметилсульфата, 1.5 ч) и получали дополнительное количество продукта. Всего получено 4.77 г сырого 4-метил-3-метокси-БА, который очищали низкотемпературной (-18 °С) кристаллизацией из петролейного эфира. Получили 4.24 г (90%) почти бесцветных кристаллов с т.пл. 43.5-44.5 °С, индивидуальных по ТСХ.

#### 1-(4-Метил-3-метоксифенил)-2-нитропропен

К р-ру 4-метил-3-метокси-БА (1.89 г) в ледяной AcOH (9.5 мл) прибавили EtNO<sub>2</sub> (3.8 мл) и ChNH<sub>2</sub> (0.95 мл) и перемешивали при 100 °С (температура бани) до исчезновения исходного альдегида по ТСХ (PhH - петролейный эфир 3:1 v/v, проявляли 0.5% р-ром ДНФГ в разб. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), на что потребовалось 5 ч. Наряду с нитропропеном образуется заметное количество побочных продуктов с низким R<sub>f</sub> (обнаружение в УФ свете). Смесь упарили в вакууме, соупарили с PhMe, остаток растворили в смеси PhH - петролейный эфир 3:1, промыли водой 3 раза, фильтровали через слой смеси силикагеля с Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, смывали остатки продукта с фильтра смесью PhH - петролейный эфир 3:1 и упарили р-р в вакууме. Остаток (желтое масло) кристаллизовали из MeOH (10 мл). После кристаллизации основной массы продукта р-р выдерживали при -18 °С. Получили 1.36 г продукта. Из маточного р-ра повторной кристаллизацией удается выделить еще 0.40 г, общий выход 1.76 г (67%), т.пл. 52.5-53 °С.

#### Литература:

1. M. P. Johnson, S. P. Frescas, R. Oberlender, and D. E. Nichols. J. Med. Chem., 1991, 34, 1662-1668: "Benzofuran, indan and tetralin analogues of MDA. -Nemesis" (Serious Chemistry).
2. H. Fukumi, H. Kurihara, H. Mishima. Chem. Pharm. Bull., 26(7) (1978) 2175-2180: "3-methoxy-4-methylbenzaldehyde".
3. W. Flitsch, P. Russkamp und W. Langer. Liebigs Ann. Chem., (7), 1413 (1985): "3-метокси-4-метилбензальдегид (перевод)".
4. "Синтезы органических препаратов", сб. III, с. 363.
5. "Синтезы органических препаратов", сб. IV, с. 331.
6. Ю. В. Карякин, И. И. Ангелов, "Чистые химические вещества", изд. 4-е, М.: Химия, 1974, сс. 295, 297, 298.
7. "Benzaldehydes: from nitro to hydroxy in one step!".
8. "Препаративная органическая химия", изд. 2-е, М.: Госхимиздат, 1964, с. 231.
9. L. Gattermann, Liebigs Ann. Chem., 347, 354 (1906).
10. Patent US1509412; Organic Syntheses, CV 3, 644; Синтезы органических препаратов, сб. IV, с. 183.



## ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОНИКУ

### Дригалкин В. В.

#### Макетные платы

Макетная плата предназначена для тестовой сборки устройства, его наладки и проверки. Платы такого типа бывают двух видов: для монтажа посредством пайки (Рис. 1) и без таковой (Рис. 2). Первая разновидность представляет собой стеклотекстолит с различными контактами, второй – пластмассовую платформу с гнездами.

В качестве платы первого вида очень удобной представляется самодельная макетная плата из стекла и медной фольги: из медной фольги вырезают небольшие квадратные кусочки – контактные площадки, капают на кусок оконного стекла каплю клея БФ-2, прижимают к капле кусочек фольги и нагревают его паяльником. Затем все контактные площадки залуживают припоем.

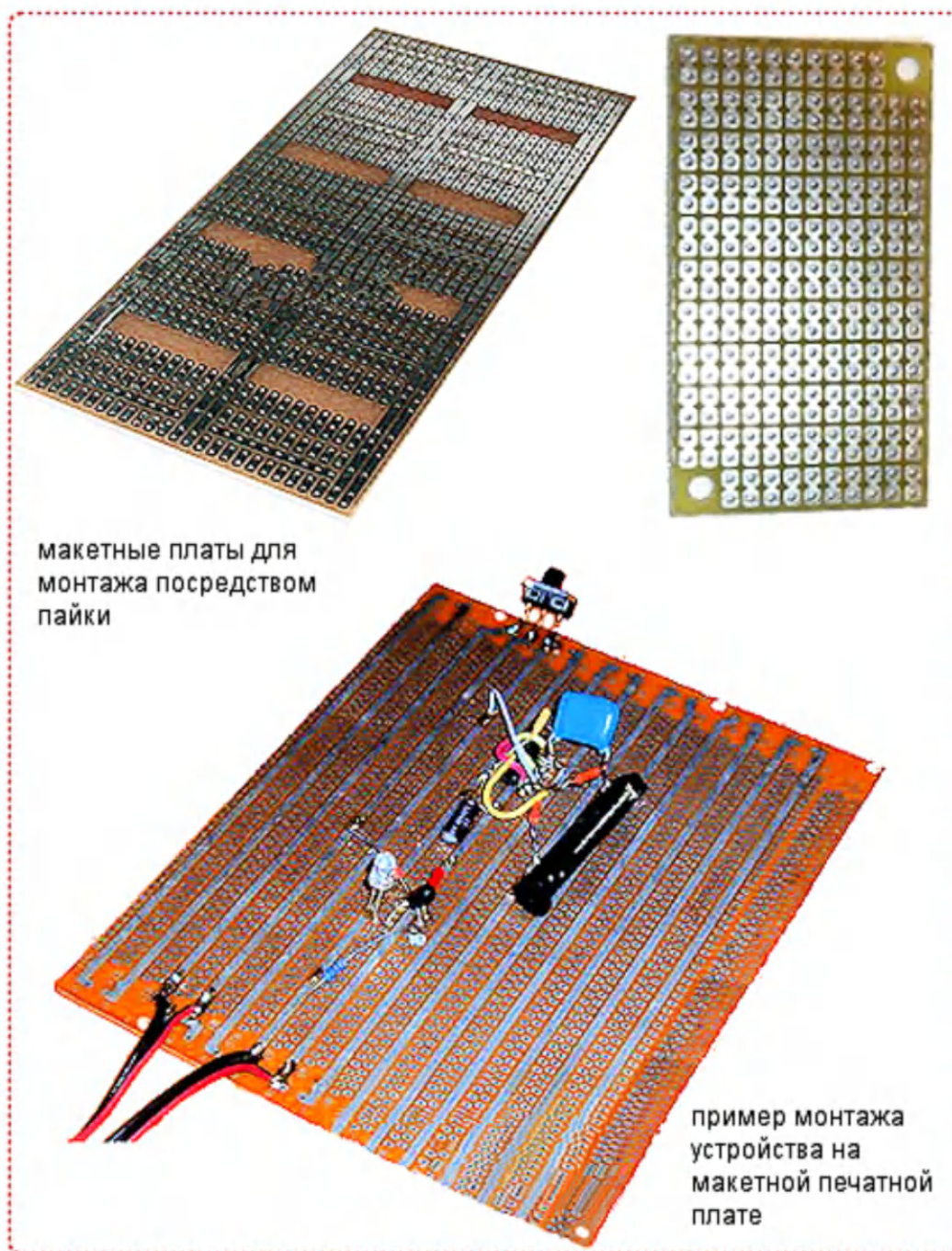
Макетную плату второго вида придется покупать.

В современных макетных платах с пластмассовой платформой имеются множества отверстий, электрически связанных между собой, например, с помощью металлических полосок. Выводы радиодеталей и микросхем вставляются в эти отверстия, а затем соединяются перемычками – кусочками зачищенных проводов. Длинные ряды контактов сверху, посередине и внизу платы – шины питания (Рис. 2). Они служат для соединения многочисленных точек схемы с источником питания и землей. Под каждым отверстием расположены упругие контакты специальной формы, обычно из никелевых сплавов для обеспечения высокой проводимости и долговечности соединений.

Расстояние между отверстиями составляет 2,54 мм, что является стандартным расстоянием между выводами большинства транзисторов и микросхем в DIP-корпусах (резисторы, конденсаторы и другие радиодетали обычно имеют гибкие длинные выводы, которые можно установить куда угодно). Для некоторых микросхем в миниатюрных корпусах для поверхностного монтажа производятся платы-

модули, позволяющие устанавливать их без пайки в предназначенные для DIP-компонентов макетные платы. На многих платах для удобства работы нанесена координатная сетка.

DIP (Dual In-line Package, также DIL) – тип корпуса микросхем, микросборок и некоторых других электронных компонентов. Имеет прямоугольную форму с двумя рядами выводов по длинным сторонам.

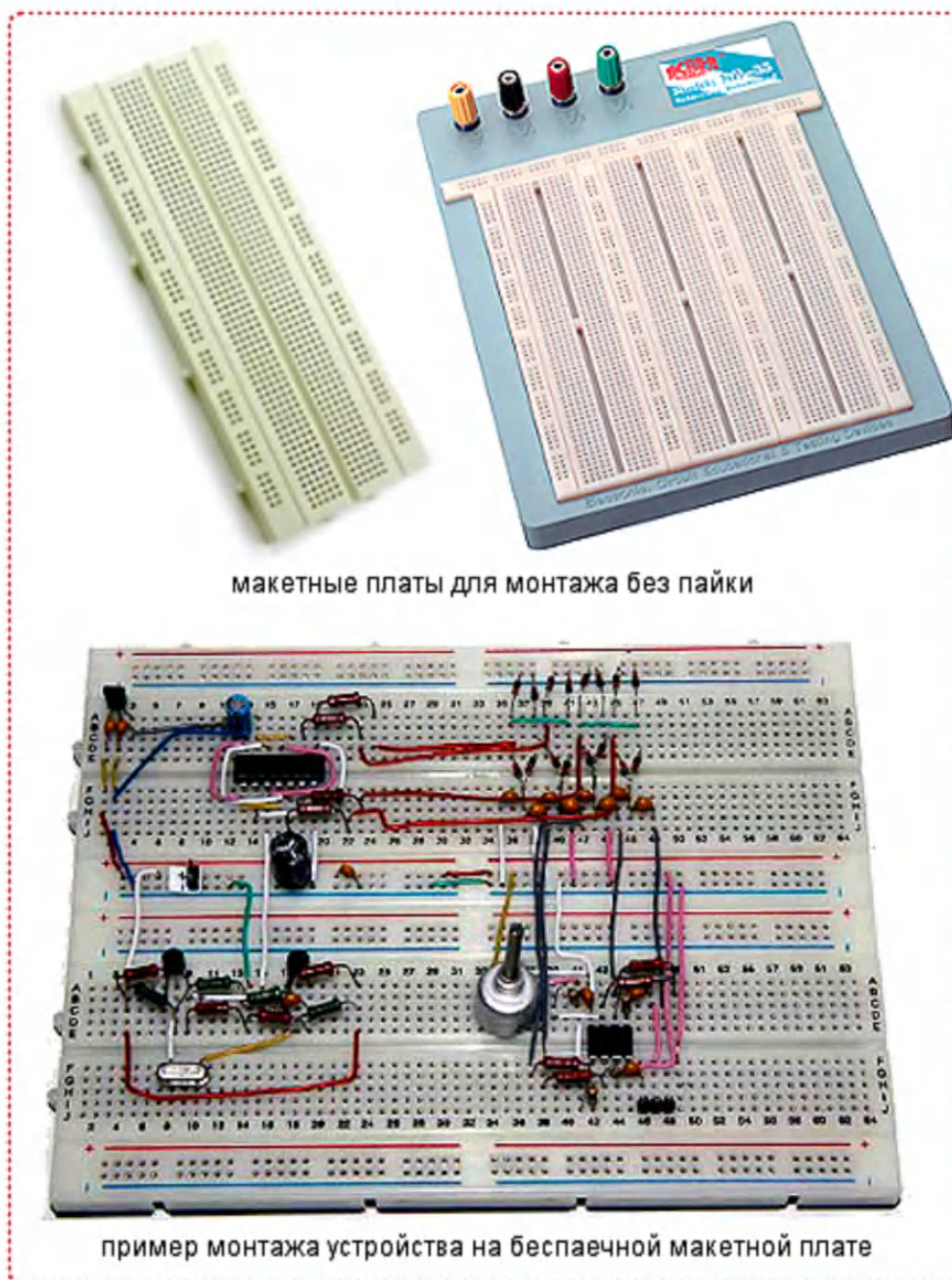


макетные платы для  
монтажа посредством  
пайки

пример монтажа  
устройства на  
макетной печатной  
плате

Рис.1. Макетные платы под пайку и пример монтажа на них.

Для простых экспериментов достаточно и самой простой платы, но, если отсутствие разъемов для питания можно пережить, то отсутствие алюминиевой подложки (которая входит в комплектацию более продвинутых плат и приклеивается с обратной стороны) – очень большой минус. При отладке аналоговых схем, если подложки нет или она не заземлена (подключена к общему проводу), возникают паразитные связи, наводки, что мешает правильной наладки устройства.



макетные платы для монтажа без пайки

пример монтажа устройства на беспаячной макетной плате

Рис.2. Макетные платы без пайки и пример монтажа на них.

Желательно не пропускать этап тестирования схемы на макетной плате. Часто, немного "поиграв" номиналами элементов, из которых состоит схема, можно значительно улучшить ее параметры. На беспаячной макетной плате изменения подобного рода легко выполнить, просто заменив один радиоэлемент другим, без необходимости выпаивать один и впаивать другой.

### Печатные платы

Печатная плата – это кусок гетинакса или стеклотекстолита, который покрыт медной пленкой (фольгой). Именно эта пленка превращается позже в проводники. Данный материал бывает односторонним и двусторонним (см. Рис.1). Это значит, что в первом варианте медная пленка нанесена на одной стороне, а во втором – на двух. При разработке различных устройств пользуются обычно двумя способами изготовления печатных плат – прорезанием канавок и травлением рисунка, ис-

пользуя стойкую краску, лак или тонер лазерного принтера. Первый способ прост, но непригоден для выполнения сложных устройств. Второй – более универсален, но порой пугает сложностью из-за незнания некоторых правил при проектировании и изготовлении плат. Об этих правилах и пойдет далее речь.

Не так давно проектировали печатные платы в масштабе 1:1 на миллиметровке или другом материале, на котором нанесена сетка с шагом 5 мм (например, тетрадном листе). Теперь же на смену ручному рисованию пришло программное обеспечение. Но правила проектирования не изменились. Так, все отверстия под выводы деталей в печатной плате целесообразно размещать в узлах сетки, что соответствует шагу 2,5 мм на реальной плате. С таким шагом расположены выводы у большинства микросхем в пластмассовом корпусе, у многих транзисторов и других радиокомпонентов. Меньшее расстояние между отверстиями следует выбирать лишь в тех случаях, когда это крайне необходимо.

Сначала Вам надо примерно расставить детали. В первую очередь рисуете точки под выводы микросхемы, потом располагаете мелкие элементы – резисторы, конденсаторы, а далее более большие – реле и т.п. Их размещение обычно связано с общей конструкцией устройства, определяемой размерами имеющегося корпуса или свободного места в нем. Часто, особенно при разработке портативных приборов, размеры корпуса определяют по результатам разводки печатной платы. Иногда приходится рисунок печатных проводников перерисовывать несколько раз, чтобы получить желаемый результат – минимизацию и функциональность.

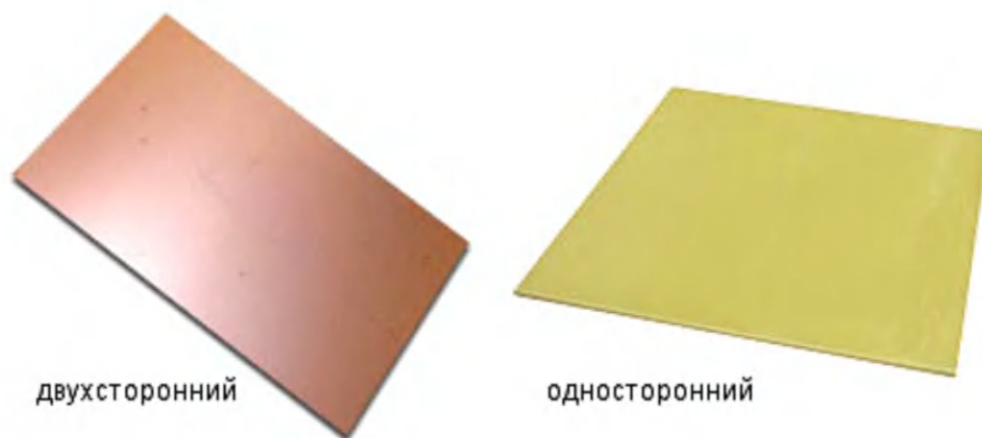


Рис. 1. Фольгированный стеклотекстолит или текстолит.

Если микросхем в вашей самоделке не более пяти, все печатные проводники обычно удастся разместить на одной стороне платы и обойтись небольшим числом проволочных перемычек, впаиваемых со стороны деталей. Попытки изготовить одностороннюю печатную плату для большего числа цифровых микросхем приводят к резкому увеличению трудоемкости разводки и чрезмерно большому числу перемычек. В этих случаях разумнее перейти к двусторонней печатной плате.

Условимся называть ту сторону платы, где размещены печатные проводники, стороной проводников, а обратную – стороной деталей, даже если на ней вместе с деталями проложена часть проводников. Особый случай представляют платы, у которых и проводники, и детали размещены на одной стороне, причем детали припаяны к проводникам без отверстий. Платы такой конструкции применяют редко. Микросхемы размещают так, чтобы все соединения на плате были по возможности короче, а число перемычек было минимальным. В процессе разводки проводников взаимное размещение микросхем приходится менять не раз.

Рисунок печатных проводников аналоговых устройств любой сложности обычно удается развести на одной стороне платы. Аналоговые устройства, работающие со

слабыми сигналами, и цифровые на быстродействующих микросхемах независимо от частоты их работы целесообразно собирать на платах с двусторонним фольгированием, причем фольга той стороны платы, где располагают детали, будет играть роль общего провода и экрана. Фольгу общего провода не следует использовать в качестве проводника для большого тока, например, от выпрямителя блока питания, от выходных ступеней, от динамической головки.

Далее можно начинать собственно разводку. Полезно заранее измерить и записать размеры мест, занимаемых используемыми элементами. Резисторы МЛТ-0,125 устанавливают рядом, соблюдая расстояние между их осями 2,5 мм, а между отверстиями под выводы одного резистора - 10 мм. Так же размечают места для чередующихся резисторов МЛТ-0,125 и МЛТ-0,25, либо двух резисторов МЛТ-0,25, если при монтаже слегка отогнуть один от другого (три таких резистора поставить вплотную к плате уже не удастся).

С такими же расстояниями между выводами и осями элементов устанавливают большинство малогабаритных диодов и конденсаторов; не надо размещать бок о бок две "толстые" (более 2,5 мм) детали, их следует чередовать с "тонкими". Если необходимо, расстояние между контактными площадками той или иной детали увеличивают относительно необходимого.

В этой работе удобно использовать небольшую пластину-шаблон из стеклотекстолита или другого материала, в которой с шагом 2,5 мм насверлены рядами отверстия диаметром 1...1,1 мм, и на ней примерять возможное взаимное расположение элементов.

Если резисторы, диоды и другие детали с осевыми выводами располагать перпендикулярно печатной плате, можно существенно уменьшить ее площадь, однако рисунок печатных проводников усложнится. При разводке следует учитывать ограничения в числе проводников, уместящихся между контактными площадками, предназначенными для подпайки выводов радиоэлементов. Для большинства используемых в конструкциях деталей диаметр отверстий под выводы может быть равен 0,8 мм. Ограничения на число проводников для типичных вариантов расположения контактных площадок с отверстиями такого диаметра приведены на Рис.2 (сетка соответствует шагу 2,5 мм на плате).

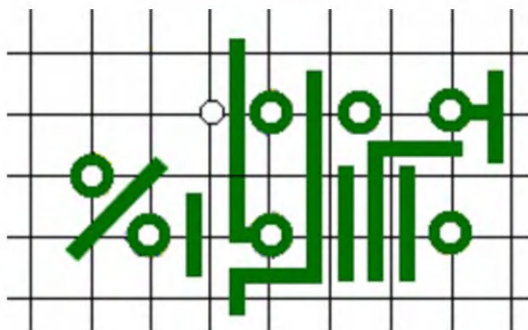


Рис.2. Типичные варианты расположения контактных площадок и отверстий на печатных платах.

Между контактными площадками отверстий с межцентровым расстоянием 2,5 мм провести проводник практически нельзя. Однако это можно сделать, если у одного или обоих отверстий такая площадка отсутствует (например, у неиспользуемых выводов микросхемы или у выводов любых деталей, припаиваемых на другой стороне платы). Такой вариант показан на Рис.2 посередине вверху. Вполне возможна прокладка проводника между контактной площадкой, центр которой лежит в 2,5 мм от края платы, и этим краем (Рис.2, справа).

При использовании микросхем, у которых выводы расположены в плоскости корпуса, их можно смонтировать, предусмотрев для этого соответствующие фольговые

контактные площадки с шагом 1,25 мм, однако это заметно затрудняет и разводку, и изготовление платы. Гораздо целесообразнее чередовать подпайку выводов микросхемы к прямоугольным площадкам со стороны деталей и к круглым площадкам через отверстия - на противоположной стороне (Рис. 3а, ширина выводов микросхемы показана не в масштабе). Плата здесь - двусторонняя.

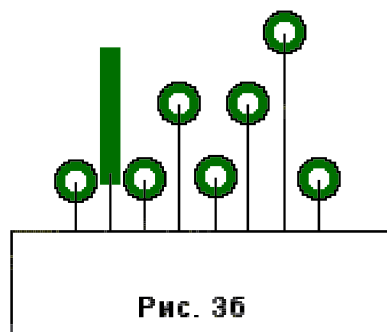
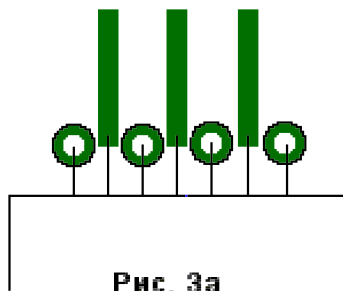


Рис.3. а - контактные площадки для микросхем в планарных корпусах; б - контактные площадки для микросхем с длинными выводами.

Подобные микросхемы, имеющие длинные выводы, можно монтировать так же, как пластмассовые, изгибая выводы и пропуская их в отверстия платы. Контактные площадки в этом случае располагают в шахматном порядке (Рис. 3б).

При разработке двусторонней платы надо постараться, чтобы на стороне деталей осталось по возможности меньшее число соединений. Это облегчит исправление возможных ошибок, налаживание устройства и, если необходимо, его модернизацию. Под корпусами микросхем проводят лишь общий провод и провод питания, но подключать их нужно только к выводам питания микросхем. Проводники к входам микросхем, подключаемым к цепи питания или общему проводу, прокладывают на стороне проводников, причем так, чтобы их можно было легко перерезать при налаживании или усовершенствовании устройства.

Если же устройство настолько сложно, что на стороне деталей приходится прокладывать и проводники сигнальных цепей, позаботьтесь о том, чтобы любой из них был доступен для подключения к нему и перерезывания.

При разработке двусторонних печатных плат нужно стремиться обойтись без специальных перемычек между сторонами платы, используя для этого контактные площадки соответствующих выводов монтируемых деталей; выводы в этих случаях пропаивают с обеих сторон платы. На сложных платах иногда удобно некоторые детали подпаивать непосредственно к печатным проводникам.

При использовании сплошного слоя фольги платы в роли общего провода отверстия под выводы, не подключаемые к этому проводу, следует раззенковать со стороны деталей. Обычно узел, собранный на печатной плате, подключают к другим узлам устройства гибкими проводниками. Чтобы не испортить печатные проводники при многократных перепайках, желательно предусмотреть на плате в точках соединений контактные стойки (удобно использовать штыревые контакты диа-

метром 1 и 1,5 мм). Стойки вставляют в отверстия просверленные точно по диаметру и пропаивают. На двусторонней печатной плате контактные площадки для распайки каждой стойки должны быть на обеих сторонах.

Предварительную разводку проводников удобно выполнять мягким карандашом на листе гладкой бумаги. Сторону печатных проводников рисуют сплошными линиями, обратную сторону - штриховыми, чтобы не путаться. По окончании разводки и корректировки чертежа под него кладут копировальную бумагу красящим слоем вверх и красной или зеленой шариковой ручкой обводят контуры платы, а также проводники и отверстия, относящиеся к стороне деталей. В результате на обратной стороне листа получится рисунок проводников для стороны деталей.

Далее следует вырезать из фольгированного материала заготовку соответствующих размеров и разметить ее с помощью штангенциркуля сеткой с шагом 2,5 мм. Кстати, размеры платы удобно выбрать кратными 2,5 мм - в этом случае размечать ее можно с четырех сторон. Если плата должна иметь какие-либо вырезы, их делают после разметки. Двустороннюю плату размечают со стороны, где проводников больше.

После этого фломастером размечают "по клеточкам" центры всех отверстий, накалывают их шилом и сверлят все отверстия сверлом диаметром 0,8 мм. Для сверления плат удобно пользоваться самодельной миниатюрной электродрелью. Такую дрель можно купить на радиорынке.

Обычные стальные сверла при обработке стеклотекстолита довольно быстро тупятся; затачивают их небольшим мелкозернистым бруском, не вынимая сверла из патрона. После сверления платы заусенцы с краев отверстий снимают сверлом большего диаметра или мелкозернистым бруском. Плату обезжиривают, протерев салфеткой, смоченной спиртом или ацетоном, после чего, ориентируясь на положение отверстий, переносят на нее нитрокраской рисунок печатных проводников в соответствии с чертежом. Для этого обычно используют стеклянный рейсфедер, но лучше изготовить простой самодельный чертежный инструмент. К концу обломанного ученического пера припаять укороченную до 10...15 мм инъекционную иглу диаметром 0,8 мм. Рабочую часть иглы надо зашлифовать на мелкозернистой наждачной бумаге.

В воронку инструмента каплями заливают нитрокраску и, осторожно взяв ее в губы, слегка дуют для того, чтобы краска прошла через канал иглы. После этого надо лишь следить за тем, чтобы воронка была наполнена краской не менее чем наполовину. Необходимую густоту краски определяют опытным путем по качеству проводимых линий. При необходимости ее разбавляют ацетоном или растворителем 647. Если же надо сделать краску более густой, ее оставляют на некоторое время в открытой посуде.

В первую очередь рисуют контактные площадки, а затем проводят соединения между ними, начиная с тех участков, где проводники расположены тесно. После того, как рисунок в основном готов, следует по возможности расширить проводники общего провода и питания, что уменьшит их сопротивление и индуктивность, а значит, повысит стабильность работы устройства. Целесообразно также увеличить контактные площадки, особенно те, к которым будут припаяны стойки и крупногабаритные детали. Для защиты больших поверхностей фольги от травильного раствора их заклеивают любой липкой пленкой. В случае ошибки при нанесении рисунка не торопитесь сразу же исправлять ее - лучше поверх неверно нанесенного проводника проложить правильный, а лишнюю краску удалить при окончательном исправлении рисунка (его проводят, пока краска не засохла). Острым скальпелем или бритвой прорежают удаляемый участок по границам, после чего его выскребают.

Специально сушить нитрокраску после нанесения рисунка не нужно. Пока вы исправляете плату, отмываете инструмент, краска просохнет.

## Травление печатных плат

Основным эффективным и безопасным материалом для травления печатных плат служит раствор хлорного железа. Для получения раствора нужно насыпать в стакан примерно 3/4 порошка хлорного железа и долить теплой водой. Для травления используйте стеклянную или пластмассовую посуду, например, фотографическую кювету. Положите плату в раствор рисунком вверх, вся поверхность платы должна быть залита раствором. Процесс травления ускоряется, если сосуд покачивать или подогревать. При травлении образуются ядовитые испарения, поэтому работайте либо в хорошо проветриваемом помещении, либо на открытом воздухе. Периодически проверяйте состояние платы, приподнимая ее для осмотра деревянными или пластмассовыми палочками, металлические инструменты и приспособления для этой цели применять нельзя. Убедившись в том, что фольга в незащищенных местах исчезла полностью, прекратите процесс травления. Поместите плату под струю проточной воды и тщательно промойте, после чего просушите ее при комнатной температуре.

Если вы собираетесь использовать раствор повторно, слейте его в плотно закрывающуюся посуду и храните в прохладном темном месте. Учтите, что при повторном использовании эффективность раствора снижается. При работе с раствором хлорного железа помните, что он не должен попадать на руки и другие открытые части тела, а также на поверхности ванн и раковин, поскольку на последних могут остаться трудно смываемые желтые пятна.

Раствор хлорного железа можно изготовить самостоятельно, если обработать железные опилки соляной кислотой. Возьмите 25 весовых частей 10-процентной соляной кислоты и смешайте с одной весовой частью железных опилок. Смесь в плотно закрытой посуде выдержите 5 суток в темном месте, после чего ее можно использовать. Переливая раствор в сосуд для травления, не взбалтывайте его: осадок должен остаться в той посуде, в которой раствор готовился. Длительность процесса травления платы в растворе хлорного железа зависит от концентрации раствора, его температуры, толщины фольги и обычно составляет 40-50 минут.

Растворы для травления плат можно приготовить не только на основе хлорного железа. Более доступным может оказаться для многих радиолюбителей водный раствор медного купороса и соли. Приготовить его нетрудно - растворите в 500 мл горячей воды 4 столовые ложки поваренной соли и 2 столовые ложки растолченного в порошок медного купороса. Если раствор применять сразу, его эффективность будет невысокой, она значительно повышается после выдержки раствора в течение двух-трех недель. Время травления платы в таком растворе - три часа и более.

Значительного сокращения времени травления можно добиться, используя растворы на основе кислот. Процесс травления платы в таком растворе длится всего 5-7 минут. Хорошие результаты дает применение раствора соляной кислоты и перекиси водорода. Для приготовления возьмите 20 частей (по объему) соляной кислоты плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup>, 40 частей аптечной перекиси водорода и 40 частей воды. Сначала воду смешайте с перекисью водорода, затем осторожно добавляйте кислоту. Хочу предупредить, что рисунок в этом случае надо делать нитрокраской.

Растворы на основе кислот заливайте в стеклянную или керамическую посуду, работайте с ними только в хорошо проветриваемых помещениях. И вообще будьте осторожны с кислотами! В моей практике был случай, когда банка с кислотой, про которую я напроць забыл, взорвалась в моей тумбочке с деталями, многие из них пришлось выбросить.



Рис.1. Хлорное железо и медный купорос.

Еще существует способ гальванического травления плат, но он скорее экзотический, чем применяемый на практике. Для этого потребуется источник постоянного тока напряжением 25-30 В и концентрированный раствор поваренной соли. При помощи зажима крокодил соедините положительный полюс источника с незакрашенными участками фольги платы, а к оголенному и свернутому в петлю концу провода, идущего от отрицательного полюса источника, прикрепите ватный тампон. Последний обильно пропитайте раствором соли и, слегка прижимая к фольге, перемещайте по поверхности платы, движение тампона должно напоминать вырисовывание цифры 8. Фольга при этом будет как бы "смываться". По мере загрязнения тампон меняйте.

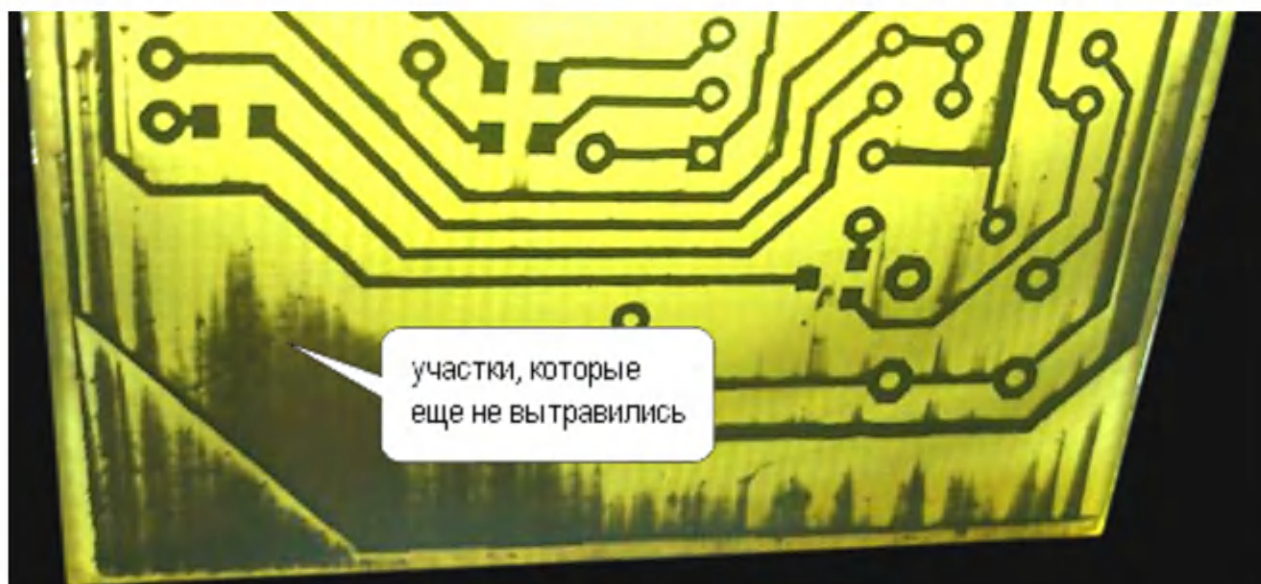


Рис.2. Травление платы: процесс не завершен.

На Рис.2 представлено фото платы, которую вытащили из раствора хлорного железа для проверки на завершение травления. Как видите, этот процесс еще не закончен, присутствуют не вытравленные участки. Когда они исчезнут, плата будет готова.

## Лужение печатных плат

После изготовления печатной платы медные контакты целесообразно, но не обязательно<sup>1</sup>, покрыть тонким слоем припоя. Этот процесс называется лужение. Лужение позволяет беспрепятственно припаять детали к проводникам платы. Если вы оставите проводники "как есть", медь будет со временем окисляться, что станет препятствием для надежной пайки. Вам придется снова зачищать контакты. Залудив плату один раз, далее можно паять, не задумываясь об окиси.

Существует несколько методов лужения печатной платы. Самый простой "пройтись" паяльником по дорожкам, размывая по ним припой. При этом рекомендуется не применять излишней силы и не перегревать дорожки, иначе они могут отойти от текстолита. Перед лужением не забудьте покрыть все дорожки платы, например, флюсом или раствором канифоли и спирта. Для изготовления последнего измельчите немного канифоли и размещайте со спиртом. Можно применить растворитель или ацетон. Теперь переходите к лужению.

Второй способ лужения позволяет добиться более качественного внешнего вида дорожек платы, но таковая получается не сразу. Качество приходит с опытом. Итак, способ лужения, о котором идет речь, использует сплавы Розе и Вуда (см. Рис.1). Последний имеет в своем составе кадмий, что делает его гораздо токсичнее. Многие предпочитают сплав Розе. Выбор мотивируют очень просто – привычка. В любом случае выбор сплава за вами. Хочу заметить, что сплав Вуда плавится лучше.



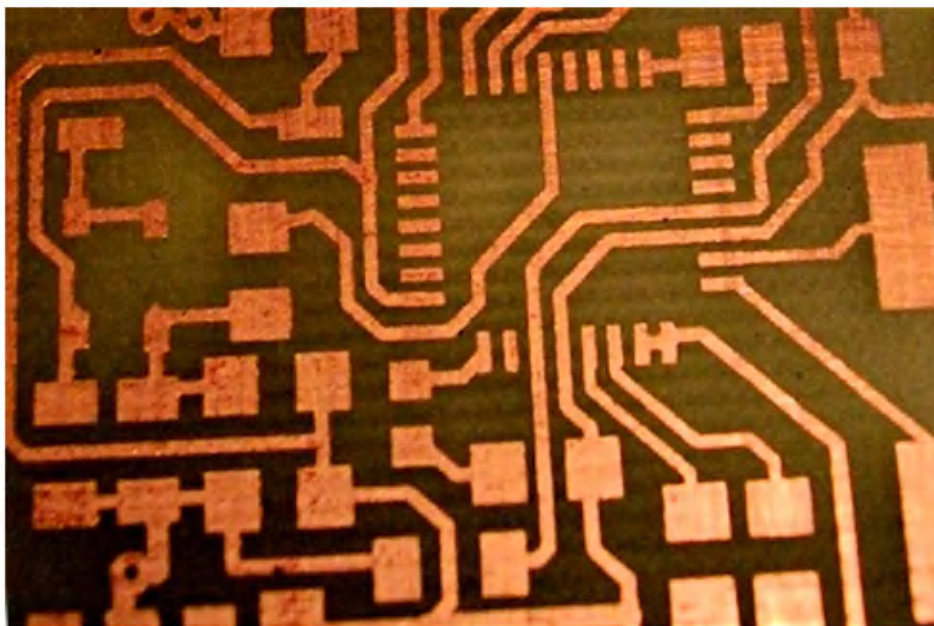
Рис.1. Сплавы для лужения печатных плат в разных упаковках.

Сплав Розе является легкоплавким и состоит на 50% из висмута, 25% свинца и 25% олова. Сплав Вуда аналогичен, только 50% доли олова заменено кадмием. Температура плавления сплава Розе порядка +94...+97 °C (сплава Вуда +68,5 °C), что позволяет ему расплавляться и прибывать в жидком состоянии в кипящей воде. Перед лужением сплавами не покрывайте плату флюсом и растворами, здесь это не понадобится.

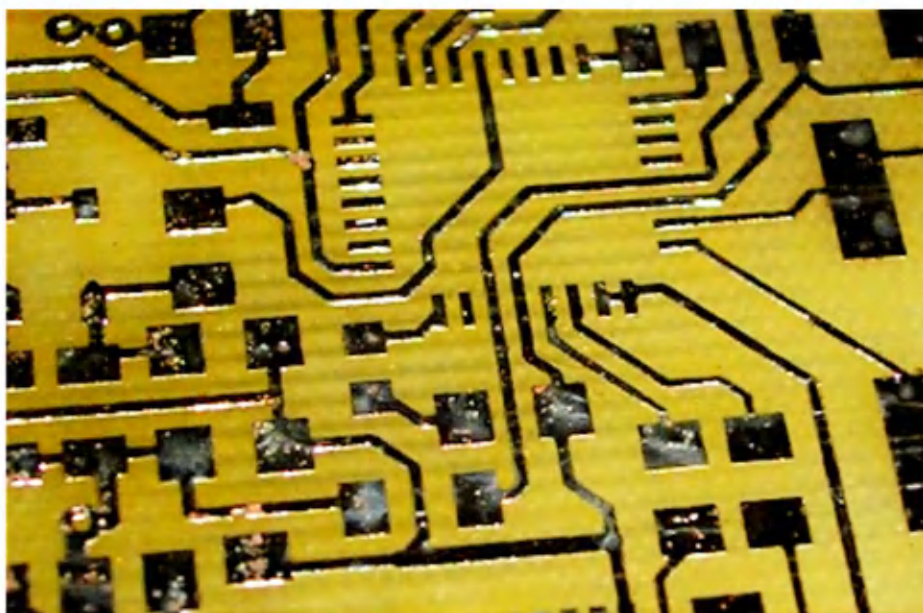
Для лужения сплавами возьмите сосуд, например, эмалированную кастрюлю. Заполните ее на половину водой и поставьте на огонь. Когда вода закипит, засы-

<sup>1</sup> Проводники ведь покрыты лаком под травление – он и будет их защищать в дальнейшем. Достаточно не смывать лак, а только зачистить и залудить контактные площадки под пайку.

паем около чайной ложки лимонной кислоты (можно купить в любом продуктовом магазине). Размешивая воду, поместите печатную плату дорожками вверх. От лимонной кислоты проводники станут розовыми. Лимонная кислота обезжирит печатную плату перед лужением и удалит с нее все окиси. Далее, не вынимая печатной платы из воды, киньте пару кусочков сплава на фольгированную сторону печатной платы, подождите несколько секунд, пока расплавится сплав. Если сплав стал жидким, начинайте размазывать его по текстолиту деревянной палочкой, например, от мороженого. Предварительно намотайте на палочку немного ткани или бинта. Теперь размазывайте сплав по дорожкам платы. Если сплав не расплавился и не прилегает к дорожкам (возможно, не качественный), добавьте в воду соль, это увеличит температуру кипения.



плата до лужения



плата после лужения

Рис.2. Внешний вид платы до и после лужения.

Промойте плату под холодной водой, просушите и очистите спиртом. Теперь приступайте к паянию.

## Sprint Layout

Простую плату можно легко нарисовать вручную, а для более сложных существует специальный софт. Одним из самых качественных инструментов для разработки печатных плат является программа Sprint Layout. Широко используется для печати проводников методом лазерного утюга (с помощью лазерного принтера). Программа очень простая и не потребует много времени на освоение, при этом позволяет создавать платы высокого качества.

Главное окно программы напоминает графический редактор (см. Рис.1). Слева расположены инструменты для рисования дорожек, контактов, текста, фигур. Ниже расположены настройки этих элементов. Черное рабочее поле в сеточку предназначено, как вы уже догадались, для непосредственного рисования. Сами же компоненты (радиодетали) размещены с правой стороны, и показаны как блок Библиотека. По умолчанию он включен, но, если в Вашей версии программы, его нет, можете включить с помощью меню «Опции => Библиотека».

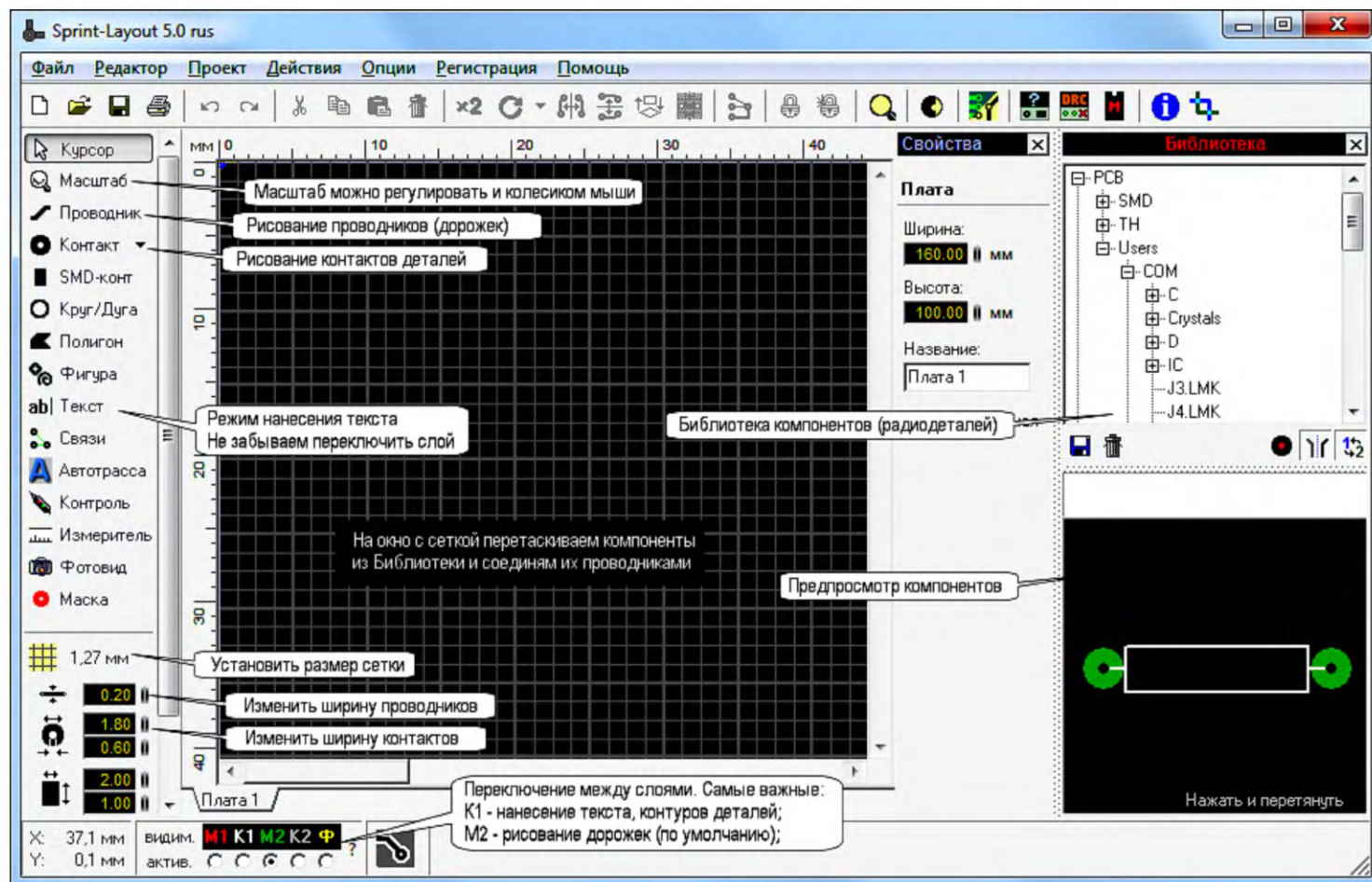


Рис.1. Внешний вид главного окна программы Sprint Layout.

Чтобы нарисовать компонент, выберите его из «Библиотеки» и перетащите мышью на рабочее поле. Далее этот элемент можно поворачивать и редактировать – щелкните по детали правой кнопкой мыши и выберите в появившемся меню «Повернуть». Пункт «Разгруппировать» позволяет редактировать стандартный или собственный компонент, после чего его можно снова собрать воедино (не забыв при этом выделить его элементы, придерживая клавишу Shift), выбрав пункт «Группировать».

На Рис.1 выделены элементы, наиболее задействованные при разработке платы. С остальными Вы можете познакомиться, прочитав файл справки программы.

Попробуем что-нибудь нарисовать. Перетащите мышью несколько компонентов из «Библиотеки». Я взял микросхему и два резистора. «Увеличить/Уменьшить» изображение можно колесиком мыши. Как видно по Рис.2. я увеличил картинку. Теперь щелкните по элементу «Проводник», что в правой стороне программы, и нанесите дорожку. Для этого кликните левой кнопкой мыши по одному контакту, а потом по другому. Чтобы закончить рисование - нажмите правую кнопку мыши.

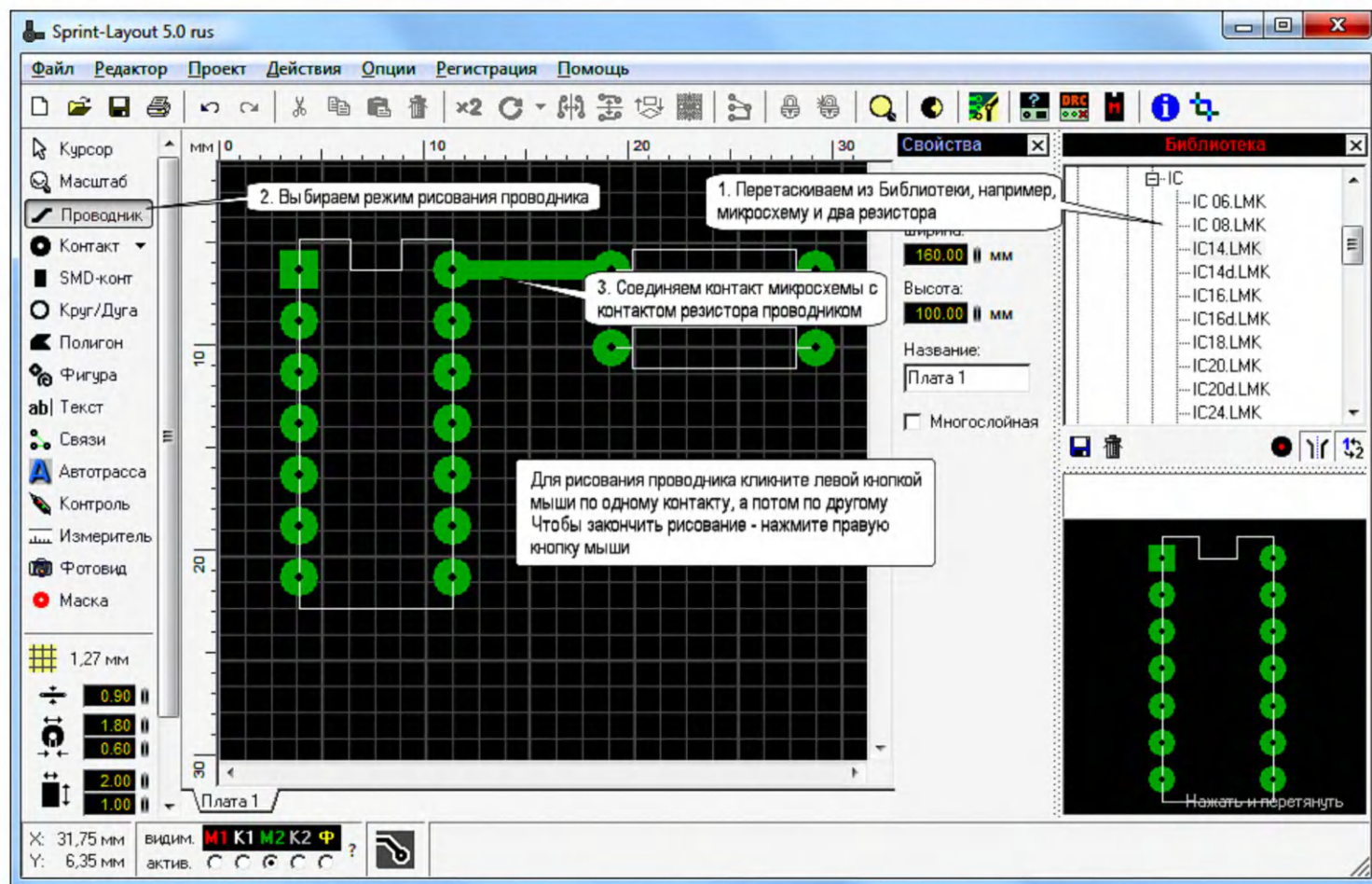


Рис.2. Пример рисования проводника.

Квадратный контакт на печатной плате обычно обозначает первый вывод микросхемы. Далее нумерация идет против часовой стрелки.

Вы можете изменять толщину проводников и других элементов. Для этого надо выбрать его мышью, а потом потащить ползунок настройки вверх или вниз, увеличивая или уменьшая проводник. Таким образом, можно изменять размеры и других элементов, не забыв их выделить мышью (или «Разгруппировать»).

Проводники платы, по которым идет питание устройства, должны быть шире остальных проводников. Таким образом, они подавляют помехи<sup>2</sup> других дорожек и компонентов устройства.

Проводники в программе очень гибкие. Кругом, который появляется между двумя контактами, можно подсоединить другой компонент (см. Рис.3), крутить, изменяя угол и т.п.

Если необходимо на базе чертежа печатной платы из журнала или Интернет перевести ее в формат .LAY (Sprint Layout), придется потрудиться. Предварительно

<sup>2</sup> На самом деле потому, что по ним идет больший ток. Увеличение же площади проводника ведет к увеличению его паразитной емкости, через которую могут распространяться помехи и наводки.

необходимо перекодировать изображение платы в .BMP, а затем поместить его как фон на рабочем поле программы. Делается это с помощью меню «Опции => Шаблон...». В появившемся окне нажмите кнопку «Загрузить...» и выберите чертеж платы в формате .BMP (см. Рис.4). В этом же окне можно настроить разрешение изображения. Кнопками прокрутки в окошках «Сдвиг-Х» и «Сдвиг-У» можно сменить рисунок в нужное место рабочего поля.

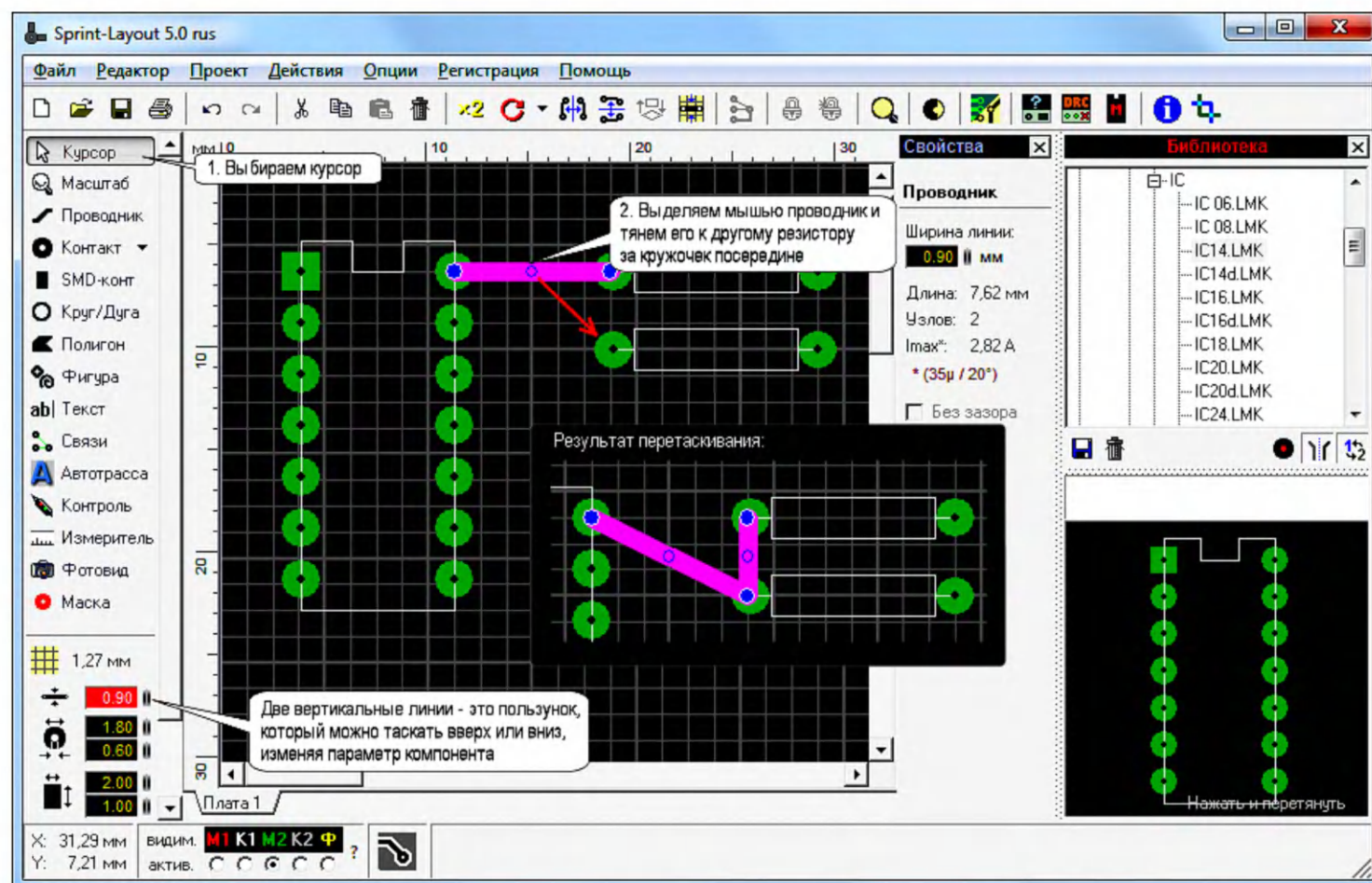


Рис.3. Продлеваем проводник к другому компоненту.

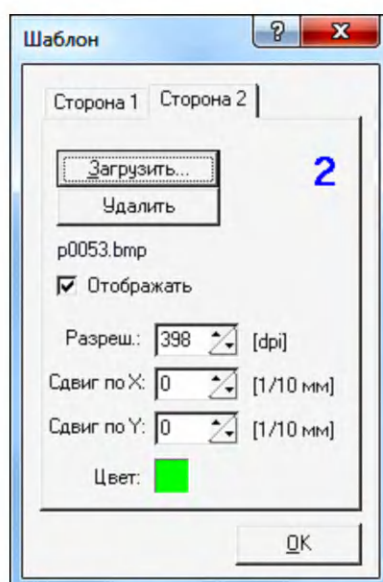


Рис.4. Загрузка стороннего изображения в программу.

Теперь осталось установить компоненты из «Библиотеки», нанести дорожки, а, возможно, и доработать плату под собственные радиодетали (см. Рис.5). Выходит, что Вы полностью пересовываете плату, но другого решения разработчики пока не придумали.

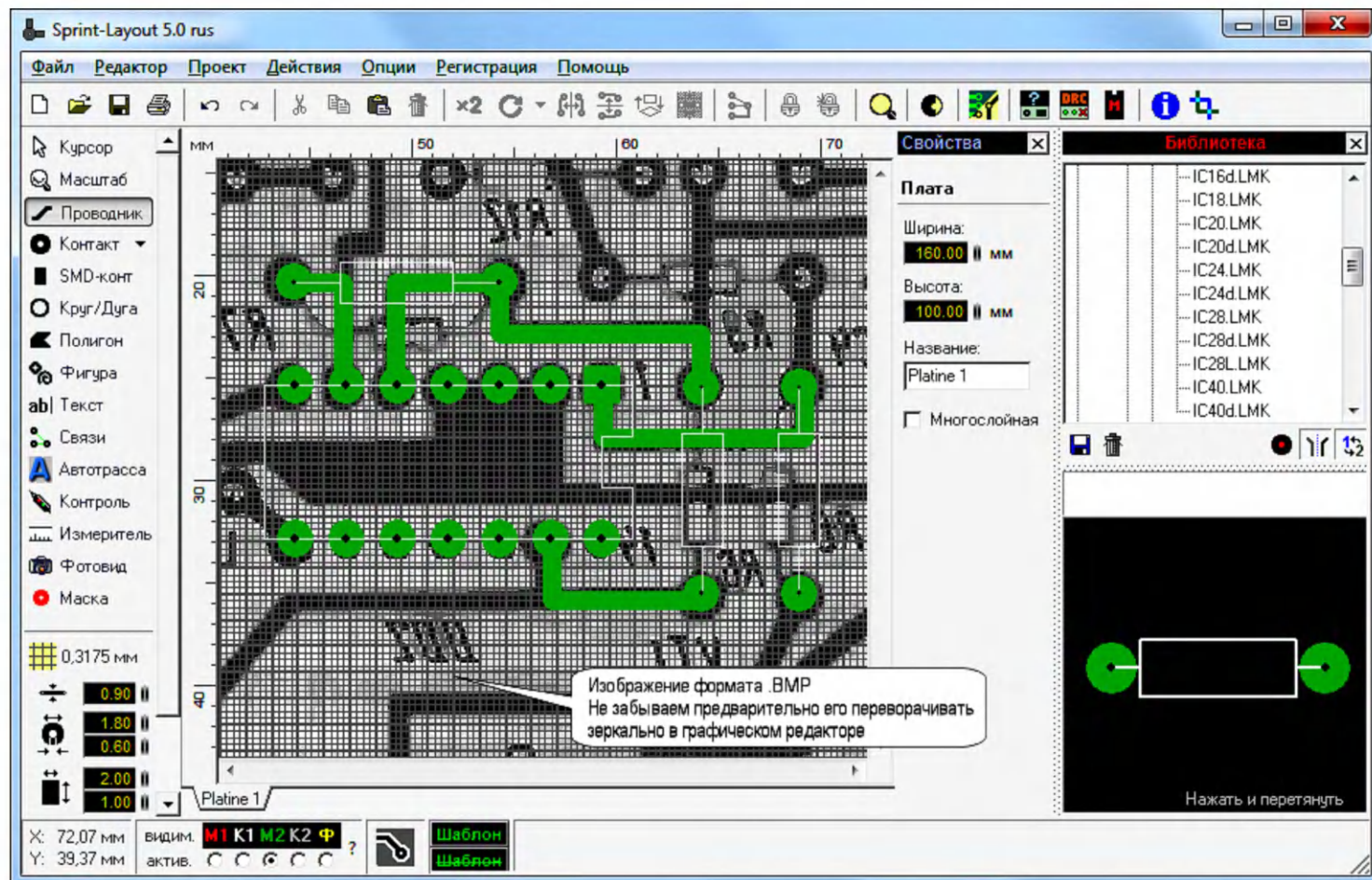


Рис.5. Рисование платы по шаблону.

Иногда необходимо перенести деталь с другой платы на свою. Для это можно импортировать плату: меню «Проект => Импортировать плату из файла...» Теперь можете копировать компоненты с одной плат на другую.

Еще одной интересной особенностью программы есть металлизация дорожек. В этом режиме незаполненные участки платы автоматически покрываются слоем меди (см. Рис.6). Это позволяет сократить время травления и экономит раствор. Металлизацию можно использовать также для создания экранов для устройств, подверженных воздействиям наводок и других помех, например, для приемников. Не следует забывать, что изначально металлизированная поверхность не имеет контакта ни с одним из проводников. Следовательно, при необходимости, металлизированные участки надо самостоятельно соединить с требуемыми проводниками. Чтобы активизировать/деактивировать металлизацию необходимо выбрать в меню «Опции => Металлизация».

В Sprint Layout существуют и другие интересные возможности. Не ленитесь читать файл справки программы. Я же вас познакомил с основными возможностями.

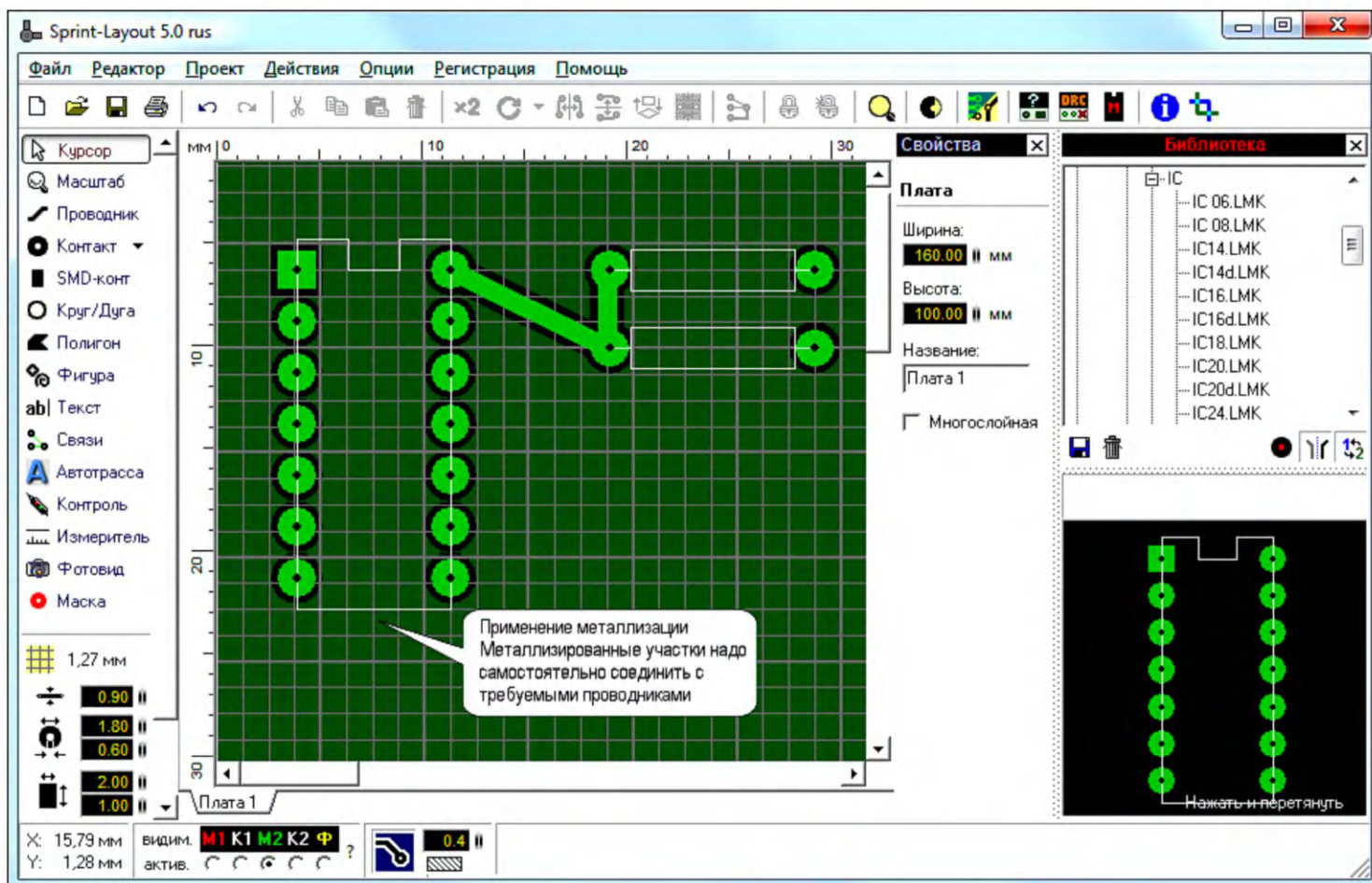


Рис. 6. Металлизация дорожек.

### Утюжная технология

Допустим, Вы нарисовали плату в Sprint-Layout или скачали с Интернета. Что же дальше? Теперь ее необходимо распечатать на лазерном принтере. Простая офисная бумага для это не подойдет. Один из лучших результатов получается на глянцевой фотобумаге LOMOND 130 г/м<sup>2</sup>, которая продается для струйников. Если фотобумаги под рукой нет, можно воспользоваться обложкой от глянцевого журнала (или одной из страниц, если она достаточно плотная).

Печатать нужно в зеркальном отображении, чтобы после переноса картинка соответствовала действительности. Для переворота платы в программе Sprint-Layout воспользуйтесь меню «Действия => Зеркально по горизонтали». В большинстве случаев с Интернета можно скачать плату уже перевернутую зеркально. Данная публикация не исключение, т.е. рисунок уже готов к печати, переворачивать его не требуется!

Заряжаем бумагу в принтер и жмем в программе «Печать». Вызов этой команды осуществляется из пункта «Файл» главного меню или из панели инструментов. При этом на экран выводится изображение для просмотра и диалог печати с настройками (см. Рис.1).

В этом окне обязательно снимите птички со всех слоев, кроме M2 и измените цвет дорожек этого слоя на черный (если он другого цвета). Делается это нажатием на цветной квадратик напротив слоя. Вызовите настройки принтера, нажав кнопку «Принтер». Здесь выберите самое высокое качество печати (чтобы тонера было много). Теперь смело выводите плату на печать.

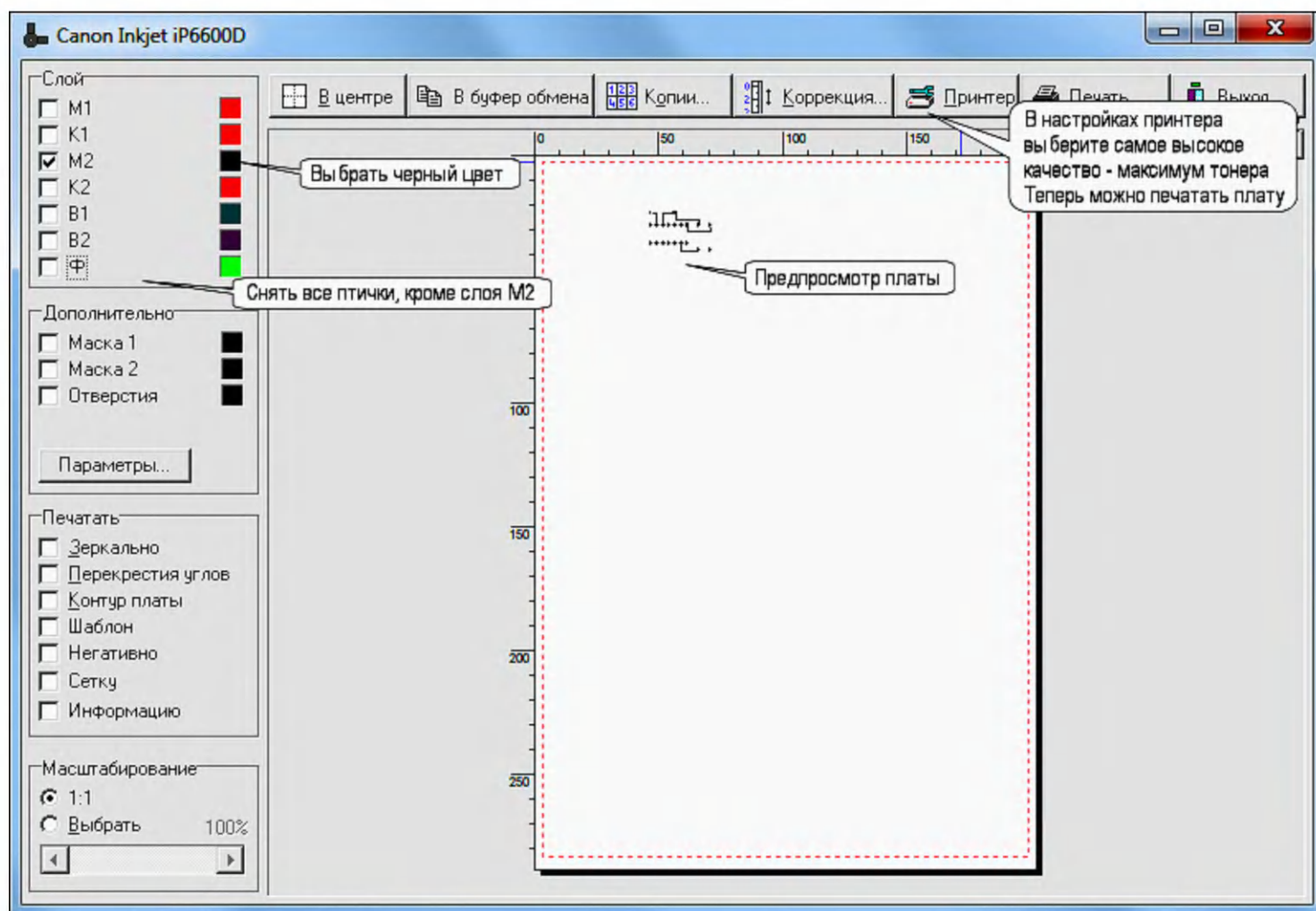


Рис.1. Настройки при печати плат.



Рис.2. Напечатанный рисунок платы и кусок текстолита.

После печати картинку на бумаге ни в коем случае нельзя хватать руками и желательно беречь от пыли, чтобы ничто не мешало соприкосновению тонера с медью текстолита.

Теперь займемся текстолитом. В первую очередь его надо хорошенько зашкурить (самой мелкозернистой наждачной бумагой или шкуркой). Тщательно, стараясь содрать весь окисел, желательно круговыми движениями. Немного шершавости не повредит – тонер будет лучше держаться. После зашкуривания его надо тщательнейшим образом обезжирить. Сделать это можно кусочком ваты, смочив ее как следует ацетоном или растворителем. Опять же после обезжиривания ни в коем случае нельзя хватать плату пальцами.

Накладываем наш рисунок на плату, естественно тонером вниз (см. Рис.3).

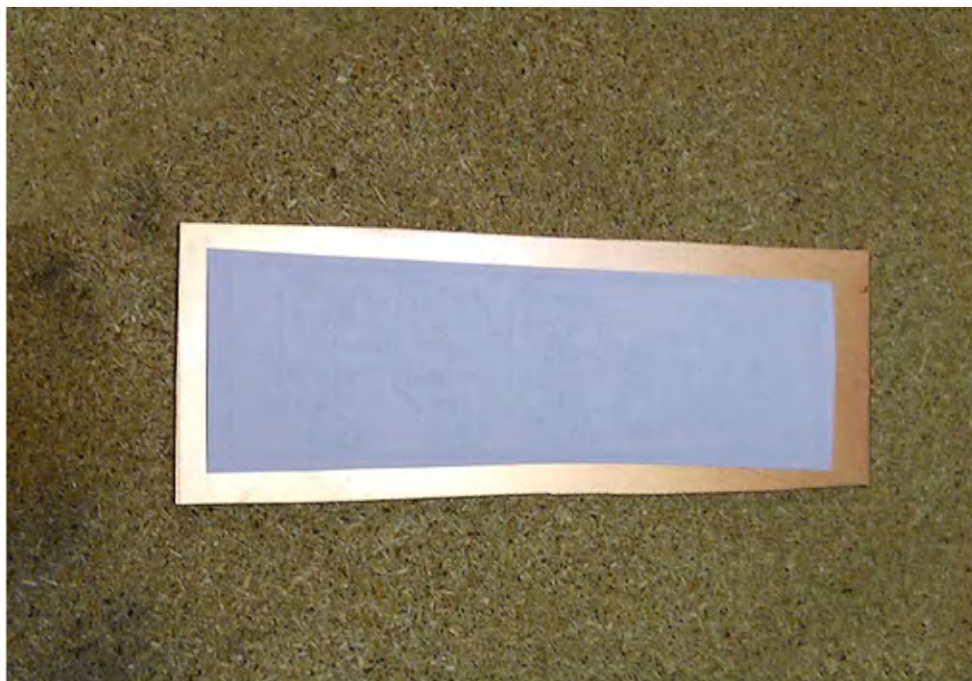


Рис.3. Накладываем рисунок платы на текстолит.



Рис.4. Утюжим.

Разогрев утюг на максимум, придерживая бумагу пальцем, хорошенько прижимаем и проглаживаем одну половину (см. Рис.4). Надо чтобы тонер прилип к меди. Далее, не допуская сдвигания бумаги, проглаживаем всю поверхность. Давим изо всех сил, полируем и утюжим плату. Стараясь не пропустить ни миллиметра поверхности. Это ответственнойшая операция, от нее зависит качество всей платы. Не бойтесь давить изо всех сил, тонер не поплывет и не размажется, так как фотобумага толстая и отлично защищает его от расплзания.

Гладим до тех пор, пока бумага не пожелтеет. Эта процедура может занять около двух-трёх минут. После можно дать плате немного остыть. А затем помещаем под теплую воду. И держим некоторое время в воде, при этом сдирая бумагу. Для этого можно воспользоваться кисточкой (см. Рис.5).

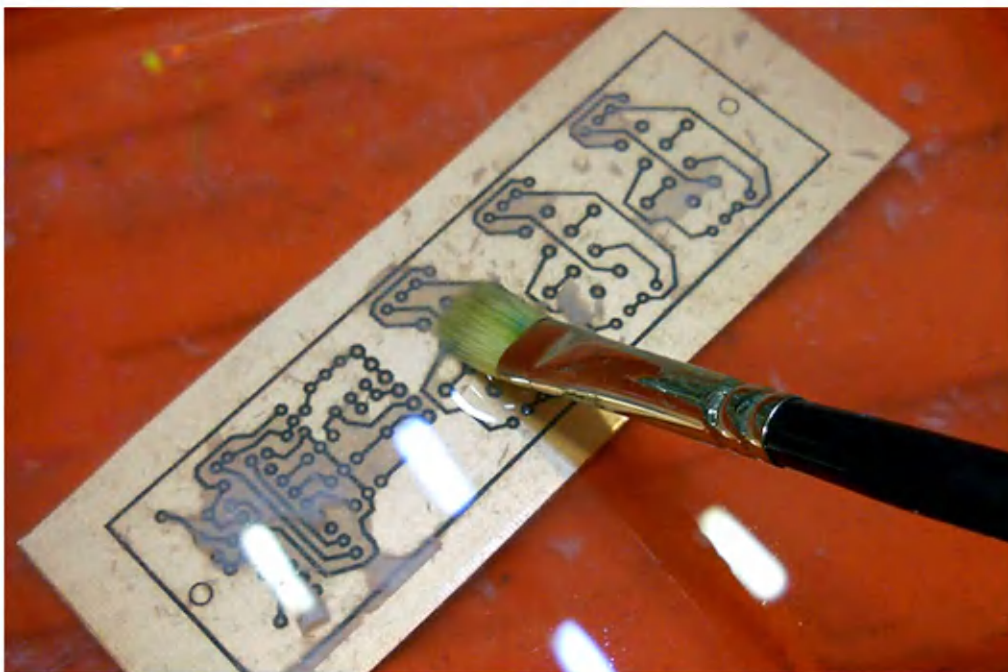


Рис.5. Сдираем бумагу с платы.

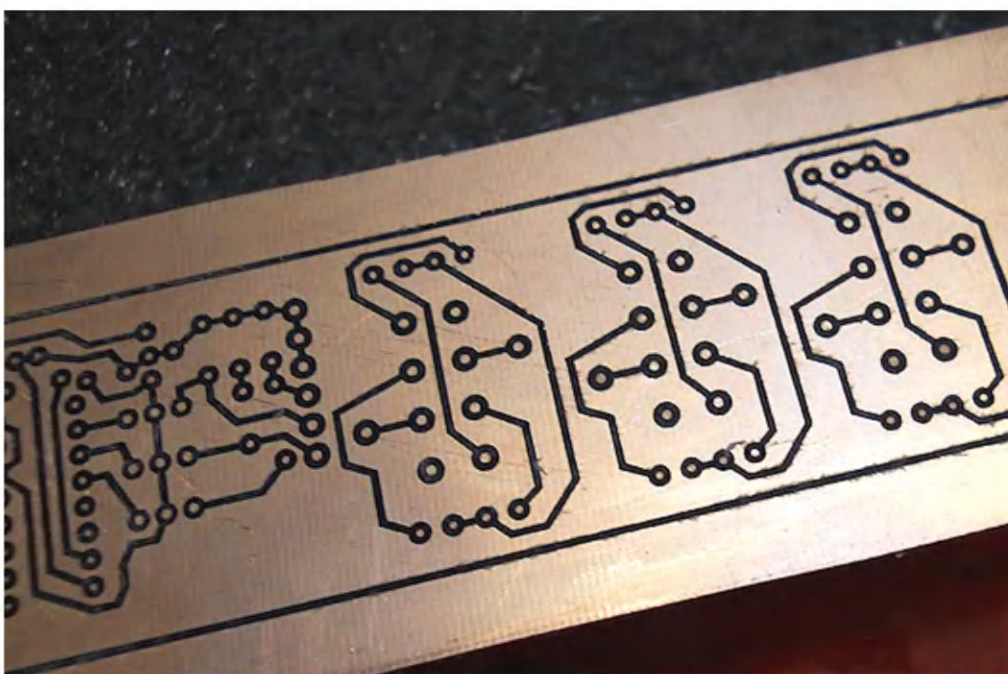


Рис.6. Очищенная от бумаги плата.

Вытираем плату и даем ей просохнуть. Под светом яркой лампы внимательно оглядываем слои тонера на разрывы. Дело в том, что при охлаждении он может потрескаться, тогда в этом месте останется узкая трещина. Под светом лампы трещины поблескивают. Эти места стоит подкрасить перманентным маркером для компакт-дисков. Даже если есть лишь подозрение, то лучше все же прокрасить. Этим же маркером можно дорисовать и некачественные дорожки, если таковые возникли.

Когда плата будет готова, то ее можно бросать в раствор для травления. После травления тонер смывается ацетоном или растворителем, сверлятся отверстия, залуживаются проводники (см. Рис.7).

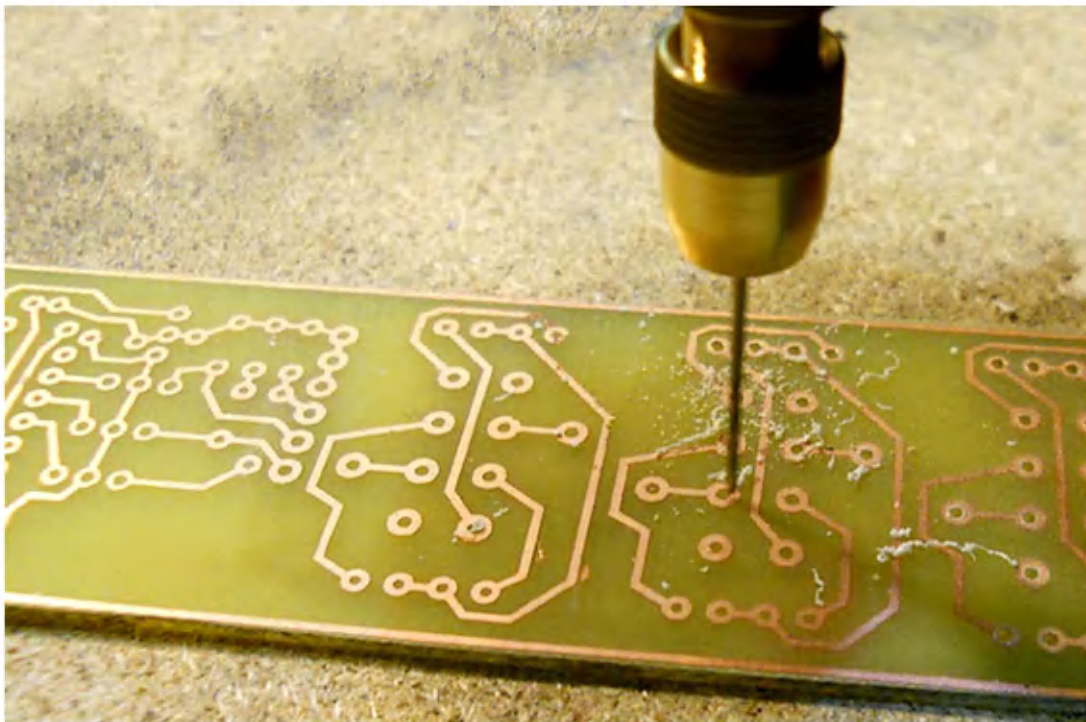
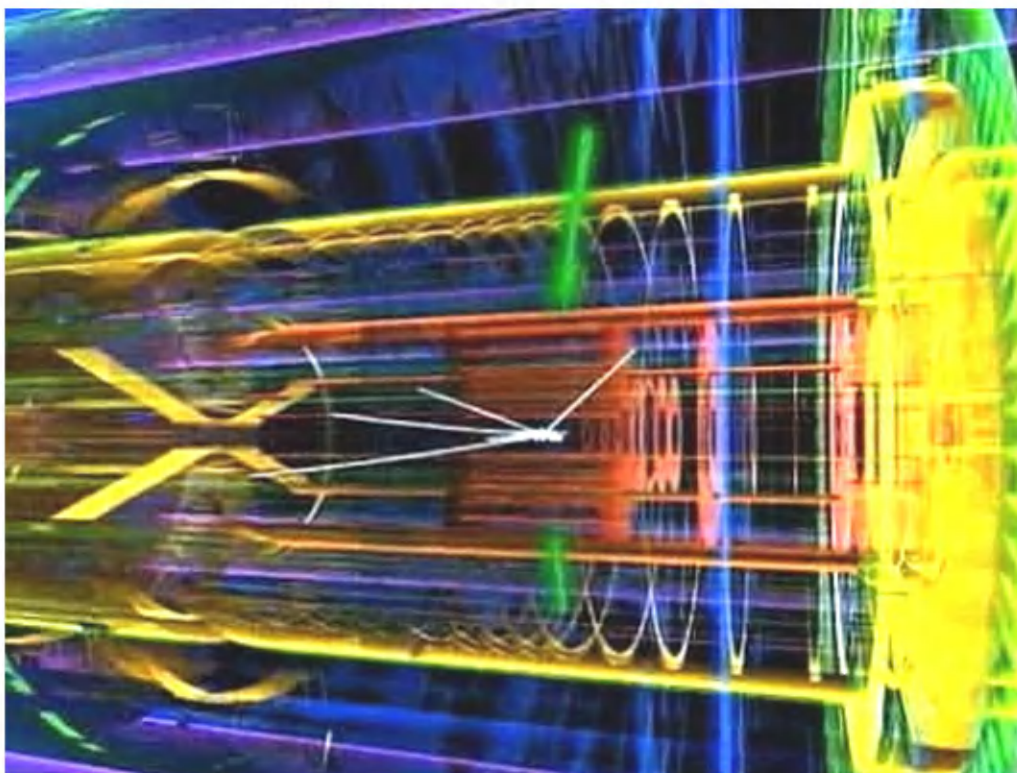


Рис.7. Сверление отверстий.

Теперь осталось собрать устройство на качественной плате собственного изготовления. Возможно, что с первого раза что-то не получится, но тут только дело навыка. После нескольких неудач придёт опыт.

(ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ)



## СПИНТАРИСКОП

Козьма Прутков

### Справка

Сцинтилляция – кратковременная вспышка люминесценции, возникающая в сцинтилляторах под действием ионизирующих излучений.

Сцинтилляционный детектор – это прибор для регистрации и спектрометрии частиц. Действие основано на возбуждении заряженными частицами в ряде веществ световых вспышек, которые регистрируются фотоэлектронными умножителями. Используются для регистрации элементарных частиц,  $\alpha$ -частиц и  $\gamma$ -квантов.

Спинтарископ Крукса – первый сцинтилляционный детектор. Спинтарископ Крукса – это прибор для наблюдения люминесценции, вызываемой альфа-лучами радиоактивных веществ. При своем ударе о фосфоресцирующий экран эти частицы вызывают явление «искристости» – сцинтилляции. Так как каждая вспышка есть результат удара одной  $\alpha$ -частицы, то количество светящихся точек, появляющихся в результате такой бомбардировки, может служить мерой радиоактивности вещества. Для такого пересчета искр и служит спинтарископ, предложенный в 1903 году Круксом. На дне металлической трубки 1 (рис. 1) с зачерненными изнутри стенками находится фосфоресцирующий экран 3, покрытый сернистым кальцием; в непосредственной близости (около 0,5 мм) от него помещено металлическое острие 2, несущее на своем конце ничтожное количество радиоактивного вещества, выбрасывающего  $\alpha$ -частицы. Последние, попадая на экран, вызывают явление точечных

вспышек — сцинтиляции, которые можно наблюдать и подсчитывать через лупу 4. Зная площадь экрана и количество испытуемого вещества, можно определить число  $\alpha$ -частиц, выбрасываемых в единицу времени одним граммом вещества, и таким образом численно выразить его радиоактивность.

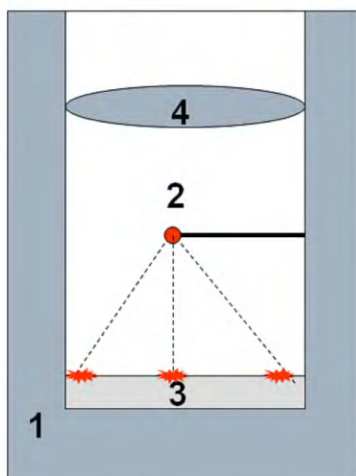


Рис. 1. Схема спинтарископа Крукса.

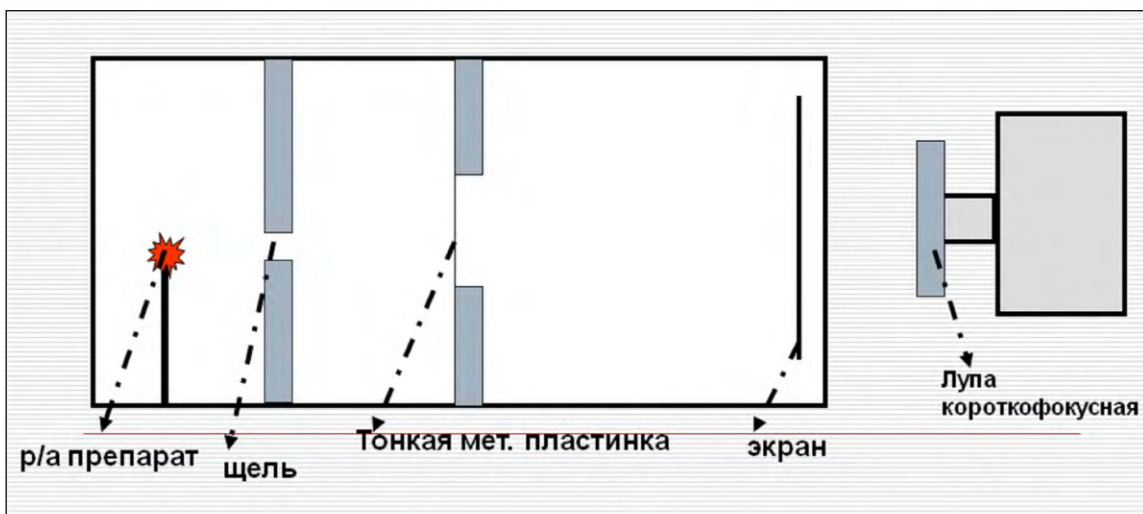


Рис. 2. Схема современного сцинтилляционного счетчика.

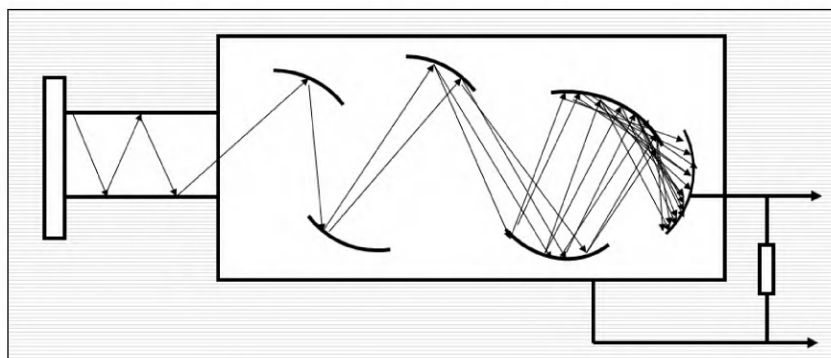


Рис. 3. Схема ФЭУ с присоединённым сцинтиллятором.

На рис. 2 приведена схема современного сцинтилляционного счетчика.

После создания в конце 1940-х годов фотоэлектронного умножителя были усовершенствованы сцинтилляционные счетчики частиц (рис. 3).

## Самодельный спинтарископ Крукса

Во-первых, понадобится люминофор-сцинтиллятор - сульфид цинка, активированный серебром. Его можно его извлечь из подручных материалов.  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  используется в лучевых трубках и кинескопах.

$\text{ZnS}(\text{Ag})$  мы извлекли из небольшой лучевой трубки от осциллографа. Вначале необходимо осторожно отколоть запаивную трубку, по которой откачивали воздух. Трубку из предосторожности обертываем тканью. Потом экран заклеивают скотчем и ударяем молотком сбоку. Полученные куски держатся на слое скотча, осторожно, чтобы не порезаться, надрезаем его ножом. Люминофор "с той стороны" прикрыт тонкой металлизированной пленкой. Берем кусок упругой полиэтиленовой пластинки и плавно соскребаем люминофор, желательно широким слоем. Металлизированную пленку можно потрясти для осыпания люминофора, мелкие кусочки пленки извлекаем пинцетом и часть их можно "проветрить" - осторожно подув. Правда, немного примеси останется, но это терпимо.

Во-вторых, нужен подходящий радиоактивный источник. Как Вы понимаете, это наибольшая трудность в наше радиофобное время. Приобрести источник без особых документов - противозаконно. В старинных спинтарископах традиционно использовался радий. В настоящее время единственно-возможный вариант для самоделщиков - америций-241. Понадобится камера HIS-07 от ионизационного детектора дыма или сам детектор. Как видно из описания производителя, внутри находится америциевый источник, активностью приблизительно 30 КБк.

Америций-241 имеет период полураспада - 433 года, в процессе распада образуются альфа-частицы и немного мягкого гамма-излучения. Обращение с америциевым источником из ионизационной камеры не требует особых мер предосторожности, однако следует отметить, что нельзя нарушать целостность источника - возможно образование "горячих" частиц и попадание их в организм, что может быть небезопасным. Однако этого и не требуется, наш источник довольно компактен.



Ионизационная камера HIS-07 (NAP-07) для детектора дыма.

Купить ионизационную камеру/детектор дыма сложно, поэтому проще всего заказать ионизационную камеру у китайских торговцев. К примеру, новая камера HIS-07 на сайте <http://www.aliexpress.com/> обойдется вместе с пересылкой в Россию примерно в 5 долларов.

Искушенный читатель в курсе, что пересылка радиоактивных препаратов контролируется государством – поток почтовых отправок идет через детекторы "Янтарь". Подозрительные "активные" посылки отсеиваются, но гамма-фон камеры очень слаб и детекторы радиоактивности его "не видят".

Сама камера невелика. Источник – "таблетка" находится закрепленной на пластиночке жести – активной стороной внутрь.

Извлекаем таблетку из оправы. Для этого она осторожно надрезается ножницами, слегка изгибается круглогубцами и тогда можно осторожно поддеть таблетку. При этом источник легко может отлететь, будьте аккуратны – повреждать таблетку не следует!

В-третьих нам понадобится измерительный окуляр от микроскопа с увеличением не менее 10 крат..



Окуляр микроскопа.

Линзы в верхней оправе могут настраиваться, что необходимо при фокусировке изображения экрана. Иначе, четкой красивой картины не получится. Одну из линз (внутреннюю) придется, удалась. Оправу можно временно вывинтить, чтобы понаблюдать сцинтилляции невооруженным глазом, что тоже красиво.

Доработка окуляра проста. В нижней части вывинчиваем измерительный стеклянный кружок и извлекаем его из оправы.

В подходящую по размеру емкость (обрезанный полиэтиленовый пузырек) помещаем этот стеклянный кружок – будущий экран, насыпаем люминофор с лучевой трубки  $[ZnS(Ag)]$ , два раза промываем ацетоном (чтобы удалить "блестки" – частички металлизированного слоя), далее взбалтываем и ставим высыхать. К ацетону были добавлены две капли разведенного нитролака.

Пока экран сохнет, к оправе приклеиваем, вырезанную из жести, пластиночку – держатель для источника, сам источник крепим двухсторонней клейкой лентой или тоже приклеиваем. Помещаем экран в оправу (снимок ниже) и собираем спинтари-скоп (следующий снимок).



Нижняя часть спинтарископа.

Остается только подобрать коробочку для футляра, защищающую от пыли и ударов, и вполне удобный спинтарископ готов. Несмотря на то, что со временем экран будет "портиться", из-за разрушения кристалликов люминофора и свечение постепенно ослабевать, служить он будет долго, на протяжении, как минимум, нескольких лет.



Спинтарископ в сборе.



## ГДЕ РОССИЙСКИЙ ХАЙТЕК?

Ситуация с высокотехнологичным производством с высоты

### Экономика

При капитализме бизнес старается заработать максимум денег, используя минимум капитала и с минимальными рисками. Высокотехнологичный бизнес — несмотря на внешнюю привлекательность — дерьмовый бизнес: капитала требуется много, сроки окупаемости большие, большие риски, приходится нанимать капризных инженеров за все большие и большие деньги. В теории это должно компенсироваться сверхприбылями, но это не всегда происходит. В результате высокотехнологичным бизнесом занимаются тогда, когда места в простом бизнесе не остается или когда государство делает такой бизнес привлекательным (дотации, двойное использование результатов выполнения гос. контрактов — и в гражданской и в военной сфере) .

В случае России по ряду причин низкотехнологичный бизнес (строительство, торговля, природные ресурсы) может иметь слишком высокую прибыль — и это делает высокотехнологичный бизнес совершенно бессмысленным занятием с экономической точки зрения. С другой стороны — схема работы над государственными контрактами исключает получение большой прибыли (обычно требуется показать чистую прибыль порядка 5%), требует обеспечения, двойное использование может быть затруднено из-за секретности и собственности государства на полученную интеллектуальную собственность — т.е. опять же, совершенно не привлекательно для коммерческого исполнителя.

Стоимость и  
доступность  
капитала

Высокотехнологичный бизнес требует много денег, причем с самого начала. Не смотря на то, что денег в России достаточно, они по естественным причинам сосредоточены у людей, занимающихся простым бизнесом и с тонкостями высокотехнологичного бизнеса им разбираться может быть не интересно. Также, ввиду упомянутой более высокой доходности простого бизнеса — он оттягивает на себя большую часть инвестиционного капитала, и соответственно делает его дороже для всех.

Люди

Идея высокотехнологичного бизнеса — рождается и реализовывается людьми, имеющими хорошее техническое образование и (опционально) опыт работы. В последние десятилетия — качество технического образования падает, равно как и количество выпускников по техническим специальностям. Далее проблема усугубляется «экспортом сырого мозга»: эмиграцией и аутсорсингом.

Считается, что фундаментальная и прикладная наука должны генерировать инновации, но на практике этого не происходит — опять же из-за бюрократии, невозможности быстро привлечь деньги для проверки идей, «вымывания мозгов» (уход людей на «низкотехнологичную», но высокооплачиваемую работу).

Бюрократия  
и логистика

Поскольку товары необходимо производить в реальности — становится крайне важна скорость и стоимость работы служб доставки — как на прием (множество компонент со всего мира), так и отправку (включая и почту России), скорость и стоимость прохождения таможни, другие бюрократические ограничения (вроде ограничений госнарконтроля на оборот химических веществ промышленного значения и ФСБ с криптографией, сертификация товаров). Естественно, и сейчас все препятствия можно преодолеть — но на это уходит время и деньги, и конкуренты в других странах получают преимущество.

Государственная  
политика других  
стран и патенты

Сложно ожидать от иностранных государств, достигших успехов в высоких технологиях (например, в микроэлектронике) добровольного отказа от лидерских позиций — для этого есть экспортные лицензии и патенты. Россия естественно действует точно также и не продает, например, технологию производства самых со-

временных авиадвигателей Китая, предпочитая продавать сами двигатели. «Закрывающие» патенты не позволят делать то, что уже сделано – а лицензию на использование патента вам могут и не продать, а если продать – то по цене, не позволяющей выпустить конкурентоспособный продукт. Это все делает крайне затруднительным выход на уже занятые рынки с аналогичным продуктом – обязательно нужно придумывать что-то новое.

### Самое большое заблуждение

Стоит еще раз подчеркнуть – самое большое широко распространенное заблуждение о высокотехнологичном производстве – это то, что там очень высокие прибыли, работа не пыльная, а грязные и трудоемкие производства (энергетика, добыча и переработка полезных ископаемых, пищевая промышленность) – не очень важны, само физическое производство разработанных высокотехнологичных устройств лучше оставить странам 3-го мира и единственное, что якобы мешает расцвету хайтека в России – это воровство / коррупция / не продают нужное оборудование / отсутствие своих Джобсов.

В реальности все оказывается не так: высокотехнологичный бизнес – имеет высокие требования к капиталу, сроки окупаемости длинные, риски всегда есть, прибыль капает медленно и не поражает воображение (лишь иногда бывают выдающиеся результаты – когда получили «закрывающий» патент на очень вкусную технологию, и есть ресурсы чтобы защищать его в суде – впрочем такие технологии и разрабатывать дешево не получится). На западе в высокие технологии пошли только потому, что в обычном, простом бизнесе делать уже было нечего плюс государство, оплачивая работу по военным контрактам – позволяло интеллектуальную собственность оставлять у исполнителя и использовать в коммерческих целях.

Кроме того, те, кто слушают американские политические передачи для «внутреннего употребления» – наверняка слышали фразу «Bringing the Jobs Back Home<sup>1</sup>»: это фактически признание, что постиндустриальная экономика («мы разрабатываем, а обезьяны за морем собирают») – себя не оправдала и приводит к вымиранию целых секторов экономики. Потому слепо копировать американский «постиндустриальный» путь явно не стоит.

### Подробнее о разнице между «высокотехнологичным» бизнесом и «низкотехнологичным»

Низкотехнологичный бизнес – создает прибавочную стоимость перемещая товары, созданные другими, и создают товары для производства которых нужна одна технологическая операция без большого количества собственной интеллектуальной собственности. Зачастую географически привязан к источнику ресурсов (ГЭС, угольный разрез, месторождение нефти, месторождение инженеров для аутсорса).

Примеры:

- Купили товар оптом – продали в розницу.

---

<sup>1</sup> Приблизительный перевод: «Вернуть все свои производства в свою страну». США и Канада перенесли многие производства в страны «третьего мира», Китай, Мексику и т.п. – там дешевая рабочая сила и соответственно большие прибыли для капиталистов. Но это порождает большие проблемы. Дорогой товар этих производств продать в странах третьего мира не просто – там же маленькие зарплаты. Его непросто продать и в США – рабочие места в Китае – а если нет работы, то на какие доходы покупать этот товар?

- Купили товар за границей, протащили через таможенную, продали оптом/в розницу.
- Купили квартиру – продали квартиру через год.
- Построили здание – распродали квартиры / сдали под офисы.
- Купили глинозем, на советских заводах электролизом получили алюминиевые чушки, продали оптом.
- Просверлили дырки в земле, проложили трубопровод, качаем нефть и продаем оптом.
- Купили нефть, разделили её на фракции (каталитически переработали), продали нефтепродукты оптом.
- Наняли инженеров, выполняем заказы на разработку с почасовой оплатой (офшорное программирование) .

Высокотехнологичный бизнес – создает продукты с высокой долей расходов на разработку, требующий проведения большого количества операций. Соответственно, для коммерческого успеха необходимо много дешёвого капитала, минимальные дополнительные расходы на логистику и бюрократию, максимальные объемы продажи по всему миру для того, чтобы стоимость разработки «размазывать» на максимальное количество экземпляров конечной продукции.

Примеры:

- Разработали iPhone и софт для него – организовали производство – продали продукцию.
- Разработали процессор – реализовали поддержку в операционных системах и стороннем софте – заказали производство – продали продукцию.
- Разработали технологию производства микросхем по технологии 10 нм – разработали библиотеки – лицензировали производителям.
- Разработали микросхему общего назначения – заказали производство – про-рекламировали – продали через дистрибьюторов.
- Разработали ядерный реактор – построили у заказчика – помогли с эксплуатацией.

Рассмотрим на примере – CD/DVD-RW.

Стоит задача – нужно поставить партию CD/DVD писалок.

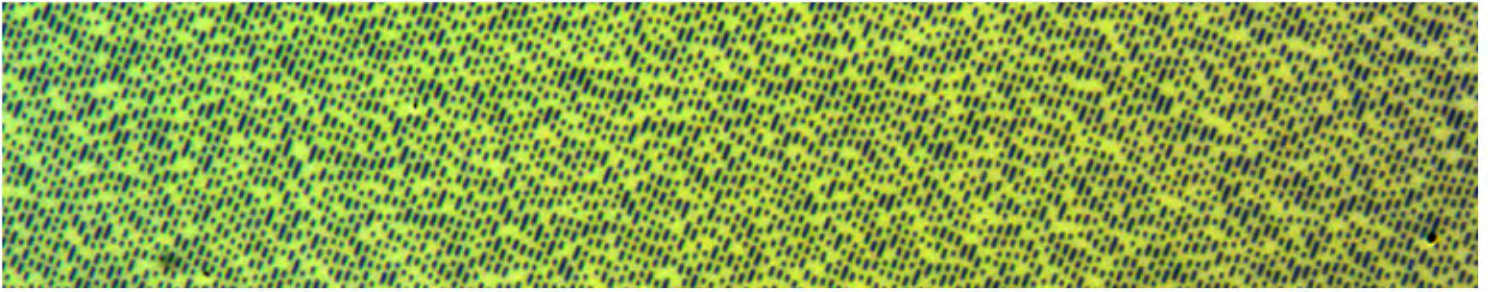
#### Низкотехнологичный бизнес

1. Обзвонили оптовиков, нашли что дешевле.
2. Приобрели партию (зачастую с возможностью оплаты позже) .
3. Прошли таможенную 1 раз.
4. Продали.
5. Положили свои 5-10-50% в карман.

Риски – для опытной торговой организации минимальные (да и пересечение границы одно), собственные средства практически не требуются. Из людей требуется только менеджер по продажам и бухгалтер. Естественно, в идеальной рыночной экономике такой бизнес приносил бы прибыль (плюс инфляция 1-5% в год). Большие прибыли в России удастся получать за счет ценового стовора (в том числе и негласного), коррупции (в том числе и в отношениях между коммерческими компаниями) и прочих не рыночных особенностей.

#### Высокотехнологичный бизнес

Казалось бы, сделать аппарат для чтения/записи таких вот концентрических «бороздок» не должно быть сложно:



1. Купили доступ к спецификации на CD и DVD.
2. Наняли инженеров, разработали электронику (контроллер, силовая часть управления двигателями, управление лазерными диодами и фотодиодами).
3. Разработали микросхему-контроллер (для максимального снижения стоимости в серии).
4. Заказали изготовление масок для серийного производства микросхемы контроллера (мы крутые и делаем сразу без ошибок).
5. Заказали изготовление партии пластин, их резку, корпусировку и тестирование.
6. Наняли разработчиков firmware (поддержка всех форматов, кодов коррекции ошибок и прочее).
7. Наняли оптиков, которые разработают систему чтения/записи от 2-х разных лазерных диодов (красный для DVD и ИК для CD) без потери мощности используя хитрые дихроичные фильтры.
8. Заказали изготовление прототипа дихроичных фильтров, зеркал, 4-х линз (вероятно минимум 1 из них асферическая), форм для литья пластиковых линз для серийного производства.
9. Так как винтовая передача двигателя каретки имеет шаг порядка 5 мм, а шаговый двигатель имеет в лучшем случае 200 шагов на оборот, получаем минимальный шаг движения каретки порядка 25 микрон, а интервал треков на DVD — 0.74 микрона. Разрабатываем электромагнитную систему сдвига линзы 4-мя катушками, как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальной (фокус + поддержка многослойных дисков).
10. Наняли разработчиков механики, разработали и заказали изготовление пресс-форм для пластиковых деталей и формы для литья каретки.
11. Собрали все детали для первого прототипа — все заработало почти с первого раза.

Естественно, весь этот объем работы может быть выполнен различными компаниями в пределах своих зон компетенции, что-то может быть уже сделано — и дешевле просто купить, а что-то окажется запатентовано — и придется покупать лицензии (если владелец патента будет достаточно добр).

На момент получения предсерийного прототипа мы потратили уже порядка 5-15

млн. долларов. Дальше — хотя себестоимость крупносерийного производства законченного устройства может быть достаточно низкой (10-50% цены продажи), для того, чтобы «отбить» эти 15 млн., затраченные на разработку, вернуть проценты по кредитам, компенсировать риски, которые брали на себя инвесторы — необходимо производить продукт в серии 1-10 миллионов экземпляров и выше.

То есть риски довольно высокие, много прохождений таможни и логистики в целом, требования к капиталу высокие, нужно находить и нанимать большое количество разработчиков в разных областях, а ожидаемая прибыль — довольно скромная и совершенно неадекватная по российским меркам. Требуемым титаническим усилиям (по сравнению с банальной торговлей или строительством). И главное — успех всего мероприятия зависит от объема серии. Никакая сила на земле не позволит сделать с нуля 1000 DVD-писалок с около рыночной ценой — нужно искать кому продать именно 10 миллионов писалок. С другой стороны — конкуренты свои затраты на разработку отбили уже давно, и имеют возможность продавать продукт близко к себестоимости.

Соответственно, если выходить с тем же продуктом на уже занятый рынок («догнать и перегнать») — коммерческого успеха добиться практически невозможно, абсолютно необходимо что-то существенно улучшающее потребительские свойства (пресловутые «инновации»).

### **Почему бизнес в России с такой неохотой идет в высокие технологии?**

Это самый важный вопрос, его даже неоднократно поднимал, но оставлял без ответа главный по нанотехнологиям в России.

Ответ прост — серьезный бизнес всегда идет туда, где больше норма прибыли и меньше риски.

В условиях идеализированной конкуренции норма прибыли «простого» бизнеса стремится к нулю, и в странах где капитализму уже сотни лет — это вынуждает постоянно что-то придумывать ради лишнего процента прибыли и в крайнем случае — идти в «неприятный», высокотехнологичный бизнес где высокие требования к капиталу, длительные сроки окупаемости и высокие риски. Вы не можете открыть еще один магазин — во всех «вкусных» местах все уже открыто, вы не можете пробурить скважину к «легкой» нефти — все удобные месторождения уже закончились, вы, конечно, можете идти в строительство — но из-за дичайшей конкуренции вынуждены довольствоваться единицами процентов годовых.

В России же в начале 90-х выжил и был приватизирован именно простой бизнес, и первое поколение либеральных бизнесменов лоббировали такие изменения законодательства, которые позволяли сохранять высокие доходы без ухода в высокие технологии. Поскольку гражданского высокотехнологичного бизнеса практически не было — его интересы и некому было защищать.

Если бы существовал железный занавес — существование высокотехнологичного производства в таких условиях все равно было бы возможным, просто те, кто им занимается — продавали произведенные товары с худшими характеристиками по существенно более высоким ценам (в высоких технологиях меньше серия — выше цена). Однако с открытыми границами отечественный производитель в таких условиях неминуемо проиграет конкурентную борьбу с импортом, и никакой разумный уровень пошлин тут ничего не изменит.

Текущая ситуация даже без ручного вмешательства в долгосрочной перспективе нестабильна и по мере «взросления капитализма» на протяжении 2-4 поколений (50-100 лет) норма прибыли простого бизнеса естественным образом снизится (в связи с естественной сменой поколений владельцев крупного бизнеса).

## Откуда исторически родилось высокотехнологичное производство на западе?

Радиолампы обязаны своему агрессивному развитию не теплему ламповому звуку, а радиолокации и военной связи. Первые компьютеры придумали не для игры в крестики-нолики — а для баллистических расчетов: кто быстрее и точнее посчитал угол возвышения орудия — тот и победил. Затем — чем легче и меньше были компьютеры в баллистических ракетах — тем больше плутония с дейтеридом лития-6 и ложных мишеней можно было разместить в боеголовке баллистической ракеты и выше точность попадания. Тепловизоры придумали не для оценки утечек тепла на гражданских объектов, а чтобы танки и пехота могли вести прицельный огонь в безлунную ночь без демаскирующей ИК подсветки.

Лишь после того, как базовая технология на западе была доведена до серийного военного производства и оплачены все затраты на разработку, исполнителями получены «закрывающие» патенты — приходили коммерческие компании, и находили применения в гражданской сфере — с ростом объемов производства на порядки с соответствующим снижением себестоимости.

А когда серийная гражданская продукция начинала удовлетворять всем требованиям военных — её начинали напрямую использовать в военной технике — пользуясь её чудовищно низкой стоимостью. Это у буржуев называется COTS — Commercial Off-The-Shelf<sup>2</sup>, дешево и сердито.

## Как родилась кремниевая долина в США?

В кремниевой долине в 50-х годах компании выполняли военные заказы на разработку различной электроники (радары, апполон, бортовые компьютеры для баллистических ракет и прочее), и государство было крупнейшим покупателем на протяжении 60-х годов. Государство оставляло интеллектуальную собственность за исполнителями, но требовало предоставлять лицензии другим отечественным компаниям.

Можно оценить соотношение частных инвестиций и государственных заказов: потребовалось 20 лет заливать деньги через гос. контракты, чтобы столбик частных инвестиций стал хотя бы виден<sup>3</sup> (см. график ниже).

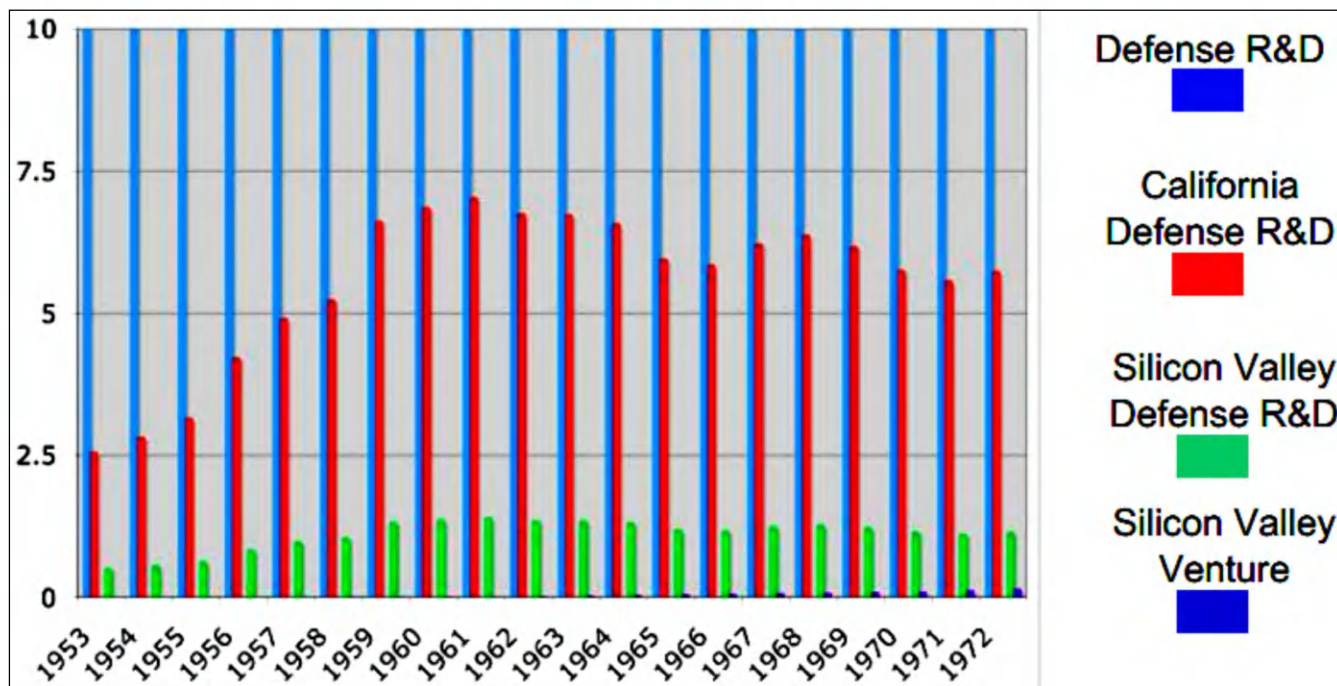
Наев за 20 лет жирка, набравшись опыта, заработав денег для частных инвестиций — новые компании смогли делать уже сложные микросхемы, имеющие коммерческую ценность, и из-за отсутствия конкуренции они смогли иметь фантастическую прибыль: так, процессор i8080 стоил 360\$ (и это гражданская версия), с пластины 76 мм их выходило порядка 50 годных (моя оценка по площади при выходе годных ~50%), стоимость строительства завода окупалась буквально за неделю работы — по нынешним меркам немыслимая прибыль. Для сравнения, сейчас микроэлектронный завод по новым технологическим нормам (10-14 нм) имеет срок окупаемости порядка 5 лет и выше при требованиях к капиталу в ~500 раз выше (~10 млрд.\$), по старым нормам — вообще с трудом окупается.

Отсюда вывод: кремниевая долина — не красивый офисный комплекс (его там вообще нет), не «атмосфера инноваций» — это огромные прибыли на основе технологий, разработанных за деньги военных в первые 20 лет. Затем — бизнес просто продолжал концентрироваться там по инерции. Слепое повторение этого сейчас

<sup>2</sup> Приблизительный перевод: Прибыль с того, что валялось на полке.

<sup>3</sup> График из отчета по ссылке:

невозможно нигде — просто потому что тех условий уже нет (открытие новой индустрии с огромным коммерческим потенциалом) и еще раз столько денег заливать на протяжении 20 лет никто не хочет.



#### Проблемы высокотехнологичного «импортозамещения», стратегии «догнать и перегнать»

«Догнать и перегнать» и «импортозамещение» — 2 очень популярные темы для публичных выступлений государственных чиновников во все времена. Казалось бы, вот Intel — делает процессоры (владеет как технологией производства по самым тонким техпроцессам, так и разработки самих процессоров), что нам стоит срывать углы, самостоятельно разработать технологию производства, схему и сделать свои процессоры с блекджеком и проститутками<sup>4</sup> (в идеализированном случае)?

Как мы помним, Intel тратит на исследования и разработки (R&D) 10.6 млрд.\$ в год. Естественно, положить в чистое поле 10 млрд и через год получить результат Intel не выйдет. Как минимум первые 5 лет новая «догоняющая» компания будет расти от 0.1 млрд.\$ R&D расходов в год до 10 млрд.\$ в год — будет расти штат, покупаться оборудование и проч. Через 5 лет — она сможет так же быстро эффективно тратить деньги, как и Intel. Теперь нам нужно еще 5 лет, чтобы прошел цикл разработки 1 продукта. Прошло уже 10 лет с начала проекта — мы потратили уже ~70 млрд.\$ и смогли получить продукт, сравнимый по характеристикам с процессором Intel и произведенный на отечественной фабрике. Однако продавать мы его можем с оговорками только на местном рынке — так как Intel держит закрывающие патенты на ключевые технологии, которые они не продадут ни

<sup>4</sup> Сакраментальная фраза робота Бендера из второго эпизода первого сезона «Футурамы»: Yeah, well, I'm gonna go build my own theme park, with blackjack and hookers. In fact, forget the park!. Приблизительный перевод: Ну да, я собирался построить мой собственный тематический парк с блекджеком и проститутками, но на деле забыл про сам парк. Это вообще-то был намек на то, что где бы ни появились американцы (или чтобы они ни делали) — там обязательно появятся бар, казино и бордель.

при каких условиях. На местном рынке мы зарабатываем сущие копейки, ведь это всего ~150 млн. покупателей против 7 млрд. мирового рынка. Поскольку большую часть стоимости высокотехнологичного продукта составляет совокупная стоимость разработки — она мало зависит от объемов производства. Следовательно, процессор для местного рынка обречен быть в  $7000/150 = 45$  раз дороже. Но если мы пока не ставим цель вернуть инвестиции на местном рынке — то это не конец.

Продолжаем работать еще 20 лет по 10.6 млрд.\$ в год — и через 30 лет после начала проекта, когда все старые патенты уже истекли, а новых патентов у нас примерно столько же, сколько и у конкурентов — мы, наконец, смогли конкурировать с Intel. Разница, однако, в том, что Intel свои расходы на R&D оплачивала из прибыли, а нам приходилось за все платить из денег государственного инвестора. Ну и еще нужны капитальные расходы — по 7 млрд.\$ каждые 3 года на строительство заводов на переднем крае технологий, плюс 70 млрд.\$. Догнать и перегнать Intel обошлось нам.. в 352 млрд.\$ и 30 лет работы.

Если бы мы жили в мире рыночной экономики эльфов — можно было бы просто купить Intel. Текущая рыночная капитализация — всего 127 млрд.\$, выкупить удалось бы с премией в 50% — итого нужно всего 190 млрд.\$, что выглядит лучше чем 352 млрд.\$ и 30 лет каторжного труда. Однако стратегические технологические компании никто в здравом уме не продает ни за какие деньги. За деньги без ограничений можно только предметы роскоши покупать — яхты и часы с бриллиантами.

Наконец последняя проблема — объем мирового рынка процессоров от появления еще одного игрока вдвое больше не станет. То есть если всего лишь достичь уровня Intel через 30 лет — то прибыль в первом приближении будет вдвое меньше того, что может получить одна Intel — рынок будет поделен пополам. Фактически получается, что «кто первый встал — того и тапки»: если включится в гонку процессоров в 80-е можно было с миллионными затратами — то сейчас и сотни миллиардов не хватит, чтобы обогнать Intel с их моделью бизнеса, причем без каких либо гарантий возврата инвестиций. Естественно, догонять можно и «фаблесс<sup>5</sup>» компанию (ARM или AMD) — это будет стоить в 5-10 раз дешевле, но и результат хуже, так как компания не будет самостоятельно владеть всеми необходимыми технологиями (гарантированное отставание по техпроцессу + «политические» риски связанные с использованием сторонней фабрики).

Исходя из всего этого, совершенно бессмысленно ожидать от «Эльбруса» МЦСТ результатов Intel: у МЦСТ годовой бюджет на разработку ~0.05% от Intel-а. Когда Бабаян (при всей неоднозначности его личности) просил жалкие (по меркам индустрии) 100 млн.\$ на разработку и производство процессора в кремнии — все только пальцем у виска покрутили, хотя в реальности, как мы видим, сейчас нужны десятки и сотни миллиардов. За счет «мощи интеллекта» и каторжного труда можно «вытащить» 2-х кратную разницу бюджета, 5-и кратную — но никакая сила на земле не позволила бы МЦСТ достигнуть результатов Intel при 2000-кратной разнице бюджета.

Совершенно аналогичная ситуация и с автомобилями: Автоваз потратил на разработки в 2012-м году 1.7 млрд. рублей, а Volkswagen — 12.8 млрд.\$, в 263 раза больше. Если бы Автоваз смог начать эффективно тратить на разработки 12.8 млрд.\$ в год — то через 10-30 лет можно было бы ожидать результатов на уровне Volkswagen. Естественно, в начале 90-х затраты были бы в разы меньше —

---

<sup>5</sup> Fabless company — [от англ. fab (fabrication) — производство и -less — суффикс, обозначающий отсутствие] — компания, которая специализируется только на разработке и продаже микроэлектроники, но не имеет собственных производственных мощностей (англ. fabrication facilities) — т.е. OEM. Чтобы изготовить свою продукцию, она передает технологию и размещает заказ на специализированном производстве других компаний, которые часто называют кремниевыми заводами (англ. silicon foundry).

но новым частным собственникам тогда нужна была краткосрочная прибыль, а не инвестиции с отдачей через 10 и более лет. И точно так же, как и с Интел – купить автопроизводителя, чтобы сразу получить доступ к его технологиям не выйдет, как показала история с попыткой покупки Опеля.

Если же начинать прорывные проекты с «шапкозакидательства» – получится Ё-мобиль. Оценка бюджета проекта была 150 млн. евро – сущие копейки в сравнении с конкурентами. Как можно пытаться создать конкурентоспособный продукт, рассчитывая за всю многолетнюю разработку и производство потратить 2% от того, что конкуренты тратят на разработку за 1 год?

#### **О покупке технологий**

А что если купить готовую технологию, построить свечной заводик на импортном оборудовании (в кредит) по производству процессоров и стричь купоны?

Высокотехнологичные компании – могут получать доход за счет:

- 1) Интеллектуальной собственности – когда они придумали что-то, чего нет у других.
- 2) Капитала.
- 3) Эффективной операционной деятельности (0-5% в год, в зависимости от удачи).

Если своей интеллектуальной собственности нет, и мы все купили/лицензировали – то и прибыль получит тот, кто эту технологию нам лицензировал. Да, если выторговать скидку – то какую-то прибыль можно будет отбить на протяжении 5-10 лет каторжного труда. Опять же – если все оборудование покупное – то интеллектуальную собственность, использованную при разработке и создании этого оборудования, мы оплачиваем в первую очередь.

Если своего капитала нет – то прибыль на капитал естественно получает банк.

Остается только прибыль за «эффективную операционную деятельность» – но эти жалкие проценты по российским меркам – сущие копейки.

Теперь должно становится понятно, почему будущее проекта<sup>6</sup> Ангстрем-Т покрыто мраком. Там еще и за оборудование заплатили дороговато, и пролежало оборудование на складе не принося прибыль 5 лет – в общем это канонический пример того, как можно устроить эпический провал на ровном месте.

При идеальной реализации, если бы переговоры о ценах на оборудование и лицензии доходили до драки (фигурально выражаясь), кредит был получен по ставке лидеров рынка (~4-5%, а не двузначная), все было бы построено и пущено в работу в кратчайшие сроки в 2008 году – то тогда Ангстрем-Т смог бы работать в 0. А сейчас – остается наблюдать, кто возьмет на себя списание 50-66% долга.

#### **Почему ИТ бизнес в России жив, а высокотехнологичное производство – нет?**

Ввиду того, что продукт труда чистых ИТ-компаний «магически» проходит через таможенные границы и бюрократические барьеры – большая часть негативных факторов тут не действует: остается только стоимость денег (конкуренция за капитал с простым высокодоходным бизнесом) и дефицит инженеров. Даже эти 2 остающиеся проблемы можно обойти, реализуя проект до стадии прототипа/бета-теста силами друзей долгими зимними вечерами (т.е. без инвестиций и без мучительного найма разработчиков).

---

<sup>6</sup> ОАО «Ангстрем-Т» – строящийся завод по производству интегральных схем по топологии 130-90 нм.

Также нужно помнить, что у нас много ИТ-бизнеса, который нельзя назвать высокотехнологичным: продавать время сотрудников выплачивая им часть полученных средств — это не высокие технологии, это банальная эксплуатация местного месторождения инженеров — экспорт их необработанных мозгов.

### Сколково, Роснано и другие с высоты

В Сколково решили, что раз сам по себе бизнес не хочет вкладывать в высокие технологии — пилюлю нужно подсластить: и сделали для резидентов налоговые льготы, а для мелких раундов инвестиций (если получишь одобрение грантового комитета) — часть денег можно получить безвозмездно (вернее, требуют отдачу бюрократией).

Понимая, что с Таможенной что-то не то, там также (в теории) компенсируют таможенные платежи по импортируемым товарам для строительства самого Сколково и используемого резидентами для исследований. На практике пользоваться этой льготой затруднительно.

После прочтения списка резидентов и посещения сайтов — у меня сложилось впечатление, что большая часть компаний-резидентов становятся участниками в надежде найти деньги на реализацию своей идеи, не получают денег (~85% резидентов) — и умирают не родившись, оставляя после себя только «единичку» в статистике количества резидентов.

Также в Сколково несколько центров коллективного пользования (ЦКП) различного действительно полезного научного оборудования — они являются отдельными коммерческими компаниями, оборудование закупают за свои деньги + соинвестирование Сколково, очевидно используя таможенные льготы (распределение долей соинвестирования Сколково-ЦКП узнать не удалось). Услуги по пользованию ЦКП стоят существенных денег, и соответственно для 85% резидентов недоступны.

Самые живые резиденты Сколково — дочки существующих отечественных и зарубежных компаний, которые просто экономят налоги в Сколково. Например «Сбербанк» в своем центре разработок пишет банальный Интернет-банк, Мобиксчип — аутсорсинг разработки микросхем для израильской компании, «Интел Софтвер» — аутсорсинг для Intel и проч. Как мы помним, аутсорсинг — это низкотехнологичный бизнес, эксплуатация местного месторождения инженеров — в России не остается интеллектуальной собственности, только зарплата и налоги с зарплаты.

В целом, Сколково это безусловно один шаг в правильном направлении (~0.5% пути), один шаг в обратную сторону (поддержка центров разработки — привет Бангалор<sup>7</sup>, они и сами нормально живут), но количество PR-а не соответствует микроскопическому объему грантов и инвестированных средств (по мировым меркам). В Сколково решают те проблемы, которые решать приятно: строить красивые офисы, раздавать гранты небольшому количеству компаний, светится в прессе, а не те, которые требуют решения: доступность дешевого капитала для десятков тысяч (а не 136 за 4 года) мелких стартапов на различных стадиях, скорость и стоимость логистики, таможня, необычно высокая доходность простого крупного

---

<sup>7</sup> Бангалор (Индия) — один из наиболее динамично развивающихся городов Азии, крупнейший в стране научный и индустриальный центр, выпускающий продукцию машиностроения, электроники, аэрокосмической отрасли, телекоммуникационного оборудования и оборонной промышленности. Кроме того, Бангалор часто называют «индийской кремниевой долиной» за большое количество компаний, связанных с информационными технологиями. Здесь также находятся Университет, Институт наук Индии и Национальная лаборатория аэронавтики. Учитывая всё возрастающую экономическую роль Бангалора в мире, газета CNN в 2007 году обозначила этот город как «одно из наиболее привлекательных мест для ведения бизнеса в странах третьего мира».

бизнеса, делающего высокотехнологичный бизнес бессмысленным занятием без постоянных дотаций.

Также идея того, что высокотехнологичные компании нужно обязательно тащить в одно место — калька с кремниевой долины образца 60-х годов прошлого века, когда интернета не было. Сейчас наоборот, нужно поощрять максимальное заполнение высокотехнологичными компаниями всей территории страны, чтобы им легче было находить инженеров (которые не всегда хотят/могут ехать в Москву).

Роснано — на первый взгляд действует исходя из гипотез: «Бизнес просто не хочет инвестировать в высокие технологии», «У бизнеса слишком мало денег» и «Нанотехнологии — это прорывное направление, достаточно немного поинвестировать на рыночных условиях и выйдем в лидеры». В отличие от Сколково — требуется создавать что-то физически в России, финансирование на рыночных условиях (в народе говорят, процентные ставки по кредитам двузначные), никаких налоговых льгот нет. Совершенно не удивительно, что на таких рыночных условиях конкурентоспособные высокотехнологичные проекты не выстроились в очередь за деньгами.

Проекты, находящиеся в инвестиционной стадии оценить сложно — пока не начались реальные продажи всегда можно делать хорошую мину при плохой игре. Просто произвести высокотехнологичную продукцию, и произвести конкурентоспособную на мировом рынке продукцию — это задачи отличающиеся по сложности на порядки.

Из того, о чем мне приходилось слышать:

- СИТРОНИКС-Нано — докупка оборудования и лицензии на 90 нм технологию для Микрона. Производство мелкосерийное, для гражданского коммерческого рынка обречено быть слишком дорогим.
- Mapper Lithography. В России локализуется производство незначительной и некритичной части оборудования (часть электронной оптики, фактически «пластина с дырками»: литография с микронными нормами и ионное травление), впрочем, и доля инвестиций Роснано в проекте небольшая — было бы сложно требовать большего.
- Оптиган — производство светодиодов и законченных устройств на основе кристаллов, произведенных за рубежом. Как раскопали в своё время, кристаллы у Оптигана и СветаЛЕД были крайне похожи.
- Нитол — построили завод по производству поликристаллического кремния, но оказалось, что за время строительства стоимость поликремния упала в разы, за счет ударного роста производства в Китае. Пришлось закрыть. Осталось понять, почему не получается выпускать продукцию с «китайской» ценой.
- Plastic Logic — деньги от Роснано с условием строительства завода в Зеленограде получили, но затем строить завод передумали. Планируют теперь продавать технологии. Производство и исследования остались в Великобритании/Германии.
- Хэвел — собирались делать тонкопленочные солнечные батареи повышенной эффективности. Судя по открытой информации — эффективность получилась 8%, при том, что самые дешевые китайские поликристаллические батареи сейчас имеют эффективность 16-17% (при примерно той же цене за ватт, порядка 0.5\$ за ватт и менее). Соответственно, на открытом рынке коммерческие перспективы ограниченные. Компания, поставщик технологии (Oerlikon) — солнечный бизнес успела продать Tokyo Electron Ltd., а та его прямо сейчас физически ликвидирует — проиграла конкуренцию Китаю.
- Уником — раздробленные автомобильные покрышки как наполнитель для асфальта. Основатель проекта — знатный аферист. Компания в прошлом году подала на банкротство, но до сих там что-то шевелится.

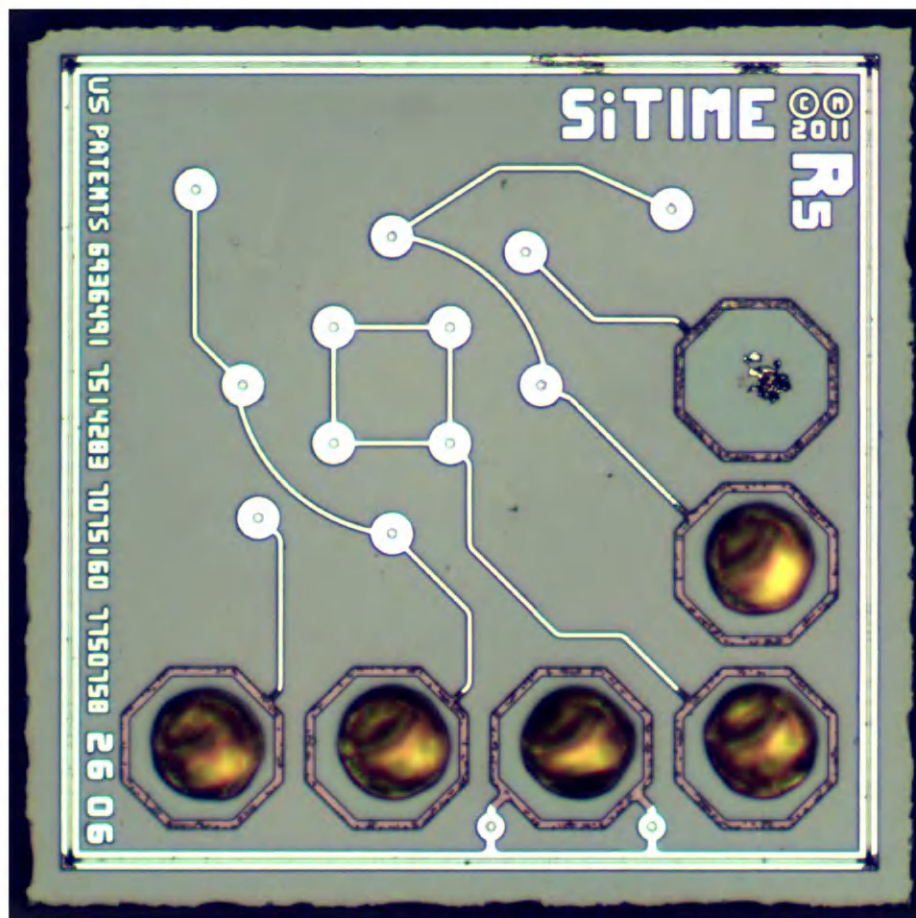
- Лиотех – производство LiFePO<sub>4</sub> аккумуляторов. Выпросить у них образец аккумулятора не удалось, какие там цены продукции – неизвестно.
- ЭЛВИС-НеоТек – fabless разработка микросхем для видеонаблюдения и систем видеонаблюдения на их основе.
- Крокус Нанoeлектроника – производство MRAM-памяти на 300 мм пластинах. На готовые пластины с CMOS-логикой наносят несколько дополнительных слоев для MRAM-памяти на Московском производстве. Надеюсь от такой логистики (возить пластины через весь мир как минимум 2 раза за цикл производства) себестоимость страдает незначительно.

Как видим, конкурентоспособное высокотехнологичное производство как-то не хочет на рыночных условиях полностью идти в Россию – всячески изворачивается, чтобы критические компоненты остались за рубежом. Впрочем, так тоже можно и нужно встраиваться в мировое разделение труда для гражданских целей – не обязательно тащить всю цепочку в одну страну, но хоть где-то критические компоненты должны быть тут.

Затем Роснано стало финансировать и «центры разработок» (опять «привет Бангалор») – аутсорсинг, не оставляющий в России ничего кроме налогов на зарплаты: Aquantia, Quantenna, SiTime.

Если смотреть на цифры инвестиций Роснано – может сложиться впечатление, что Роснано – во многих случаях мажоритарный инвестор. Однако Роснано похоже публикует цифры по конкретному инвестиционному проекту, а не общие по компании: так для SiTime указан бюджет проекта 541 млн. рублей, при том что еще в 2007 году SiTime получила инвестиций суммарно на более чем 40 млн.\$.

Кстати, микросхему SiTime SiT8008 (снимок ниже) удалось поковырять: это генератор на основе MEMS, а не кварца. Микромеханический резонатор запаян в вакууме внутри кристалла. Это действительно хайтек – жаль, что и производство и интеллектуальная собственность остается за рубежом.



В конечном итоге — Роснано делает что может, вынуждает гос. компании использовать производимую продукцию (там где это возможно), пройдено 0.5% пути вперед, 1 шаг назад (поддержка «центров разработки» по прообразу Индии) — фундаментальные сложности с появлением и выживанием коммерческих высокотехнологичных компаний в России не решаются. Инвестирование в компании на коммерческих условиях — это лишь последний и самый приятный шаг в высоких технологиях.

ФПИ (Фонд перспективных исследований) — создается как отечественный аналог DARPA, что может решить проблемы с доступностью капитала и бюрократией (если быть оптимистом). Однако есть и существенное отличие: в DARPA у государства остается лишь неэксклюзивная лицензия на использование полученной интеллектуальной собственности, а у нас — у исполнителя имущественных прав на ИС не остается. В США исполнитель без ограничений может коммерциализировать разработку, в том числе и на гражданском рынке, а у нас государство может остаться с этой интеллектуальной собственностью как собака на сене плюс исполнитель мотивирован только зарплатой и краткосрочной скромной прибылью за «сдачу темы».

То есть в текущем виде новая кремниевая долина не сможет родиться из проекта профинансированного ФПИ, может получиться лишь что-то вроде процессора F14A — который существенно превосходил первые процессоры<sup>8</sup> Intel, но оставался засекреченным долгое время.

Право на интеллектуальную собственность принадлежит Российской Федерации в лице Фонда. Это определено законом.

### Почему Китай так рвет вперед?

Популярное объяснение — «низкие зарплаты». Но низкие зарплаты и в Африке, а расцвета высокотехнологичного производства там не наблюдается.

Для начала — в Китае не было приватизации по образцу России — и крупные компании, занимающиеся простым высокодоходным бизнесом (добыча и первичная переработка природных ресурсов, энергетика и проч.) так и остались государственными. Приватизировали наоборот, компании помельче, где после покупки впахивать нужно, а не купоны стричь. В результате — предприниматели были вынуждены заниматься развитием реального, сложного бизнеса, а не разделом и эксплуатацией «простого». Подтверждение легко увидеть, взглянув на список китайских миллиардеров. Хотя уже сейчас видно встающую во весь рост проблему пузыря на строительном рынке в Китае.

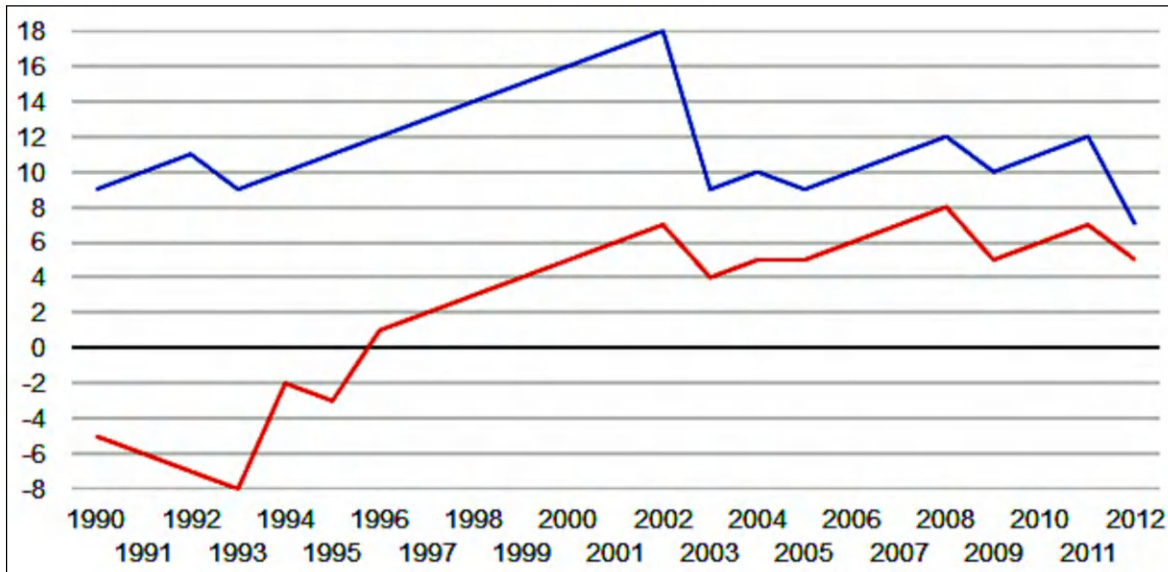
Откуда там все берут деньги за создание бизнеса — лично мне не ясно. Существующий бизнес — активно кредитруется в гос. банках, и долговая нагрузка там чудовищная. Благодаря огромным государственным инвестициям («reverse build-operate-transfer»<sup>9</sup>) — финансирует государство, управляет частная компания, долги минимальны), Китай успел запрыгнуть на ступеньку уходящего поезда микроэлектроники. Если в начале 90-х годов Китай еще пытался импортировать мик-

<sup>8</sup> Первый процессор Intel 4004 был выпущен в ноябре 1971 г. Незадолго до этого, в 1970 году, военными был разработан процессор F14 CADC:

<http://www.firstmicroprocessor.com>, но он был долгое время засекречен. Поэтому процессор компании Intel считается первым коммерчески доступным однокристалльным процессором.

<sup>9</sup> Build-operate-transfer (BOT) — строительство-эксплуатация-передача (англ.) является одной из форм финансирования проекта, в котором частная компания получает концессию от частного или государственного сектора для финансирования, проектирования, строительства и эксплуатации объекта. Reverse означает обратный или обратимый — когда объект передается в управление частной компании.

роэлектронные технологии у нас, то сейчас он далеко впереди (см. ниже: синий график — отставание ввода микроэлектронных технологий от США, красный — от Китая) .



Крупнейшая китайская микроэлектронная фабрика — SMIC — играет «по-белому», выполняя все требования экспортного контроля США, за что получила статус «Validated end user<sup>10</sup>», снимающие многие ограничения в отношении этой конкретной компании, ценой строгого исключения военных заказов.

Далее — количество инженеров огромное. Расходы на логистику минимальные — производство компактно размещено вдоль берега по специализациям. Наиболее яркий пример — Шэньчжень, где не покидая пределов города можно в кратчайшие на земле сроки пройти все шаги производства электронной продукции от разработки до погрузки на корабль.

Именно доступность квалифицированной рабочей силы и капитала, скорость и затраты на логистику, минимум бюрократии с импортом/экспортом — являются необходимыми пререквизитами для успешного высокотехнологичного производства, а вовсе не низкие зарплаты. И в Китае с этими факторами все более-менее отлично. Естественно, это не значит, что в Китае нет других проблем.

#### О невозможности траты доходов от продажи нефти

Часто приходится слышать, что доходы от добычи и переработки нефти (и других ресурсов) невозможно потратить, так как они неизбежно вызовут инфляцию ("голландская болезнь").

На самом деле, конечно же, их можно потратить без инфляции внутри страны — для этого их и тратить нужно за границей сразу, покупая импортное оборудование для производства (если продадут), оплачивая время работы зарубежных инженеров, которых нам не хватает («инсорсинг»), покупая зарубежные высокотехнологичные компании (если продадут). Естественно, самому государству оборудование и человеко-часы инженеров особо не нужны — а следовательно должен быть механизм, по которому частные компании в конкурсном порядке могли бы получать часть валютных доходов государства прямо в виде валюты для расходов строго за

<sup>10</sup> Приблизительный перевод: Утвержденный (сертифицированный) конечный пользователь [технологии] .

пределами страны. Впрочем, если быть реалистами, ожидать появления подобного механизма в обозримом будущем не приходится.

Естественно, инфляция в таком случае никуда не денется — просто она будет за границей, и соответственно будет головной болью других стран с дефицитом баланса внешней торговли.

## Резюме

Возвращаясь к списку популярных и неверных причин:

- 1) Нет умных людей. — Есть и много. Но они предпочитают работать там, где их труд оценивается максимально высоко — аутсорс, за границей, в простом, но высокодоходном бизнесе.
- 2) Много умных людей и инновационных идей, но они не умеют их коммерциализировать. «Инновационные идеи» банально проигрывают по экономике простому бизнесу — так что никто за ними и не охотится. Чтобы выстрелила одна идея — проверка 99 идей должна быть оплачена и провалена.
- 3) Нет денег. Деньги есть, но они заработаны в основном на «простом» бизнесе людьми, которым высокие технологии мало интересны (как ввиду экономики, так и ввиду сложности).
- 4) Слишком много нефтеденег / только нефть качать и можем. Это хороший бизнес. При капитализме без ограничений бизнес именно этим и обязан заниматься.
- 5) НДС (в том числе таможенный). НДС есть во многих странах с развитым высокотехнологичным производством. Если работа ведется легально — то при конкуренции на внешнем рынке НДС возвращается (в том числе таможенный НДС за импортируемое оборудование), но это, безусловно, несколько увеличивает требования к капиталу.
- 6) Коррупция. Коррупция безусловно является частью проблемы — так как позволяет простому бизнесу иметь необоснованно-высокую прибыль. А так коррупция есть везде — откаты придумали не в России, и не от хорошей жизни в Китае приходится чиновников расстреливать — в Азии коррупция без контроля особо свирепа.
- 7) Климат плохой. В высокотехнологичном производстве обычно требуется контролируемая температура и влажность — а с учетом энергозатрат на осушение воздуха (когда его сначала охлаждают, а затем нагревают) с российским континентальным климатом затраты энергии на самом деле меньше.
- 8) Слишком мало построено офисных площадей для инновационных стартапов. Полагаю тут все очевидно — как показала практика, компании мирового масштаба и в гаражах/квартирах без гламура нормально рождаются.

Для того, чтобы коммерческое высокотехнологичное производство рождалось и выживало — это должно быть выгодно, должно быть много людей, у которых есть деньги на проверку и патентную защиту кучи идей (выстрелит-то 1 из 100), должен быть доступен дешевый капитал для реализации, должно быть доступно много инженеров, которые будут реализовывать идею на практике, процесс реализации не должен быть усугублен логистическими (скорость и стоимость служб доставки, цены локальных компаний-исполнителей) и бюрократическими сложностями (сертификация, криптография и ФСБ, таможня, даже госнаркоконтроль с его ограничениями по химии промышленного значения) которые могут дать преимущество конкурентам в других странах.

## Как мы дошли до жизни такой

В России почти нет гражданского/коммерческого высокотехнологичного произ-

водства, потому что в процессе приватизации частный бизнес получил «простые», высокодоходные активы. В дальнейшем, этот бизнес лоббировал законы, сохраняющие доходы «выше рыночных» для простого, низкотехнологичного бизнеса. Расцвет бюрократии и разного рода искусственных ограничений (таможня, многочисленные сертификаты, разрешения...) — опять же позволяют иметь легкую прибыль на преодолении сложностей особыми путями.

Бизнес так делал не потому, что он какой-то плохой или глупый: это была наиболее прибыльная стратегия, а значит и выбора не было.

В таких условиях высокотехнологичный бизнес (который обязан конкурировать на мировом рынке для максимального увеличения серии и соответственно снижения себестоимости) совершенно не выгоден: он требует много денег, квалифицированных инженеров, имеет большие риски, длинные сроки окупаемости.

Как результат, сейчас простой бизнес (строительство, розничная и оптовая торговля, добыча и переработка ресурсов, аутсорс) выигрывает борьбу за инвестиционный капитал. Естественно, привлекать инвестиции можно и за рубежом — но тогда инвестор захочет чтобы головная компания, владеющая основными активами была в зарубежной юрисдикции (т.е. все вырождается в классическую схему «российский центр разработок» + все остальное за рубежом).

Государство со своей стороны закрывает возможность «первоначального накопления капитала» для компаний, выполняющих гос. контракты (как это случилось в кремниевой долине в США) — оставляя у себя интеллектуальную собственность и требуя показывать при выполнении гос. контрактов по бумагам скромную чистую прибыль, что не дает даже в перспективе заработать достаточно денег для запуска своих рискованных высокотехнологичных проектов.

### Хочешь порвать Intel?

Если вы хотите создать свой высокотехнологичный бизнес, связанный с реальным производством — в первую очередь нужна действительно новая идея (со старыми идеями — обычно нужно слишком много денег для коммерческого результата на занятом рынке), необходимо сразу думать, как максимально нивелировать существующие Российские проблемы:

- отказаться от сверх-крупнобюджетных проектов (вроде своего процессора, затыкающего за пояс Intel),
- делать действующий прототип своими силами, в первую очередь находить инженеров — в условиях дичайшего дефицита квалифицированной рабочей силы — это фатальная проблема,
- использовать минимум слишком дорогого капитала (а не как Displair<sup>11</sup>),
- минимизировать количество пересечений физическими вещами нашей таможенной границы (по возможности до 0).

Если вы ориентируетесь на местный рынок или узкую нишу — нужно сразу реалистично оценивать объем рынка в штуках — чтобы было понятно, насколько мало денег можно потратить на разработку, и насколько сильно придется срезать углы ради снижения стоимости разработки.

### Хочешь порвать Facebook?

Что ж, тут все на порядок проще. Бюрократия, таможня и логистика проблем

---

<sup>11</sup> Displair разрабатывала безэкранные дисплеи. Проектор транслировал изображение на поток пара. В результате получалось объемное изображение, которое можно потрогать и даже взаимодействовать с ним. Эта компания получила неплохие инвестиции, но по-глупому растраниживала их и в итоге потерпела крах.

практически не создает. Остается лишь нахождение новой идеи, доступность капитала и квалифицированных инженеров — а решению этих двух последних проблем посвящено множество более подробных статей.

Когда ждать  
конкурентоспособных  
отечественных процессоров  
и видеокарт?

Процессоры x86 в США разрабатывают не потому, что там люди какие-то другие — в конце концов, наши соотечественники и в Intel, и в nVidia и во многих других высокотехнологичных компаниях работают. Тут действует принцип «кто первый встал — того и тапки». В кремниевую долину в 50-70-х годах залили огромную кучу денег американских налогоплательщиков (порядка 50 млрд.\$ с учетом инфляции) через военные исследовательские контракты — и совершенно справедливо пользуются результатом до сих пор.

Кроме того, Intel уже более 40 лет доходы от продажи процессоров реинвестирует в усложнение технологии, владеют кучей патентов — и чтобы сейчас достичь их уровня в равных условиях (налоги, бюрократия, доступность капитала) понадобилось бы по моей грубой оценке порядка 352 млрд.\$ и 30 лет работы — на что конечно никто пойти не может. Всем нужен свой Intel за 0.1, а лучше 0.01 млрд.\$ (Хе-хе).

Однако по тем же причинам и для США затруднительно создать свою технологию разделения урана центрифугами и строить ядерные энергетические реакторы на быстрых нейтронах. Так что где-то они побеждают, где-то мы, где-то Китай — нужно развивать то, где есть преимущество и не перенапрягаться там, где для достижения паритета пришлось бы потратить все ресурсы страны на одну компанию.



## ЦВЕТЫ ТЕХНОЖИЗНИ

Александр Тюрин

### ГЛАВА 1. ДО ВОЙНЫ

#### 1.

Пожалуй, запахи Грамматикову сейчас мешали даже больше, чем шумы.

Пережаренный картофель, табачный дым, перегар. Мама не верит, что он чувствует перегар, который источает сосед Стасик, лежащий за стеной на диване, продавленном многими поколениями алкашей. Источает всеми своими порами, вместе с запахом мочи от штанов, ни разу не стиранных за последние сто лет. Из его глаз и ушей выходят сивушные испарения раскисшего мозга, где нейроны плавают в сомнительном самогоне. Самогон гонят из саморазрушающегося пластика бородатые дяди с хищными глазами, а продают добрые бабушки, которые даже не знают такое слово: "краун-эфир".

И шум тоже мешает. Стасик, конечно же, забыл выключить телевизор, приклеенный у него прямо к стене.

Музыка из трех нот как ложка перемешивает мысли в его голове. Но особенно задолбали новости. Музыка, новости, музыка, новости. В перерывах между музы-

кой, в выпусках новостей приближается война. Война похожа на зверя, у которого вместо шерсти факелы ракетных запусков, вместо дыхания лучи радаров, а вместо инстинктов страницы из уставов и штабных директив.

Уже сейчас известно, что война продлится недолго, что нас больно побьют и, что она получит имя "Сибирская война". Если точнее, Cyberian War, типа сибирско-кибернетическая.

Надо успеть до её начала, до рёва сирен, до запаха портянок! Лишь бы она не прыгнула ему на загривок сегодня или завтра. Хоть бы отхватить у нее неделю, а еще лучше десять дней...

Со вчерашнего дня Би-би-си ухитрилось забить со спутниковых станций передачи нашего телевидения. Би-би-сишный диктор говорит с хорошо синтезированным простонародным сибирским акцентом, окает, чёкает. Говорит, что российское правительство попало демократические свободы, отобрав контрольный пакет акций компании "Таймыр Ойл" у коренных народов Сибири и таких-то законных владельцев, проживающих в Лондоне. Говорит, что Россия в нарушение рижского соглашения не выводит свои войска из Западной Сибири. Говорит, Россия до сих пор не выдала международному трибуналу военных преступников, устроивших расправу над мирным оленеводческим населением тундры...

Андрей Грамматиков завидовал соседу по коммуналке. Стасика заботит только сдача стеклотары, да и то не очень. Если надо, то добрые бабушки и так нальют. Стасик смотрит на мир, как будто это - мутное бутылочное стекло, за которым есть что-то еще. Зеленая многоградусная Бездна...

Стеклотара. Хотя мама перед отъездом на дачу оставила Грамматикову всю свою офицерскую пенсию, деньги почти все уже ушли. Работа движется куда медленнее. Стеклотара. Можно было бы и сдать, но где ее нынче найдешь в краю саморазрушающихся пластиковых упаковок? Только истинно первобытные собиратели вроде Стасика могли еще накопать пять-шесть бутылок за день...

Попробовать положить грелку на шею, разогреть увядшие кровеносные сосуды, но идти на кухню за горячей водой - опасно. Марина Аслановна на тропе войны, вон как грохочет кастрюлями.

На лице у творца, не отличавшемся ни красотой, ни мужественностью, были ссадины и даже синяк.

Марина Аслановна вчера ударила. Только не сверхлегкой полиуглеродной сковородкой, а допотопной чугуной. От нее пахло адреналином и тестостероном, а под носом, в горячих ветрах звериного дыхания развевались хорошо заметные усики...

Мономолекулярные экраны, плавающие как линзы в глазах Грамматикова, помещали виртуальное окошко для сетевых сообщений слева от него.

Поэтому, как бы прямо в воздухе, висел очередной отказ от издателя. Невежливый. Всего из пяти сизых одутловатых слов. "Дорогой Андрюша, не мешай работать". Отказ тыкался в лицо Грамматикову, как дуля. Его научно-художественно-философская книга называлась бы "Кому мешает техножизнь?"

Теперь остается спустить и текст, и картинки в канализацию всемирной сети, где от них будут с ленцой отщипывать профессиональные гиены-плагиаторы. С ленцой, потому что на этом ничего не заработаешь, другое дело, если бы книга была посвящена порносадистскому людоедству и называлось бы "Тело как блюдо любви".

Справа томился абсолютно реальный покосившийся шкаф, напоминающий геологический разрез: снизу энциклопедии, утрамбованные до гранитной плотности, выше - отложения всякой журнальной ветоши. Найти смысл этому шкафу сегодня было трудно - чип, встроенный в зубной протез, содержал информации на порядок больше. Впрочем, к стенкам шкафа были прицеплены пожелтевшие фотографии предков, наклеенные на истрепанный картон. Прабабушке баронессе фон Урман подарил томик своих стихов сам Николай Гумилев. Наверное, предварительно лишив ее не-

винности в кабриолете. В этом непутевом роду иначе и не могло быть.

Андрей Грамматиков посмотрел в другое виртуальное окно, и зевнул.

Там мельтешило что-то напоминающее гроздь шаров. Это были атомы и молекулы. Руки Андрея, обтянутые цифровыми перчатками, манипулировали структурой вещества в виртуальном окне. Руки чувствовали неприличное притяжение, когда атомы и молекулы стремились по быстрому вступить в связь, и отталкивание, когда они явно не переваривали друг друга. Атомы попискивали, молекулы похрюкивали.

И это не было игрой в виртуальном пространстве.

На реальном столе стояла реальная тарелка. В ней – что-то похожее на мамочкин бульон, даже с желтыми кругляшками жира.

Пожожее, но еще лучше. Лучше мамочкиного бульона для Андрея Грамматикова могли быть только техноклетки в коллоидном растворе, кое-где с агрегацией в виде геля. Техноклеточки любимые и драгоценные. Ядра-процессоры на квантовых точках. Клеточные мембраны, способные когерентно передавать сигналы в миллиметровом диапазоне. И все такое прочее.

От громоздкого, размером с мыльницу, компьютера тянулось к тарелке несколько оптических проводов, каждый из которых заканчивался "ложечкой" фуллеренового чипа. Ложечки были прихвачены к краям тарелки пластырем. Справа от тарелки – трипод наноманипулятора, похожий на задумавшегося инопланетянина. Самая дорогая вещь в его доме, за которую пришлось не без трепета отдать подлинную картину художника Ге...

Чувствительность была сильной стороной Андрея Грамматикова. С помощью своей чувствительности он мог сделать больше, чем трое выпускников самых престижных университетов с предельно сильным абстрактным математическим мышлением.

Но в то же время чувствительность ему и мешала.

Бражеские звуки и запахи пробивали стену все мощнее. Марина Аслановна бьет копытом. Стасик перешел в фазу трупного разложения. Его труп, похожий на рвоту, стекает с кровати. Какая-то птичка кричит за окном, словно ее насилуют. А может ее и в самом деле насилуют? Сегодня насилуют всех, кто ослабел или просто зазевался. Конец зимы. Почерневшие остатки снега напоминают зубы Стасика. Тьфу, опять Стасик.

Рободиктор из Би-би-си с неизменным "оканьем" вещает о военных преступлениях русских спецназовцев на Таймыре... На одном оленеводческом стойбище правозащитники из организации "Дудаев Мемориал" нашли пять трупов мирных жителей, на другом – семь. Все оленеводы были уничтожены с применением оружия массового поражения – отравляющих веществ, что является прямым нарушением Женевской конвенции. Представители долганско-ненецкого национального конгресса заявляют о геноциде, которым подвергла Москва некогда многочисленные народы древней таймырской цивилизации в течение последних четырехсот лет...

Сегодня у Андрея Грамматикова полный пролет. И завтра техноклетки в этой тарелке распадутся, и у него не будет бабла, чтобы купить нанокристаллы у Вовки, что пасется около ДК имени Крупской темными дождливыми вечерами. Увы, техноклетки вырастают только из вовкиных программируемых кристаллов.

Из какой же лаборатории Вова тащит капсулы с нанокристаллами, чтобы толкать по цене бутылки водки?

Да, собственно, не один ли... Завтра в моем пыльном кармане не найдется и на полкило синтетической колбасы со скромной этикеткой "Колпинская механохимическая фабрика по переработке канализационных стоков."

До слез стало жалко и своей головы с застывшим комом мыслей, и себя, и прабабушки баронессы, которая, говорят, совсем свихнулась от слишком быстрого течения прогресса, и тех предков, которые строили мартеновские печи, домны и бросались с гранатами под вражеские танки. Предки за десять лет сделали то, что хитрый и расчетливый Запад делает за сто лет. Предки не позволили Западу

утилизировать нас как дагомейских негров или стереть с лица Земли как тасманийских аборигенов. Предки думали, что победили. Однако их потомки, эгоисты и трусы, спустили все наследие предков за десять лет.

Андрей Грамматиков еще раз посмотрел на обиженное лицо прабабушки, и его рука в цифровой перчатке коснулась дрожащих атомных шариков...

Истощенные мозги уже не слушались стимботов. Так всегда бывает как переборщишь с этими крохотными активистами, дрючащими его синапсы.

Тяжело опустились веки, как бронированные жалюзи в пригородном магазине. Глаза словно погружались в гудящую тьму. Но когда Андрей с великим трудом открыл их... то в тарелке уже был не просто коллоидный раствор техноклеток! А совместно функционирующий конгломерат, настоящая колония техноклеток, организовано откликающаяся на вызовы пользовательского интерфейса.

В одно мгновение, с величайшей готовностью, сознание Андрея очистилось от сна - и он увидел города будущего. Живые дома, похожие на гигантские анемоны, кораллы, радиолярии. Живые магистрали, точь-в-точь огромные змеи, извивающиеся среди живых небоскребов. Живые машины, размножающиеся почкованием и живорождением новых машин. Живые системы, освобождающие живых людей от гнета тупой материи, от засилья мертвых систем и механизмов. Живая думающая техника, которая не требует жертв, как стальные и чугунные молохи столетней давности.

К нам на помощь спешат не бездушные производительные силы, а технодрузья, которые подарят нам свою любовь и сочувствие, которые утрут нам пот, слезы и сопلي...

А чудо в тарелке было символом всего этого будущего великолепия. Оно было зародышем грядущего мира.

Андрей поднес палец к зеленому пупырчатому отростку с крохотными белыми волосками и тот слегка "привстал"... Волоски оказались крючочками, которые вошли в кожу человека.

Появилось три капельки крови. Андрей отдернул руку, но не с возмущением, а с благодарным трепетом, с которым отец воспринимает первый укус своего маленького сына.

Это - нормальный метаболизм. Колония техноклеток уже питается, как все приличные живые существа, готовой органикой, окисляя ее до воды и углекислого газа. Задача "быть живым" распределяется на миллионы подзадач, которые успешно решаются процессорами, находящимися в ядре каждой техноклетки...

Зазвонил телефон, старый, засаленный. Грамматиков схватил трубку и закричал:

- Мама! Оно живет! Растет, питается.

- Я не твоя мама, я не умею жарить котлетки и вытирать тебе попку, - голос в трубке был молодым, нежным, а не старческим, дребезжащим.

- Все ясно, девушка, вы сильно ошиблись номером. По этому номеру звонит только моя мама, потому что тут живет один маленький мальчик с соплей из отработанных стимботов под носом.

- Извини, - сказала девушка, - но судя по твоему голосу, ты - давно не мальчик.

- Это только по голосу. Да и паспорт врет, что мне тридцать три. В самом деле, если бы мне было бы тридцать три, то я, конечно, обскакал бы Александра Македонского и уж как минимум бы завоевал бы Персию и Индию.

- И скончался бы в страшных муках от переизбытка славы, - поддержала девушка. - А кто растет, кто питается? Ты завел морскую свинку?

- Это... это трудно объяснить, это то, чего раньше не было.

Голос на том конце трубки стал затухать, как огонек свечи.

- Похоже, я действительно ошиблась номером. Да, мальчик, тебя еще рано поздравлять с днем защитника Отечества.

Раздался гудок, голос со смешком исчез, втянулся в прекрасный новый мир ал-

мазoidных башен Васильевского острова или уютных кафешек Петроградской стороны...

Андрей стал тереть задрожавшие руки. Как устроен человек? Несерьезно устроен. Чуда в тарелке ему мало. Прекратившей ржать и бить копытом Марины Аслановны – тоже мало. Ему еще и подавай в день защитника Отечества зеленоглазую красотку с бархатым голосом и рыжей косой до попы.

Телефон зазвонил снова.

– Ну да, мам, слушаю. Ты когда с дачи приедешь?

– Мам сейчас пьет чай с вареньем, – голос на том конце все тот же молодой, нежный. Прямо недоразумение в квадрате. На секунду у Грамматикова даже появилась мысль, что это говорит чат-бот, удачно прошедший тест Тьюринга. Сейчас предложит купить одноразовые носовые платки со скидкой или средство от ожирения.

– Но вы, девушка, наверное, снова ошиблись номером.

– В первый раз я ошиблась, а теперь я хочу узнать про это... то, чего раньше не было. Тем более и день подходящий.

## 2.

Она не была зеленоглазой и рыжей. Но она была, что надо! Вера Лозинская оказалась тоненькой брюнеточкой. Стильной. Фотоническая татуировка чего стоит – змейки из изумрудного огня как будто ползут по ее предплечьям. И первое чувство, которое испытал Андрей Грамматиков при встрече со стильной Верой, был стыд.

Как ни прибирался, ничего путного в квартире ему добиться не удалось. Мицеллярная тряпка-грязеедка скорее размазывала, чем поглощала грязь. Да, Андрей перещелкал мухобойкой все рекламные пузыри, мерцающие спамом (едва откроешь форточку и уже не пропихнуться, столько налетело). Но от них остались светящиеся потеки на стенах, эти макромолекулы – такое стойкое дерьмо. Да, взял на прокат у Константина Петровича декоративный водопад со сжиженным гелием, текущим вверх на манер картин Эскера. Но это штука смотрелась на фоне обшарпанных обоев также нелепо, как и фрак на бомже. И статуэтка металлургической девушки, всегда готовой взмахнуть веслом, едва щелкнешь ее по задку, демонстрировала уже не чудеса молекулярной механики, а плохой вкус.

Впрочем, брюнетка оценила фотографию прабабушки.

– Классно. Состаренная бумага. И телка в правильном прикиде. Предок?

Прабабушка была, пожалуй, похожа на Веру, только взгляд совсем другой и без музыкальной жвачки во рту.

– Предок. Баронесса, кстати, – нашел чем похвастаться Грамматиков, мучительно сознавая, что у его квартиры слишком скромное обаяние.

– А что, в Рашке разве были баронессы?

Слово "Рашка" покорило Андрея, но недовольство сразу улетучилось. Девушки вроде Веры всегда правы.

– Баронессы были. Остзейского, то есть прибалтийского происхождения. А вот мой прапрадедушка, действительный статский советник...

– Тебе нужны точно такие же сексуальные усы, – Вера сравнила портреты прадеда и правнука, приложив лицо Грамматикова к фотокарточке своей аккуратной, но сильной ручкой. – Если не растут, могут снабдить классным геночипом.

Она так и осталась с ним на "ты", здорово. Хотя Андрей чувствовал, что это, скорее всего, свидетельство ее пренебрежения его персоной.

– А теперь расскажи мне про твое чудо-юдо, – попросила Вера.

Андрей говорил и говорил, хотя понимал, что этого делать не стоит. Что нельзя раскрывать постороннему то, что не слишком ясно самому себе.

– ... Это, без преувеличения, новый уровень нанотехнологии. Не просто стая

наноботов, которые собирают атом за атомом, молекула за молекулой какую-то конструкцию, а затем тихо-мирно выпадают в осадок. Мне удалось собрать техноклетку, затем от одной техноклетки перейти к техноклеточному конгломерату с собственной сигнальной системой и энергетикой. А теперь у меня целая колония техноклеток. Да что там колония, это без пяти минут организм, способный расти, размножаться, приспосабливаться, саморазвиваться. А сейчас я учу мыслить этот почти-организм, мы идем от тупого перебора вариантов к стратегии.

- Ты про эту грязь в тарелке? - уточнила Вера. Андрей подумал, что ее речь явно не дотягивает до тайны, которая есть в ее глазах, в линиях ее тела...

- Вот именно, я хочу, чтобы эта "грязь в тарелке" не была нам чужой, чтобы она могла общаться с нами. Уверен, что она уже чувствует нас, а скоро будет понимать нас.

- А кто ты по образованию? - Вера провела пальчиком по рубашке Андрея, да так что его внутренние органы моментально встали по стойке смирно.

- Я, - он замялся, вспоминая. Но вспоминались почему-то только уроки в кружке балльных танцев. Называть в качестве alma-mater институт пищевой промышленности, было совсем не в жилу. - Я по образованию никто. Немного программист, может быть еще художник. Вон, смотри, там, на стене, анимэ-картина: "Лаокоон с сыновьями избавляется от компьютерных червей". Это я нарисовал микросхемной краской.

Девушка мазнула взглядом вежливости по отчаянно сражающемуся семейству Лаокоона.

- Я-то думала, что это схема городской канализации... Но ты не математик, правда? Тебе определенно нужен математик, парень с головой, набитой цифирками.

Не дожидаясь ответа, Вера уже названивала куда-то, только не крутя скрипучий диск засаленного черного телефона, а пощелкивая пальцами, через скин-коннектор. Это несколько покорило Андрея. Не прошло и получаса, а она уже распоряжается...

Вера прошла и вдоль пыльных полок его книжного шкафа.

- По части книжек ты - супермен. Слушай, а сколько их надо, чтобы считаться крутым в твоей тусовке?

- Я чай сделаю, - отозвался невпопад Андрей. - У меня даже пирожные есть, почти свежие.

- Извини, я никогда не пью в гостях. Можно таких живчиков наглотаться. Ну, понимаешь, я про ботов...

От отсутствия общих тем стало немного неловко, но тут грохотнул древний дверной звонок и из коридора в комнату прорвался зычный голос Марины Аслановны.

- Чего не открываешь, Андрюха? Кто ты таков, чтобы хвост задирать? Штаны на тебе и то из магазина "секонд-хэнд" при городском морге. Голубь ты мой дигитальный, надо меньше щелкать клювом.

Позорит, засранка. А на пороге коммунальной квартиры стоит представительный мужчина. В его глазах светится надменность превосходящего разума. Стильный мужик. Кончики его волос подмигивают, благодаря фотонике, и парфюмерии дорогой на него вылитой не меряно, афродизиаки для баб и все такое. За ухом - разъем для нейрокарты, так вроде принято у программеров. Подчеркнуто заметный, как татуировка, скин-коннектор на кистях рук. Фраерский шарфик на шее. На шарфике насекомое под бронзу, египетский скарабей. Шевелится, чертяка-робоинсект.

Еще этот мужик был похож своими нахальными рыжими усами на капрала какой-то давно позабытой королевской армии. А белобрысая патлатая девка рядом с ним - на маркитантку нестрогих нравов.

- Вот это я - Боря. Анатомически говоря, мужчина средних лет, предрасполо-

женный к апоплексическому удару и геморроидальным шишкам, - представился "капрал". - И тем не менее, не бойся меня. Я не из агентства по перепродаже недвижимости. Блондинка со мной пришла. Верь не верь, но Леночка вовсе не из бюро добрых сексуальных услуг. Она - натуральный кандидат каких-то там наук. А гражданка-то Лозинская далеко? Не растворил ее slučajем в кислых щах?

- Еще нет. Вы проходите, - Андрей несколько несобранно махнул рукой.

- И пройду. Ведь мы сюда не приторчать пришли, а ради познакомиться с непризнанным гением... - Боря решительно шагнул вперед и едва не поскользнулся на лужице, которую по обычаю предков оставила киска Мурка. Марина Аслановна отчаянно бросилась на защиту "бедного животного", которому представительный гость отвесил хорошего пинка. Но прежде чем киска укрылась на ложбинке между увесистых грудей "мамочки", гость еще раз прилично угостил "подлую тварь" по задку. Похоже, это сломало не знавшую доселе поражений соседку, и она с выражением страдания на лице укрылась в своей комнате.

Хотя новоявленный Борис обменялся с Верой лишь мимолетными взглядами, Андрей сразу подумал, что их связывает что-то серьезное. А вот Лена, скорее всего, лишь прокладка между ними. Хотя это серьезное - вряд ли любовь. Скорее - деньги. Или что-то еще...

- И где твоя чудесная тарелка, гений? - гость Борис, не сбиваясь с курса, уверенно подошел к столу. И заиграл всей своей размашистой пятерней на виртуальной клавиатуре компьютера.

- Позвольте, я вам объясню.

- Сам разберусь, не дурак покамест. Дай-ка лучше спецификацию программного интерфейса, - сказал в лоб Боря. - Да ты не бойся, я именно тот, кто схватывает на скаку.

Он, не глядя, протянул визитную чип-карту.

"Борис Дворкин. НАСА, российский филиал. Марсианский проект."

- А я Андрей Грамматиков.

- Не врешь? "Материалы с нужными свойствами, молекулярные машины с программируемыми функциями, все это хорошо только для корпораций. Потому что можно включить бешеную стоимость разработки в товары, которые раньше стоили копейки. Но нам, людям, нужна техножизнь, чтобы спастись от одиночества". Ну, как, тебе приятно? Знаешь, небось, кого я цитирую?

- Знаю, меня, - Андрей прочитал ехидство в глазах собеседника, и ему опять стало не по себе. Гость явно не мучился со своим мозгом как Грамматиков, не блуждал в темных закоулках серого вещества в поисках смысла. Мозг господина Дворкина был как армия дисциплинированных солдат, которая всегда наготове и способна нанести массированный удар на любом участке фронта.

- Так уж получается, господин Грамматиков, что я запоминаю наиболее глупые фразы. Не нам это нужно. Нам и так стодится, потому что мы работаем в корпорациях. Какое уж там одиночество? Корпорации - это такие большие дружные стаи прожорливых кровососущих насекомых. А знаешь, какие у нас корпоративные вечеринки с длинноногими секретаршами, истинными кудесницами в своем деле? Их клонировали специально для высоких стульев около стойки бара, ну и чтобы нам не было одиноко в джакузи. Нет, техножизнь нужна только тебе, заплутавшему псу-рыцарю.

- А в конце, когда кудесницы будут общаться уже не с вами?

- Вот об этом я только сейчас подумал, - ехидство словно смыло из глаз Бориса. - В конце какой-нибудь довольно приличный дом престарелых. Правда, из друзей и близких остались только рекламные чат-боты. Одна трубка закачивает сладкую кашу мне в рот, другая трубка откачивает несладкую кашу из попы. И вот последний дрыг ногами. Меня еще катят в морг, а уборщица торопится собрать оставшиеся от меня никчемные безделушки в большой красивый мешок для мусора. Работники крематория, кстати, любят палить трупы давно забытых людей.

Процедура прощания сведена к минимуму, гроб делается из картона и можно в сэкономленное время выпить чашечку кофе.

### 3.

Через несколько секунд гость снова вошел в нормальный рабочий режим.

- Да, мы умеем контролировать материю на уровне молекул. Мастерить сверхпрочные нанотрубки для лифта на орбиту, боевые экзоскелеты, не толще сосисочной упаковки, чтобы солдаты бесстрашно прыгали в огонь и в воду, абсолютный клей, чтобы вражеские танки не проехали мимо героев-панфиловцев и навсегда прилипли в виде памятников, сияющие диамантоидные пленки, чтобы надувать небоскребы, тошнотворно питательную синтетическую колбасу для социально слабых. Да, конечно, наши медботы - мастера делать генные припарки для увеличения размеров бюста или выпуклости ягодич. Но в жизни, к примеру, этой коммуналки практически ничего не изменилось за последние двадцать лет...

За разговором Борис Дворкин просматривал спецификацию программного интерфейса, причем с такой скоростью, что Грамматилов не успевал даже заметить номер страницы.

- А знаешь, барон, почему ничего не изменилось? Твои соседи не желают вертеться, зарабатывать, листать с придыханием модные журналы. Не хотят платить за нанотехнические чудеса. Возможно, у твоих соседей и так бюст большой, а ягодичы выпуклее некуда. Или они предпочитают вечные пол-литровые ценности сиюминутным прибабасам. Наверное, они думают, а на хрена нам эти наносборщички материальных объектов? Ведь из говна получается говно, хоть переставь ты там все молекулы. Но в любом случае, за шиш и получишь шиш, по крайней мере, в экономике, ориентированной на выколачивание прибыли из ближнего своего... Кстати, Леночка, а как ты смотришь на эту функцию?

И Лена, которая, казалось бы, умеет только визгливо хихикать, вдруг начала править в графическом редакторе "фазовый портрет" всей технобиологической системы.

А Боря, сам не переставая работать, продолжал общаться в "фоновом режиме":

- Но ты барон, насколько я понял, выбрал третий путь и вознамерился изменить весь мир в нужную тебе лично сторону?

- Да с чего вы взяли, Дворкин? - наконец возмутился Андрей.

- Так, приснилось. Но ты же не хочешь, чтобы при звуках твоей фамилии девушки переспрашивали: "Чаво-чаво?" А теперь подсядь ближе. Тебе не кажется, что твоя техножизнь готова к еще одному качественному скачку?

Борис Дворкин действовал лучше всякого стимулятора. Он вытащил из кармана и всунул в компьютерную стойку плоский спинтронный сервер с лейблом "Наномайнд" - это ж аппаратура, специально предназначенная для операций с наноразмерностями!

- Считай, Андрей, что ты теперь пересел из телеги в Мерседес. Но, пожалуй, ты и сам нуждаешься в усовершенствовании. Вера, давай-ка, займись товарищем.

Сжав пальцы Андрея своими нежными и неожиданно сильными пальцами (еще немного надави и будет больно), она, игриво поведя глазками, куснула его указательный... У укушенного аж заиндигело все внутри... никаких ботов она не боится, неправду сказала, просто не хотела его чай пить...

Вера провела чем-то похожим на губную помаду по подушечкам всех его пальцев.

Грамматилов посмотрел на свои усовершенствованные руки, в которых теперь лежали виртуальные атомы, имеющие размер с крупное куриное яйцо и соединенные паутинками взаимодействий. А еще молекулы, похожие на гроздья винограда. Он отлично чувствовал характеристики химических и ван-дер-ваальсовых связей через дрожание, тряску и прочие вибрации. Надо ж, как быстро сформировался

скин-коннектор на подушечках его пальцев.

- Ну, так удобнее? - нарочито заботливым голосом поинтересовался Борис Дворкин. - И что самое приятное, фирма угощает, так что завтра не придет счет за услуги на пару сотен баксов.

Через пару часов совместной работы Андрей понял, что "прошел в дамки".

"Жирные пятна" в тарелке превратились в студенок, напоминающий по форме медузу. Студенок тянулся к органике, свету и теплу.

- Теперь эта технотварь действительно тебя чувствует, а возможно даже и думает о тебе. Что-нибудь хорошее думает, ты же для нее папа Карло. Ах, тятя, тятенька, - Дворкин покрутил рыжий кавалерийский ус, как бы в задумчивости. - Но представляю, какие у нее планы на человечество, учитывая ее зверский аппетит. А особенно прожорливой она станет, когда начнет размножаться. Ну, это мы к восьмому марта доделаем. Преподнесешь цветы техножизни в подарок Верке. Точно?

На какое-то время Грамматиков перестал слышать Дворкина. В его цифровых пальцах сейчас дрожали уже не просто шарики углерода и водорода. Его руки как будто касались Бездны, которую заполняла молчаливая сила. Бездна своей безмерной властью сама ограничивала себя, иначе бы ничего не было, кроме нее. На ее границе недолговременной рябью возникало сущее. Материя, пространство, время, движение, жизнь, мысль - не более, чем легкое волнение этого океана вечности. Каждая частица материи - лишь тоненький ручеек энергии, проходящий через крохотный затвор на границе Бездны. Чуть побольше откроешь затвор, и энергия затопит наш тусклый пленочный мир, сожжет его к едрени-фене.

Виртуальное окно стало таким пронзительно-емким, будто на границе зрительных и осязательных центров мозга сформировались тайные нейроинтерфейсы, способные превращать прикосновения Бездны в возбуждения нервных клеток.

- Эй, барон, ты в порядке? У тебя сейчас взгляд, как у Николая Угодника, - Дворкин помахал ладонью перед лицом Грамматикова.

Бездна отодвинулась. В уши проник бубнеж настенного телевизора из комнаты Стасика. Грамматиков почувствовал смертельную усталость. Ему уже ничего не хотелось, даже спать.

- Как вы думаете, Борис, война-то будет?

- Не будет, так что героем России тебе не стать. Наше начальство струхнет и подпишет рижскую бумажку, акции вернет да еще неустойку заплатит нефтяным вождям. Может еще прикроет пару крупных русских заводов, чтобы не создавали конкуренцию забугорным брэндам. Куда начальству деваться, если оно привыкло отовариваться в токийских бутиках и покрывать свое рыхлое тело золотистым заггаром на Таити?

- Но про двенадцать мирных трупов в таймырских чумах - это ж брех.

- Я тебе дам, брех. Правозащитники из "Дудаев Мемориал" во главе с бесстрашной Лерой Найдорф честно напоили суррогатным спиртом бедных оленеводов, которые всегда рады оттянуться за чужой счет... Однако ж и прогрессивную мировую общественность надо было чем-то воодушевить, согласись? А мировую прогрессивную общественность на мякине не проведешь. Она привыкла к крутым зрелищам - порно пополам с экшн. Когти вервольфа, с которых свисают вырванные кишки и другие половые органы. Обагранные кровью зубы людоеда, непременно с жутким кариесом и дуплами. И все - крупным планом, в полный рост. Император Нерон по сравнению с нынешними затейниками - бледный забитый мальчик. Вот и крутят бибисишники по телеку синюшные трупы оленеводов, павших жертвой "русских зверств": глаза выпучены, языки высунуты, блевотня на малицах... Но вообще, надо признаться, мы заслуживаем хорошей взбучки за то, что тысячу лет ссымся в собственных подъездах. А на Западе, тем временем, мужчины даже забыли, что такое мочиться стоя. Только сидя, а потом непременно пожалуйста на бидэ.

Спорить не хотелось. Даже фразы не склеивались.

- Но, Борис, подъезды подъездами, а Сибирь-то... освоили наши... казаки всякие, Ермак Тимофеевич, и так далее.

- И где теперь казаки и так далее, с Чудаком Тимофеевичем во главе? Вот и ты в одном популярном месте сидишь. Не надоело? Да забудь ты все это. Нам плевать, будет война или не будет война. Победят ли борцы за "свободу личности" с сильно истрепанным анальным отверстием или фаллически-несстигаемые борцы за "свободу родины". Те, кто пишет сидя, или те, кто пишет стоя. Врут и те, и другие. Свобода - это ведь что?

- Свобода - это когда...

- Задумался, барон? Сегодня свобода - это когда из тебя кто-то сосет кровь, мозги и деньги, а ты смотришь телек, дуешь пиво и доволен. Но завтра придет настоящая свобода. Это когда у тебя есть сила и ты знаешь, как ее употребить. Завтра, барон, весь мир станет другим, из плоского превратится в объемный, глубокий, и всем хватит места в Бездне. Согласись, что я озвучиваю, в общем-то, твои собственные мысли.

Из окна проник какой-то странный свет, который бы во времена бабушки-баронессы называли бы неземным.

Грамматиков подошел к окну, тут Вера своими пальцами (какими же дуалистически нежно-сильными они могут быть) взяла его за руку, они выглянули наружу и...

У Андрея так захватило дух, что даже затошнило. Ниже ничего не было. Только гряда облаков. Выше напряженно синее небо. По бокам... фрагмент дома был вделан в парящую скалу, которая больше всего походила на гигантский алмаз. Но этот алмаз был легче воздуха, наверное "скала" была склеена из диамантоидной пленки и накачана гелием.

Облака внизу разошлись, образовав обширный проем. По блескам воды и очертаниям берега, Андрей понял, что внизу Петербург.

Вернее, внизу должен быть Петербург.

Но там Андрей видит стволы, ветви и пневматофоры громадных техноорганизмов, которые поглощают дома, улицы, каналы... Город гибнет на его глазах! Город, переживший блокаду!

Грамматиков стал медленно сползать на пол... и тут раздался хоровой здоровый смех Бориса, Лены и Веры, переходящий в откровенное ржание.

- Розыгрыш, прикол! Вы обкакались на глазах у всего честного народа. Эй, бабуля за стенкой, принеси тазик для чистосердечного блевания...

"Гибнущий Питер" - это всего лишь виртуальные картинки, переданные Верой через скин-коннектор. Дешево и смешно.

#### 4.

В три часа ночи Борис и Лена легли на матрас под столом и, против ожидания, сразу затихли. Вера и Андрей остались на искоженном клопами диване. Это еще меньше укладывалось в его голове, чем бурный рост колонии техноклеток. Теперь у него столько друзей... Полночи он смотрел на лицо Веры. Лунный свет лился по блестящим волосам на ее щеку, превращая плоть в живое серебро. Живое серебро втекало в расширенные зрачки Грамматикова, скользило по маслянистой миелиновой оболочке его нейронов, насыщало его мозг сладковатым шепотом, отдаваясь в горле и груди нежными вихрями.

Лишь под утро он заснул. Разбудил его рекламный пузырь, пожаловавший через слегка приоткрытую форточку. Пузырь повис над головой и зашептал, разгоняя сон. "Дорогой господин... господин Грамматиков, вы слышите меня, Андрей Андреевич? Вы несчастливы? Вы сексуально не удовлетворены? Мы беремся сделать вас счастливым. Геночип фирмы "Кама-с-утра" позволит вам вырастить новый пол-

ностью функциональный пенис на спине."

Вот дьявол, пузырь считал имя, отчество и фамилию потенциального покупателя с радиометки, прилепленной к окну метким выстрелом рекламного снайпера. Вон клякса виднеется чуть выше подоконника...

Грамматиков на ощупь подхватил с тумбочки толстый журнал и метким броском уничтожил нарушителя утреннего спокойствия. Потом вспомнил то, что творилось в его квартире вечером и ночью.

Было довольно рано, но новые друзья уже исчезли. И даже записки от них не осталось.

Какой-то запах внезапно атаковал его нос, вернее отсутствие запаха. Он потянул воздух и понял, что Стасик пахнет иначе, чем вчера. И Марина Аслановна не храпит, не втягивает кубометры воздуха и не выдает их обратно, обогатив углекислым газом.

Комнату Андрея и комнату грозной соседки разделяла стена, которая в значительной степени состояла из двери, заколоченной и обклеенной газетами еще лет двадцать назад.

Дорожка из чего-то липкого тянулась от тарелки по столу, свисала на пол, дальше пролегалась по истоптанному паркету – и напрямик под дверь...

Однажды Андрей побывал у Марины Аслановны в комнате. На новый год, когда было совсем одиноко, холодно, хотелось чего-то вкусенького... Насилу вырвался только вечером следующего дня. Да и "вкусенькое" оказалось кошмарно переперченным. У Марины Аслановны не было папы. Если точнее, папа Марины был неизвестным боевиком с усиленной на генетическом уровне гормональной активностью. О папе Аслане известно только то, что он испортил Маринину маму и оставил под матрасом горсть патронов и кинжал со следами крови. Отсюда ясно, отчего Марина Аслановна такая агрессивная...

Андрей вышел в коридор и, прокашлявшись, постучал в дверь соседки. Никакого отклика, никакого ворчания или вопля. Он постучал снова и, набравшись духа, распахнул дверь.

Женщина лежала на кровати, и у нее не хватало... скелета. А также прежнего объема. Марина Аслановна съезжилась в три раза, она была маленькая, твердая и напоминала чебурашку. Может быть потому, что уши уменьшились в куда меньшей пропорции, чем остальные части тела.

– Они вернут, – сказал Стасик. – Вернут, блин, и кости, и воду. Когда обстановка позволит. Эти медузы – честные. Пугаться тут нечего, воды кругом сколько хочешь. Маринкины клетки законсервированы глутаральдегидом, а ихняя жижа замещена метапропилен гликолем.

Андрей обернулся на голос и хорошо, что его вытошнило сразу.

Спереди Стасик был прозрачным. Хуже всего выглядели подвижные каловые массы в нижней части кишечника. Череп, как хрустальная ваза. И мозги, словно светящееся фруктовое мороженое. От мутных глаз, напоминающих несвежие ягоды, уходят к затылку тонко мерцающие красные ниточки. Что-то в мозгах ползало, черви, что ли. Это будет почище движущегося дерьма. Ой, снова блевать тянет...

– Представляешь, Андрюха, а меня они каким-то глицерином накачали, каждую, блин, клеточку. Вот дурью маются. Я вначале не хотел, но они объяснили, что это почти спирт и я согласился. Понимаешь, они хоть и медузки, но могут все объяснить. Без всякого му-му...

Немного полегчало. Андрей опустился на стул, а потом взвился как ракета. Да что же он тут сидит? Надо что-то делать. Надо останавливать кошмар.

## 5.

Телефон в его комнате из засаленного стал глянцевым. И это плюс. Минус, что связи не было. Ни с милицией, ни с ФСБ, ни с депутатом не соединишься, вообще

ни с кем.

Ладно, тогда надо съездить туда... Лихорадочно проведенная финансовая проверка показала, что у него нет даже мелочи на билет, чтобы добраться до приемной ФСБ на Литейном. Хорошо, пусть пешком, главное, не стоять и не ждать у моря дурной погоды.

Андрей бросился в прихожую. Оценил свой вид в мутном зеркале. Нет, сперва в ванную, хоть лицо ополоснуть, а то ведь за бомжа примут.

В ванной комнате оказалось очень душно. Как помоешься, при плохой вентиляции, всегда так. Но здесь со вчерашнего дня никто не мылся. И вряд ли еще кто-то помоеется в ближайшее время. Ванна была занята. Наполнена до краев бесформенным существом, техноорганизмом, который и выделял тепло. В его сочной волокнистой мякоти преобладали серые и розовые оттенки. Помимо мякоти просматривался каркас из кальциевых спикул.

От спикулы к спикуле тянутся ниточки, не иначе как информационные линии. Кое-где ниточки свиты в узелки. Было заметно и что-то похожее на чашечки - наверное, органы размножения, гонофоры...

Андрей инстинктивно попятился, инстинктивно заозирался в поисках какого-нибудь оружия, но ничего не увидел, кроме бритвенного станка, которым Марина борется с волосами под мышками. Поскользнулся, чуть не упал.

Только сейчас он заметил, что из его комнаты в ванную проложена слизневая дорожка, не иначе как здесь прополз техноорганизм. Настоящая тропа войны. И теперь технорг, не останавливаясь на достигнутом, бодро лезет по трубам наверх, насыщаясь солями железа, и явно нацеливаясь на следующий этаж.

У Андрея между сердцем и желудком образовалась черная дыра, когда он почувствовал какую-то липкую дрянь на своих ладонях... Так, подышать одной ноздрей, потом другой. Это всего лишь пот. Не дрейфить. Теперь легкая медитация, "я на пляже", ласковые волны омывают мое тело, проникают в рот, в нос... Тьфу, опять не то. Надо просто сосредоточиться.

Закон сохранения вещества еще никто не отменял! Даже если технорг употребил кости Марины Аслановны, этого явно недостаточно. Ой, мама, на крючке висят джинсы!

Андрей пошатнулся, почувствовав вату в коленях.

В таких, кажется, пришла Лена. Лена, а не Вера, и то хорошо. Классные джинсы, простроченные нанотрубками и нитекомпьютерами, которые способны менять степень обтягивания заднего места...

Так что, переться в ближайшее отделение милиции? Там могут не понять, и немножечко того: посадить в обезьянник или подключить через громоздкий нейроинтерфейс, напоминающий фашистскую каску, к главному компьютеру МВД для выявления преступных склонностей, присущих участнику нанохакерской группировки.

А пока доберешься до приемной ФСБ, во всем доме случится много непоправимого и необратимого. Необратимого.

Андрей вернулся в комнату.

Теперь ему показалось, что глянцевый оттенок приобрело все. И мебель, и обои, и фотография прабабушки.

Андрей с тоской потянул воздух. Голова просто опухла. Такого отупения он еще никогда не знал. Пирожок, не доеденный вчера Борисом, шепнул: "Это я, твой друг Ньям-Ньям. Съешь меня, наконец. В случае непроходимости твоего кишечника ты можешь заказать у нашей фирмы капельницу с глюкозой". В пирожок встроен простой микрокомпьютер на белках и сахарах, но прозвучало это злое.

Компьютер, компьютер. Грамматиков, стараясь не смотреть по сторонам, бросился к своему компьютеру.

Если что-то еще можно спасти, то только с помощью верного "Секстиума".

Теория неравновесных процессов - вот тема, на которой собаку съела ныне не-

существующая Лена и возможно еще существующий Борис.

Сам Грамматиков пользовался готовым пакетом фрактальной алгебры, Лена же подгоняла области начальных и граничных состояний технобиологической системы под конечное устойчивое состояние, "вручную" изменяя алгоритм развития.

Нелинейные процессы в многомерном пространстве и "ручная" правка алгоритма!

Хватит удивляться, надо посмотреть, а что с конечным состоянием, с аттрактором.

Андрей заколотил своими цифровыми пальцами по бесплотным клавишам виртуальной клавиатуры и вскоре почувствовал, как пот спускается по его спине, шагая тысячами мелких клейких лапок...

Эта сука Лена влезла в святая святых. Она задала его техножизни новый вектор эволюции. К устойчивому состоянию очень малой вероятности. К конечному состоянию полностью открытой системы, которая черпает энергию из любых доступных источников для преодоления энтропии...

По счастью эта траектория необратима только в математической модели.

Мы сотрем Ленин аттрактор, восстановим прежние начальные условия, после чего начнется обычная работа программиста средней руки. Вызывать интерфейсы всех классов системы и задавать новые параметры функциям.

Через полчаса работа была кончена. Андрей убрал бледной рукой мокрые волосы с посеревшего лба, словно пианист в конце концерта. Обоим потеряли глянец, мякоть в ванной стала подсыхать, из нее показались иглы и увядшие почки. Технорг уже не полз на верхний этаж, он намертво приклеился к трубам, превратившись в обычную грязь.

## 6.

И только сейчас, когда Андрей сделал все, зависящее от него, и остановил кошмар, его поглотила настоящая тоска. Самое главное, что ему уже не спастись. В результате экспериментов погибли Марина Аслановна и Лена. Стасик явно тоже не жилец. Да и что с Константином Петровичем, чья комната в коммуналке самая последняя?

Если даже адвокату удастся доказать что эти преступления непредумышленные, из тюрьмы выйду только лет через десять, не ранее. Если вообще выйду. Что в тюрьмах-то творится, воры и авторитеты используют простых эков как ресурсы стволовых клеток и органов...

Все мысли, так или иначе, сводились к Вере. Из-за нее тут появился Борис. Все элементарно с точки зрения засады. "Мальчик", разменявший четвертый десяток, с готовностью ловится на приманку в виде бабенки, такой тонкой, такой благоуханной (а ведь он ее даже и не попробовал трахнуть), а потом появляется чёрт, чтобы использовать его изобретение ради своих разрушительных забав. Остается, правда, один вопрос. Откуда Вера и Борис узнали о существовании Андрея Грамматикова? Опусы, вывешенные в Сети, вряд ли должны привлечь внимание серьезных людей. В Сети гигабайты и гигабайты подобных измышлизмов...

Единственный человек, который мог догадаться о его работе, был Вовка из Крупы. Но если Вовка попался и сдал всю свою клиентуру, то сюда бы приехали менты, а не Вера с Борисом.

Так может, Вовка - часть приманки? Продавая нанокристаллы за цену бутылки портвейна, он выполнял чье-то задание... Допустим, некая лаборатория хотела произвести испытания на стороне....

А я то думал, что сам по себе такой гений. Наверняка нанокристаллы обладают такими способностями к самоорганизации, о которых я даже и не догадывался.

Его использовали для эксперимента, и ему теперь за все отдуваться. Менты, особо не копаясь, отправят его в тюрьму, где ему тут же придется скончаться от кровавого поноса, ведь он привык к маминой кухне... Боже. Насколько дураки

были предки, но он перещегоолял даже их.

Если бы можно было найти Вовку. Но этот типчик появляется только после дождика в четверг. Именно только в пасмурные дождливые дни... Борис... Борис, он же оставлял визитную чип-карту. НАСА, марсианский проект, все как будто солидно. На чип-карте должна быть персональная информация... Но где же эта чёртова карта? Вроде оставлял ее на столе. Но сейчас там только засохшая дрянь...

## 7.

В комнате раздалось шипение. Это вползла Марина Аслановна, волоча груди по полу. Какая-то часть костей и половина прежнего объема вернулась к ней, так что она напоминала сказочную змедеву.

- Велено доложить, гости к вам, - не слишком приятным, но подобострастным голосом сказала змеевидная соседка.

Через распластанную соседку переступила длинными ногами Вера и встала у шкафа, эффектно задрав подбородок.

- Я просила эту дамочку подождать, но она не согласилась, - зашипела снизу Марина.

- Милый мой, - протяжно начала Вера, как будто внутри ее полоскалось добрые пол-литра шампанского.

Несмотря на следующую серию ужасов в виде змедевы, Грамматиков был счастлив. Вера жива!

- Но что с Леной?

- Бог с Леной, - кратко ответила Вера. - Наверное, торчит сейчас в казино, рассчитывая на будущие Борины доходы.

- А где Боря, мне надо срочно связаться с ним? - зачастил Грамматиков. - Ты же видишь все это. Стасик, Марина, они теперь монстры и, вообще творится неведь что. Борис, твой Борис, поставил эксперимент на всех, кто живет в этой квартире.

- Андрюша, какой ты, в сущности, еще ребенок. Или олигофрен. Борис не мой. Это ты - мой. А на Дворкина мне плевать...

Вера Лозинская заскользила между рук Грамматикова. Наглядно демонстрируя преимущества непосредственного телесного контакта перед абстрактным общением с наукой.

- Позвольте удалиться, - смущенно сказала Марина и неуклюже, словно перекормленная мамба, выползла из комнаты.

Прямо из стены над шкафом выросла нанопластиковая <прим. нанопластик - сампроизводящийся программируемый материал> ветка, на ней набухли яблоко, апельсин и презерватив. Это, наверное, Боря сюрприз оставил...

Да, с Веры все и началось. С ее звонка.

Но от ее волос такой аромат. Луч солнца, мастерски проникая сквозь форточку, играет на ее ресницах. И тонет в черных зрачках. Ее тело как пружина, раз и хлестнет, собьет с ног. Да он и не хочет стоять на ногах... Но она как будто призывает совершить предательство. А он никогда никого не предавал...

- Коды активации, - сказала она.

Раскрылись затворы и струйки почти невидимого властного света потянулись из Бездны... Уже во второй раз! Значит, не переутомление виновато. Это - новое виртуальное окно, которое открывается тайными интерфейсами, непонятно как угнездившимися в его нервной ткани!

Других рациональных объяснений нет, хоть сойди с ума.

Струйки проходили сквозь Верино тело, к своей пронзительности добавляя ее сладость, фокусировались, а затем начинали опутывать его мозг, его мускулы, свиваясь в сеть... О чем она только что говорила?

- Какие коды?

- В программной спецификации на твою техножизнь имеется закрытый раздел, касающийся подсистемы полового размножения, - промурлыкала она, продолжая пританцовывать между его рук. - Меня не обманешь, коды доступа к половой подсистеме находятся лишь в твоей умной красивой голове... Ты просто вспоминай, милый, и коды будут передаваться мне через скин-коннектор.

- Но, почему сейчас? - несколько растерялся "милый".

- Потому что скоро восьмое марта. Женский праздник. День любви, цветов и полового размножения технорганов. Можешь ты мне подарить эти коды?

Ее ножка наступила на носок его распластанного и рваного домашнего тапка, давно просящего каши, а коленка потерлась об его ногу, облаченную в пузыристый дедовский треник. По позвоночнику Грамматикова потекла расслабляющая сладость. Вера становилась объектом его веры...

Но все же что-то не то. Старорежимное "Восьмое марта" - не тот праздник, который может быть интересен продвинутой Вере. Грамматиков знал, что, когда он предлагает себя женщинам, они смеются. А когда женщины предлагают ему себя, то случаются неприятности. Убежденная коммунистка по имени Владилена Ильинична потом его в партком своей партии таскала, там вышестоящие товарищи убеждали Грамматикова жениться, разъясняя при помощи наглядной агитации высокие моральные качества невест, придерживающихся социалистической ориентации. А соседка Марина Аслановна ему просто жизнь отравила, чуть до самоубийства не довела. Даже грозила кастрировать папашиным кинжалом, а потом спрятать клинок с потеками свежей резус-отрицательной крови в лесном скроне.

- Конечно могу, Вера.

Коды активации - это всего лишь картинки, которые он должен нарисовать в своей голове...

Или все-таки, не могу?

Слишком она торопится...

Андрей сделал шаг от удивленной Веры, сладкая светоносная сеть напряглась, и он увидел в виртуальном окне, как из-под ее ногтей поползли синие мономолекулярные змейки. Их там много, настоящий гадючник. Извиваются, крутятся между ее рук. Спецэффекты, как в кино... А вдруг они настоящие, не нарисованные, и виртуальное окно просто сделало их видимыми?

Грамматиков неловко повернулся, рванулся, разрывая сладкую сеть, которую сплела горгона Вера, бросился к открытой двери. Быстрее, быстрее, теперь вильнуть в сторону - летучая змейка пронеслась около его уха и воткнулась в фотографию прабабушки. Назад дороги уже нет. Другая синяя змейка пересекла его путь - надо перепрыгнуть или она рассекает все мягкие ткани, могут и яйца улететь...

Окрыленный ужасом Грамматиков взвился в воздух, кое-как удержался на ногах после приземления, уже в коридоре перескочил через натужно ползущую Марину Аслановну, отшвырнул полупрозрачного Стасика, в котором бултыхнулись моча и пиво... Наружная дверь квартиры была на одной старинной щеколде...

## 8.

Он сразу соскочил на пролет вниз, и тут же услышал. Снизу идут. Тяжело, вбивая массивные ноги в каменные ступени. Хорошо, что в доме уже лет двадцать не работает лифт...

Остается только путь наверх. На чердак. Там можно перескочить на соседнюю лестницу. Он так делал не раз, в детстве.

Андрей взлетел вверх на два пролета. Вот заветная дверца с огромным ржавым замком. Замок тут для видимости, он еще двадцать лет назад настолько проржавел, что спокойно открывался и закрывался пальцами...

Пятнадцать лет назад отец врезал дуба именно на этом месте. Почему он потащился на чердак, вместо того, чтобы позвонить в свою квартиру? Разыграл последний акт благородства, не захотел подыхать на глазах у своего болвана-сына? Или хотел доказать своей героической милиционерше-жене, что он не чemoдан с соплями?

Тяжелые шаги приближались. Андрей ощутил то распирающее сочетание ужаса и бесстрашия, какое бывает только в детских снах. Отбросил замок и вошел внутрь...

Отчаянно закрипели половицы, поверх них кружилась поземка из пыли. Фу-ты, там и сям в полу провалы. Кое-где остались лишь балки перекрытий, да и они не выглядят надежными. Со стропил, поддерживаемых покосившимися столбами, летит потревоженный пух и прах, копившийся тут десятилетиями. Из всех лампочек фурчит только одна, ближайшая, да и она, похоже, только усиливает сумрак.

Андрей сделал шаг, и пол тревожно чмокнул под ногами. Потом пошел, напряженно вслушиваясь в стоны потревоженной древесной гнили. Впереди что-то хрустнуло, значит, надо взять левее.

Странные звуки донеслись сверху. Как будто кто-то шляется прямо по кровле. Ну, кто там может ходить? Отец Гамлета, брат Гамлета, сват Гамлета. Или быть может полтергейст моего папаши? Тьфу, отступись мысленная зараза...

И вообще то, что с ним происходит с утра - это просто набор детских кошмаров. Грамматикову даже стало на секунду обидно. Почему детских-то? Ему ж тридцать три. Может, потому что он - инфантил. Всё принцесску ожидал. А простые народные женщины не нравились ему потому, что у них не было таких глаз, в которых тонет взгляд, такой груди, талии, ног, как у Веры...

Стоп, не думать. Сверху что-то громыкнуло, сейчас ринется вниз. Вот здесь деревяшка на одном гвозде, еле держится. Уже двадцать лет еле-еле... То, что было наверху, уже рядом с ним... Грамматиков сорвал деревяшку и, почти не глядя, махнул в сторону сгустившегося засопевшего мрака. Потом обернулся. Рядом никого не было. Прямо наваждение какое-то. Или, может, шизофрения? В прессе писали про случаи техногенной шизофрении, вызванной неумеренным потреблением стимботов...

И вдруг до него дошло. Есть же спички, самые обычные спички, которые он всегда кладет в задний карман треников - чтобы долго не искать, когда захочется чайку испить.

Зашипела старомодная серная головка и осветила нечто настолько новомодное...

На гнилых половицах лежит голый полупрозрачный труп. Тусклый свет растекается по нему муаровым рисунком. И половицы сквозь него просматриваются, особенно в районе грудной клетки. В основании черепа свет почти полностью поглощается, превращая мозжечок в черную дыру, словно бы всасывающую мозг. Но и там что-то поблескивает, искрит, микроразъемы что ли... А гвоздь прямо в глазницу вошел.

Труп неожиданно перестал быть трупом. Так неожиданно, что Грамматиков едва не обмочился. Труп дернулся, рывком вытащил из своего глаза гвоздь вместе с деревяшкой. Глазница запузырилась, словно в черепе вскипел жирный бульон. Из нее быстро-быстро поползли червеобразные отростки, которые шевеля красными головками, начали штопку...

Труп (или уже-не-труп) явно силился встать, Грамматиков беспомощно как загипнотизированный кролик наблюдал за этим, не в силах даже разжать пальцы, которых палил огонек спички. Но тут перекрытие треснуло под ожившим полуневи́димкой и он... чиркнув по дереву длинными словно алмазными ногтями, не удержался и упал вниз...

Грамматиков не успел осознать своим развитым интеллигентным сознанием всей чудовищности совершенного им. Не до этого было. Огонек спички, наконец, раз-

будил его, и он со стоном разжал пальцы...

Там, около двери, ведущей на соседнюю лестницу, стоит кто-то. Сзади тоже кто-то прячется, кажется за дальним столбом... Остается последнее, подняться по ближайшему столбу, выбраться на крышу и пройти там до следующего чердака.

Грамматиков нащупал в кармане подушечку с наноклеем, и надорвав ее уголок, побрызгал спереди и позади. Спасите меня, ван-дер-ваальсовы силы! Потом полез по столбу, хватаясь за торчащие гвозди.

Когда Грамматиков уже выбирался сквозь рваную кровлю, снизу послышались вопли. Приклеились голубчики. Еще один рывок и он на крыше.

## 9.

"Голубчики" ползли за ним следом. В щели между разъехавшихся листов кровельного железа Грамматиков видел преследователей. Их лица были похожи на лица, пока на них не падал свет. Свет падал и проникал дальше. Вместо черепа - ваза, наполненная розовой гущей, в которой ползают серебристые черви. Грамматиков сказал себе, что это всего лишь нервные волокна, играющие с отражением и преломлением света. "Всего лишь" - это успокаивало. Но эти глаза - васьки на хрустальных стебельках - производили в самом Грамматикове концентрированный ужас, который разъедал мышцы и превращал бицепсы в кисель. "Васьки" поворачивались то туда, то сюда, и при каждом повороте становились заметными зрительные нервы, по которым бежали алые всполохи сигналов, чтобы превратиться в легкое сияние задних долей мозга.

- Не приближайтесь, - сказал Андрей Грамматиков, - или я спрыгну, мать вашу, честное слово.

Как-то по-бабьи это звучит. Пообещать спрыгнуть, а потом остаться на месте и предоставить себя насильникам. И зачем это я про "маму". Мама-мамочка...

Грамматиков нащупал в кармане еще одну подушечку с металлорганическим клеем. Время схватывания - три секунды.

Один из преследователей высунулся из щели, и солнечный луч заиграл на его внутренностях, как будто облепленных сверкающей паутиной.

Грамматиков раздавил в руках подушечку с наноклеем, и увидел в виртуальном окне рельеф из цепких острых атомных головок на своих ладонях.

Прозрачный урод цапнул Грамматикова по щеке, и кровь брызнула на кровлю. Но эту боль Андрей не успел как следует прочувствовать.

Один неловкий шаг и он заскользил по мокрой кровле. Грамматиков вскочил, неловко дернул руками и сорвался с крыши.

Последнее, что он увидел перед падением - по его телу расплывалась волнами радужный нимб. В виртуальном окне атомы углерода и водорода выстраивались гексагональными парадными фигурами на его коже.

## 10.

Двое патрульных вышли из машины и подошли к телу, безропотно лежащему около мусорного бака. На лице у лежащего запеклась кровь.

- С крыши, что ли, навернулся? - без особого интереса спросил один из патрульных, тот, что помоложе.

Другой патрульный, тот что постарше, перевернул тощее тело со спины на живот. Затем приложил щупик биосканера к шее лежащего гражданина.

- Ну, чего там? - поинтересовался напарник. - Дохлый?

- Не совсем, артериальное давление в норме, пульс тоже. Похоже, он не сверху свалился, а просто обдолбался и поцарапался.

- Я бы тоже обдолбался, если б не на службе. Господи, это ж надо, ООН объявило нам войну из-за какого-то жирного нефтяного чмура...

- Ладно, потащили тело.  
- Фу, а он не обделался случаем?  
- Всякое бывает. Ладно, фельдшерица попу ему вытрет и заплатки сделает, а утром этому чудаку - в военкомат, будет отдавать долг родине...

- Э, глянь-ка. Что за хрень?

Патрульные, вытянувшись, как на построении, смотрели на запад.

С западной стороны на город словно замахивалась огромная волосатая лапа с шестью быстро растущими когтями.

Серые отсветы легли на бледные лица милиционеров.

- Смерть в маринаде, - совладав с непослушным горлом, сказал тот, что постарше. - Въезжаешь, напарник? Это крылатые ракеты в маскировочном аэрозольном облаке.

Ракетные когти воткнулись в город где-то в Адмиралтейском районе. Из колотых ран на теле Петербурга брызнуло огнем. Разорванные провода и кабели ненадолго взвились к опасному небу и пролили искристую электрическую кровь города. "Как на очень большой дискотеке", подумал один из патрульных, тот, что помоложе. Утробное гуканье разрывов было смазано изнуряющим душой воем сирен.

## ГЛАВА 2. ПОСЛЕ ВОЙНЫ

### 1.

- Мало того, что эта, с позволения сказать, баба-демон отметелила нашего часового голыми руками, так она еще и оторвала ему гениталии, - сказал пациент по прозвищу Сержант, отрывая ото лба два гибких медицинских датчика. Он заскрипел пружинами своей койки, доставая заначенный окурочок. - Были гениталии-угнеталии, да чик-чирик, укатились, еле в кустах их нашли. Часовой был из моей роты, фрукт вроде Грамматикова, тоже задумчивый. Из танцоров или художников. Этот парень всегда смотрел на меня так, будто я лично мешаю ему танцевать или рисовать... Бойцы, если все не против, я чуток покурю, две-три затяжки. Когда сестра с обходом придет, все уже выветрится, клянусь геморроем.

Палата психиатрической лечебницы для бедных напоминала тесный кубрик торпедного катера. Здесь было семь коек, по две у каждой стены, плюс одна специальная - для психа, обгоревшего на пожаре - посередине. На койках дисплейчики, мутные из-за жирных пальцев, высвечивают температурный график.

Плесень посрамляла всю санитарно-гигиеническую оборону, её самовоспроизводящиеся молекулы колдовским образом проникали через кондиционер, вделанный в окно. Особенно плесень была сильна в углах палаты, испещряя их многочисленными кляксами чернильного цвета. Сам кондиционер, украшенный потеками ионообменного фильтра, со старческой натугой вдыхал и выдыхал воздух, насыщая его заметным химическим привкусом. Впрочем, доминантой все равно оставался запах мочи и пота. Одноразовые мочалки-грязеедки не могли компенсировать природную неряшливость больных и нехватку воды. Воды не хватало в кране. Зато за окном хлестал дождь, главное действующее лицо питерской осенью.

Дождь стекал бесконечным скучным потоком по лепесткам наружных стен, защищающим город от сконцентрированных в больнице психопатов. Здесь, на окраине, всегда шел дождь, компенсируя искусственно хорошую погоду в городском Сити. Оборонительные стены больницы - единственное, что производило элегантное и современное впечатление - росли сами, потому что состояли из нанопластика, новомодного программируемого материала...

Товарищи по палате простили бы Сержанту не только курение, но и любое другое прегрешение. Ведь с него просто таки сбегали заряды бодрости, которые

подхватывали и несли всех вперед, к неизбежной победе над супостатом, которому еще недолго осталось веселиться.

Впрочем, до одного из пациентов эти заряды явно не добежали.

Тощий и измятый преждевременными морщинами человек положил на одеяло кибер-мольберт и стило. Фамилия этого больного была Грамматикив. Заплата из синте-кожи на его шее поблескивала светодиодом контрольного чипа. Заплаты в паху, на заднице и животе были скрыты одеялом, которое было источено временем и стирками почти до нанотолщины...

Грамматикову не нравилась атмосфера, которую усиленно создавал в палате безумный Сержант. Атмосфера дешевых комиксов "Рассказки бывалого". Мыслитель Грамматикив не любил комиксы.

Милитаристский бред, надувание щек - все это не нравилось ему.

Рассказы Сержанта напоминали пух от грязных одуванчиков, несомый паленым ветром около батареи тяжелых гаубиц.

В этой загрязненной атмосфере вязли руки, держащие стило, глаза затыгивало тусклой пеленой, голова как губка впитывала земную гравитацию.

Сейчас раздражение смешивалось с сонливостью, связанное с приемом обезболивающих лекарств, в весьма неприятный коктейль. Грамматиков понял, что вряд ли теперь удержится, надо снять напряжение. Он ехидно поинтересовался у товарища по палате, не наигрался ли еще тот в войну?

Спросил и снова взялся за мольберт. Однако напряжение не стало меньше даже на один вольт. Любое обращение к психу Сержанту было само по себе опасным. Психопата нельзя ставить в тупик. Реакция может быть непредсказуемой. Пациент по прозвищу Сержант явно сошел с ума во время или сразу после проигранной сибирской войны.

Грамматиков попытался отвлечься и стал думать о том, если в этой палате хоть какой-нибудь цвет? Почему даже алые упаковки с йогуртом выглядят серыми? Плесень - просто концентрированная серость. Почему всё вокруг - как стиранные перестиранные носки? Даже свет в окошке. Андрей прищурил глаз, пытаясь добиться расщепления серого света на цветные составляющие. Но и фотоны в этом сумеречном мире не захотели с ним поиграть.

Тем временем своим пугливым подсознанием он ожидал реакции Сержанта.

Сержант сделал вид, что не заметил вопроса. После небольшой паузы, которую потребовала очередная затыжка, он продолжил в прежнем духе.

Со вчерашнего Сержант стал плести про каких-то прозрачных демонов, которые захватили Петербург во время сибирской войны.

Рассказ Сержанта был бредом. Но война была.

Мы просрали войну. Сержант из-за этого сошел с ума. Ему не было места в розово-голубом мире наслаждающихся яппи, который пришел на место старой России. Поэтому он здесь, в дурдоме.

Поэтому здесь был и Андрей Грамматиков. Художник-самоучка, ученый-самоучка, не вписывающийся в мир профессионалов поствоенной пост-России.

Не встречался Грамматиков с Сержантом на военной службе. Но этот псих немало похож на того сержанта, который был во время войны царем и богом для солдата Грамматикова...

В свое время, в институте, на военной кафедре, Грамматикова обучали работе с роботизированными огневыми точками: поднял миномет из полиуглеродной шахты, протестировал софт, опустил... На реальной войне до роботизированных минометов дело не дошло... Никто не пробирался в Ленинград болотами, горло ломая врагу. Бесконтактному врагу не сломаешь даже компьютер.

Трудно ненавидеть америкосов, этих пухлых улыбчивых операторов, сидящих с "поп-кормом" за пять тысяч километров от тебя и просто играющих в войнушку. Трудно ненавидеть миллиардера, владельца сибирских нефтяных полей, из-за которого все и началось. Он умный, в очках, складно лепит про свободу, ты даже

начинаешь переживать за его деньги...

Куда больше отрицательных чувств испытываешь к непосредственному командиру... И к миниракетами с искусственным стайным протоинтеллектом. Одна из таких влетела через вентиляционное отверстие в сортир, где пользовался мгновениями отдыха ефрейтор Грамматиков, и плюхнулась в выгребную яму. Как показала томография, боеголовка у нее была шариково-спиральная.

Грамматиков уцелел, но получил контузию и импортные шарики со спиральками из него выковыривали последний раз две недели назад. А без обезболивающих средств до сих пор нельзя...

Тощие романтики-юнцы, мохноухие товарищи патриоты сражались, вернее, стогорали за сотые доли секунды в жестяных коробочках танков, за которыми охотились вездесущие орнитоптеры, а приличные господа загодя смылись за кордон, в мир бунгало и виски, а крепкие широкоплечие мужички попрятались по норам.

Потом не стало ни танков, ни горючего. Амеры использовали космический флот, предназначенный для терраформирования Марса. Лиловый туман, затянувший небо над Россией, опустился на поверхность одной шестой части суши и оказался боевым нанопластиком. Народ воспринимал его просто как всеядную плесень...

С проигранной войны люди возвращаются импотентами, как недавно сказал Сержант. И в этом он прав. Если баба не хочет трахаться со своими солдатами, то подставляет пампушку чужим, добавил Сержант.

С юга, где резвились муджахеды, шли поезда с беженцами: визжащие дети, женщины в окровавленном тряпье. Страшный юг начинался уже за Тверью. Но и по опустевшим улицам Питера ветер тащил труху, обрывки бумаги, фольги, всё, что осталось от магазинов, раскуроченных мародерами...

А потом к власти в Питере пришла генерал-губернаторша от Совета Европы, транссексуалка Лера Найдорф.

На город снизошла рыночная благодать. Центр Питера мгновенно был очищен от грязи, плесени и развалин. Город набрал жирок, залоснился, а затем засиял всеми постиндустриальными нимбами. Такого блестящего высотного алмазного нанотехнологического Сити не было нигде в мире. Громады Сити возникали словно ни из чего благодаря богам хайтека. Лера Найдорф успешно торговала лицензиями на свободу. Приезжай и покупай свободу, какую тебе надо. Приезжай, педофил и некрофил, садист и насильник. Купил - пользуйся и потребляй, не купил - сучай. Впрочем, какой ты насильник, если насилуемый согласен и доволен, что зарабатывает за час столько, сколько грузчик за неделю, да и получит страховку от неконтролируемых рисков. В наступившем мире не было места для традиционных задумчивых лентяев, все выжившие вертелись и вертели, кто чем мог.

А Грамматиков пробыл год в лагере для военнопленных, который охраняли прибалты.

Лагерь начался с дезинфекционной камеры. Пленных обрабатывали разными излучениями, чтобы стогорели скин-коннекторы и прочие киберимплантанты. Но в теле Грамматикова горели в первую очередь шарики со спиральками, "имплантированные" при помощи американской боеголовки. Чуть дуба не врезал. Потом была относительно нормальная лагерная жизнь. Днем - прогулки с мешком на голове, без ремня на штанах между двух рядов проволоки под напряжением. Дисциплинирующие удары резиновыми дубинками по ягодицам и промежности. Ночью - свет, выедающий глаза даже сквозь стиснутые веки. Гуманитарные посылочки от французских дамочек. В посылочке - сладости и презервативы. А потом вот эта психушка - для реабилитации...

- Грамматиков, я не забыл про твой вопрос. Увы, я никогда не играю, я и в детстве я был безумно серьезен, - сказал Сержант. - Но другой вопрос был бы сейчас куда уместнее. А помыла ли баба-демон свои ручки, после того, как оторвала солдатские гениталии? Ведь как сказал пророк: "Когда человек моет руки, ему прощаются грехи, совершенные руками". А после того как плохой солдат ли-

шился своих бубенцов, враги поперли через развалины к нашим позициям. Голые, да простит им Небо это небольшое прегрешение, и невидимые. Что прыгающие, что бродячие мины на них ноль внимания. Наши микроцепелины со своими сенсорами в упор их не видят... Еще немного и все демоны были бы внутри укрепрайона. Настала бы Эрмитажу крышка, как скажем Купчинскому укрепрайону. Если бы...

Товарищи по палате заерзали, недовольные паузой. Грамматиков, на которого был устремлен пронзительный взгляд Сержанта, спешно зачирикал стилусом по своему мольберту.

Сержанту пришлось продолжать, не дождавшись реакции "смутьяна".

- Если бы не я. Ведь я железно чувствую, когда демоны что-то затевают. Они всегда чего-нибудь затевают. А демоны железно чувствуют, где у нас слабое звено, где трусливый солдат. Поэтому, когда демоны поперли на Эрмитаж, я один вступил с ними в неравный бой. Совсем один в поле воин, родина в лице капитана Кренделевича неизвестно чем занимается. На минуту позже и бомбить врага было бы уже поздно. Но вот в какой-то прекрасный момент капитан проснулся, оторвал мурло от сисек рядовой Ивановой, поднял в воздух беспилотный роторник и... Короче, от демонов одна тушенка с яичницей осталась.

Юный пациент Мурашкин, страдающий от суицидальных наклонностей и лежащий у двери в компании роболягушат для самых маленьких, несколько раз спросил, что случилось в Купчино. Не для протокола парнишка старался, а от возникшего чувства преданности замечательному старому бойцу. Просто современная экранизация "Бородино". Скажи-ка, дядя, ведь не даром Москва, спаленная пожаром, французам отдана?

А больной Сержант затаился, назвал Мурашкина салабоном, после чего принялся жевать и рассказывать набитым ртом про "Купчино".

Мол, он там на следующий день оказался после того, как демоны там порезвились. Ни одной живой души. У всех тел вырезаны почки и поджелудочная железа. Причем вырезали это из петербуржцев еще до того, как они скончались.

Голос Сержанта еще более стусился сообразно "крутизне" изложения.

- А запустил врагов в Купчино опять-таки танцор или художник. Дозой дешевого наркоинтерфейса, наверное, прельстился. Этот типчик, кстати, уцелел.

- И что вы с ним? - голос юного суицидника еще больше зазвенел от приобщения к таким потрясным тайнам войны.

- А ничего, салабон, поводили его по местам резни, чтобы полюбовался на свою работу... На следующий день сам повесился, никто его пальцем не тронул, хером клянусь. Если не веришь, позвони ему в морг, телефончик дать?

Грамматиков застонал. Большинство пациентов сейчас с радостью хавали рассказ Сержанта, только потому, что это звучало классно. Особенно учитывая, что все они лишились в больнице запасов орального наркоинтерфейса и нейрокарта.

- Не было никаких боев с прозрачными демонами и валькириями, Сержант. Даже в Купчино. Это все вам привиделось. Натовцы устроили в Питере образцово-показательную оккупацию для телекомпаний всего мира. Чтобы не было зверств и издевательств, как повсюду, в город не пустили ни муджахедов, ни поляков, ни финнов с прибалтами. В город вошли супернаемники - непальские гурки, понятия не имеющие о русских, и еще много роботизированной бронетехники. Сопротивления почти не оказывалось, потому что наших военных частей в городе не было. Зачем вы пачкаете больным людям кору головного мозга?

- Я ведь и сам больной. Отбросив крайние случаи, все-таки мы можем признать, что безумие является лишь свежим взглядом на вещи. Поэтому я и рассказываю интересные истории, - безмятежно отозвался Сержант. - Понимаешь, я хочу, чтобы сопротивление оказывалось, чтобы враги были изощренны как дьяволы, чтобы наши были героями. И я хочу того, что было на самом деле. Нечего тебе корчить из себя знатока, Грамматиков, раз ты уже первого марта получил американские шарики в задницу. Ты просто не знаешь, что гражданское ополчение "За

Пушкина" вынесло гурков вперед ногами, вчистую уделало подоспевших американских рейнджеров, надрало шотландским гвардейцам одно популярное место, благодетели носят короткие юбочки, высыпало по первое число гайдамакам из ближнего зарубежья, а затем билось против прозрачных демонов до последнего... То, что осталось от Эрмитажа, найдорфские инженеры кое-как скрепили металлоорганическим клеем, заполнив пробоины нанопластиком...

- Ау, гренадеры, уже сестрички копытцами цокают. Готовьте ягодицы, - окликнул палату пациент, стоящий на шухере возле двери.

Сержант торопливо выдохнул дым в решетку кондиционера, утопил хабарик в баночке с заплесневевшим джемом, изготовленном еще до войны на лучшей "нанофабрике по переработке жидких отходов", и стал махать несвежим полотенцем, пытаясь разогнать дым.

В палате возникли три медсестры. Старшая, Анна Ивановна, могучая как чемпион по греко-римской борьбе, другая - статная дама неопределенного возраста по имени Надежда и по кличке Скорая Сексуальная Помощь, и третья, новенькая, тонкая и черноволосая, которая прикатила тележку с лекарствами и шприцами. У нее же к рукаву был пристегнут гибкий учетный терминал...

Грамматиков почувствовал, как у него пересохло в горле, чуть ли не склеилось там все.

Да, брюнетка была похожа и на прабабушку баронессу, и на ту самую Веру, которая чуть не изрезала его на куски. Наваждение, симптом болезни, а не смотреть на нее не получается.

Анна Ивановна с тоской побежденного богатыря глянула искоса на плесень, затем втянула воздух, погоняла его в своих могучих ноздрях и осталась им недовольна. В отличие от непобедимой плесени, за испорченный воздух было кого карать и миловать.

- Вот свиньи, - поставила свой диагноз пациентам старшая медсестра.

- Мы как раз говорили о фэн-шуй, искусстве обретения гармонии, - спешно затараторил Сержант. - Мне кажется, что больного Мурашкина надо выкинуть за дверь, чтобы он не мешал поступлению в палату благотворной энергии ци, на месте того калоприемника неплохо бы поставить фаянсовую вазу, а стену надо бы украсить китайской пейзажной живописью, где все появляется и исчезает в бесконечности Дао...

- А ну-ка "цыц", - громовой полубас Анны Ивановны раскатился под сводами палаты. - Кто тут мастер пачкать воздух? Кто нарушал режим, а? На раз-два признавайся.

- Анечка, - Сержант прокашлялся, - мы все очень любим режим. А вас еще больше, - игриво добавил он, поведив бровью туда-сюда.

- Что ты там несешь? - уже без ненависти спросила женщина.

- Любовь - не вздохи под скамейкой и не покупки при Луне, - неряшливо процитировал Сержант. - Лично я курю, пью и занимаюсь сексом только при помощи своего богатого воображения.

Грамматиков отметил, как быстро сосед лег на волну, приятную самой важной больничной даме.

- Твое счастье, солдафон, что ты невменяемый, - голос старшей сестры несколько смягчился. - Но если еще раз устроишь перекур, схлопочешь от меня в ухо и это окажется страшнее любого психзаболевания. Я не хочу из-за тебя перед начальством краснеть, понял. А сейчас быстро приклей датчики на торец обратно.

- Не извольте сумлеваться, ваше превосходительство моё, - отчеканил Сержант. - Не посрамлю, рад оправдать доверие, буду честно оздоравливать свой микроорганизм...

- Умолкни, пупсик, а то клизму поставлю, сифонную. А вы, девочки, начинайте творить, чего его слушать, олигофрена.

Сестра Надя меняла судно, кому надо, проводила экспресс-анализы крови и замеры температуры с помощью сканера глазной сетчатки. Не забывала и пощекотать пациента, если видела, что требуется. Сестра-брюнетка разносила таблетки, делала уколы и ставила капельницы. Руки новой медсестры работали быстро и сноровисто, почти как у робота, но она словно не замечала веселых взглядов, отстреливаемых палатой в ее сторону.

- А почему эти самые прозрачные демоны смерти не боялись? - не желая терять даром время, спросил у больного Сержанта больной Мурашкин со своей койки у двери. Роботягушата смертельно ему надоели, так что он загнал их под подушку, откуда время от времени высывались пупырчатые лапки.

- С чего им боятся? Они ж уже не люди, а переформаты, - бойко ответил Сержант и попытался переключиться на брюнетку. - Сестра, а можно вам комбинашку подарить? У вас какие размеры?..

- Что значит - переформаты? - не унимался Мурашкин.

- Один дурень может столько вопросов задать, что сто мудрецов с докторской степенью не ответят, - скупое отозвался Сержант. - Переформаты, и все тут.

- Но они настоящие или виртуальные? - попробовал щегольнуть знаниями Мурашкин.

Чрезмерная наивность собеседника не понравилась сержанту.

- Как же, виртуальные. Ноль очков, пастушок. Мясные, такие же, как и мы. Только тело у них более приспособлено для войны.

- Благодаря киберимплантам?

- Это - вчерашний день. Их тело - обитель злых духов, приходящих из Бездны. Для них все атомы и молекулы, нуклеотиды и белки, из которых мы состоим - просто детский конструктор. Если вспороть демону брюхо штыком, то он издохнет и потеряет прозрачность, тогда увидишь, что внутри него ползают черви, длинные и тонкие. Это и есть те самые духи... Пациент Грамматиков, что вы кашляете как простуженный бультерьер?

- А эрекция у демонов когда? - задал Мурашкин свой больной вопрос.

- Эрекция для понта - всегда. Лежит труп демона, а у него кое-что колом стоит. И усами шевелит, ха-ха.

Грамматиков почувствовал, что ему полегчало. Сержант наконец разменялся на полный бред, если бы еще черноволосая медсестра свалила и больше не появлялась...

- Я тебе дам эрекция, - отозвалась старшая сестра по долгу службы. - С эрекцией быстро отправишься к главврачу. Он тебе пропишет ведро брома в задницу.

- Тогда, друзья, я умолкаю, - нарочито испуганно произнес Грамматиков. - Никакая правда того не стоит, чтобы за нее страдать задницей. А ты, Мурашкин, дави свои прыщи и не занимайся провокациями.

Брюнетка посмотрела на Грамматикова и внутри него словно проползла змейка. По счастью, долго смотреть новая медсестра не стала и ушла раньше, чем остальные сестры.

- Больной Грамматиков, в десять часов явиться в процедурный кабинет. Ты ж рисовать умеешь. Покажешь, на что способен? - сказала Надежда напоследок и, крутанув боками, исчезла за дверью.

Сержант проводил пытливым взором круглую надину попу.

- Э, почему не я? Почему этот негодный маляр Грамматиков? Я ведь тоже талантище, умею выпиливать лобзиком.

Больной Грамматиков заскрипел пружинами своей койки, демонстративно натягивая тощее одеяло до самого носа. Впрочем, разговор превратился для него из неприятно проникающего в сознание в докучливый, остающийся где-то на периферии. И вдруг покой был снова нарушен.

- А, между прочим, брюнеточка - та самая баба-демон, которая оторвала наше-

му солдату гениталии, - сказал Сержант. - Не знаю, как этот пацифист Граммати-ков, а я обратил внимание на ее ладные ручки. Сдобренная порохом мозолька проглядывает. Как у тех людей, которые не столь давно постреливали в нас из автомата? Интересно, что ей здесь понадобилось?

## 2.

Надо было что-то предпринять. Для начала Грамматиков решил переговорить со старшей медсестрой. Неужто нет способа перевести Сержанта в другую палату, к буйным, к Наполеонам и Гитлерам? Он же заражает всех остальных пациентов этим милитаристским бредом про бои с прозрачными демонами. Это вообще против усто-ев и законов нашего мирного терпимого свободного общества.

Но старшая медсестра лишь высмеяла Грамматикова. В больнице института Бех-терева, существующей на остатки обязательного медстрахования, лишних палат нет. И наполеоны лежат вместе с простыми депрессантами.

И вообще у Сержанта большой прогресс. Поступил апатичным, ни на что ни реа-гирующим, под себя гадил. Но благодаря применению психотропных наноинтерфей-сов и игровым методикам доктора Краснопольского, больной стал снова напоми-нать человека. Ну, бредит он, бредит, поэтому и лежит пока что в психушке и никак не досаждают нашему мирному терпимому свободному обществу...

Старшая сестра, явно желая поскорее закрыть скользкую тему, резво снялась с места и убежала по делам. Зато в сестринскую пришли Надя с брюнеточкой. Ско-рая Помощь активно вступила в разговор о том, о сем. Новенькая же, полуотвер-нувшись, копалась в шкафу с документацией. Она вообще никак не реагировала на его присутствие, но он сразу же почувствовал...

Нежная тьма южной ночи, плоды, накапливающие сладость солнца, дурманящая прохлада источника в оазисе, аромат недолговечных цветов, и знак праматерей, Евы и Сары, лоно, рождающее волю и веру...

Не смотря на бодрое тарыхтение и призывные улыбки Надежды, Грамматиков стал пятиться к двери.

Наконец он выскочил в коридор и поспешно закрыл дверь. Прислонился к стене, пытаясь понять, что произошло.

Это не могло быть игрой художественного воображения пациента, страдающего от пролежней и неврозоз. Присутствие брюнетки было слишком напрягающим. От нее как от паучихи исходила паутина тонких флюидов, проникающих под кожу, сладко входящих в кости, в ткани, властно оплетающих его мозг, легкие, желу-док. Все также, как и год назад, когда Вера хотела выудить из него коды дос-тупа.

Сигналы от брюнетки проходили, не воздействуя на его органы чувств! Если отбросить измышления о сверхчувственном восприятии, остается последнее объяс-нение. Включились тайные нейроинтерфейсы, год проспавшие в его мозгу, они отображали эти сигналы в виртуальном окне, превратив их в понятный разуму символ - в свет без тепла и цвета, пронзительный и емкий. Свет не солнца, а Бездны.

## 3.

По счастью на территории больницы было где погулять. И даже посидеть, по-смотреть на "алмазное небо" <прим. аэрозоль из нанодисплеев>, показывающее рекламу над Сити. Впрочем рекламных надписей отсюда не видно, только сполохи, похожие на северное сияние, и обрывки фраз: "одно... нежное прикосновение... и вы забудете о геморрое..."

Двор был изрядно запаршивевшим, влажным, облепленным плесенью, но это было лучше, чем палата.

Грамматиков выбрал местечко, закрытое с одной стороны мусорными баками, с другой – разросшейся нанопластиковой колючкой, сел на ступеньки, ведущие к заколоченному входу на пятое отделение. Достал кибермольберт. Закрыв глаза. На секунду ему показалось, что он сидит в подвале, а вокруг бродят смертоносные невидимки. Тьфу, бред Сержанта заразным оказался.

Тут кто-то пихнул его в затылок.

Сзади стояло двое. Пациенты эти были в пестрых маечках, несмотря на холодный мартовский дождик. Один парень – бритый, с большим количеством дермальной фотоники, которая превращала его в живой экран для демонстрации порнофильмов. Другой – с приторной улыбкой извращенца и длинными белыми волосами, которые у него росли почему-то еще на плечах. Может, геночип оказался дефектным, а может так и было задумано.

Прямо под кожей предплечий у обоих парней будто змейки ползали... Это ж, черт подери, олигофрены из лечебно-трудового профилактория.

– Эй, балеринка, это наше место, – сказал "мохнатый", а его товарищ почему-то проверил содержимое своего носа без помощи платка.

Грамматиков поднялся.

– Да я не претендую. Вы тут отдыхайте, товарищи, а я пойду потихоньку на ужин.

– На ужин далеко ходить не надо, птенчик. Мы тобой и здесь поужинаем. Ты ведь нам задолжал.

В груди образовался и быстро разрастался провал страха, в мигном опустевшей голове рикошетила лишь одна нехитрая мысль: "Я пропал, я пропал, я пропал".

Из-за мусорных баков появился Сержант и Грамматиков со стыдом убедился, что рад ему, как щенок.

– Вас представить? – немедленно включился Сержант в "беседу". – В левом углу ринга – начинающий маляр. Я всё правильно сказал, Андрюха?... В правом углу, художники-импрессионисты, которые умеют профессионально рисовать незабудки на чужих лицах.

Несмотря на положительную характеристику, "мохнатый" не согласился.

– Эй, мужик, ты че, совсем оборзел? Какие мы тебе художники-сионисты? Мы – нормальные пацаны.

– Ну да, нормальные пацаны. Как Ахилл и Патрокл. Да, волосатый качок – точно Ахилл, вернее Брэд Питт после успешной лоботомии... Грамматиков, у них силовпроводы. Это такие синтетические мышцы из миозин-резины в контриммунной упаковке.

– Э, кончай базар, и вали по быстрому отсюда, ты нам не должен, – противно акая, сказал "Ахилл" Сержанту.

– Всему городу было известно, что психиатрическая больница для бедных – плохое место. Что городские власти маринуют тут изрядное количество обычных бандюг. Им разрешили порезвиться во дни воцарения свободы в самом городе, а теперь держат здесь, и тоже не случайно. Чтобы прессовать врагов демократии, вроде тебя, Андрюша, – негромко продолжил Сержант.

– Хорошо, дядя, постой тут, мы найдем и для тебя занятие, – сказал Ахилл Сержанту и, подойдя вплотную к Грамматикову, задышал в ухо. – Или ты надаешь по рогам этому фраеру, или я займусь твой шоколадной дырочкой, красавчик.

– Чем меньше способностей, тем больше потребностей, всё по Карлу Марксу, – прокомментировал Сержант. – Эй, молодежь, у меня есть кое-что для вас. Кто хочет закинуться на халяву? Готов поделиться. И не потому, что я такой щедрый – не будь у нас жадности, мы бы напоминали автомат по продаже попкорна. Это я, скорее, из уважения к Гомеру. "Слушай, богиня, налей Ахиллесу, Пелееву сыну."

– Ну, чего там у тебя? – не без интереса отреагировал Ахилл.

– Доза порнушного наноинтерфейса, прием оральным, всего лишь двадцать минут

он добирается до твоих лимбов, а потом улет, стоны без конца, - с рекламным напором, но без надрыва предложил Сержант. Он улыбнулся облакам, как будто там его ждали более важные дела.

Предложение Ахиллу не понравилось.

- А двести двадцать не хочешь? Ошибся адресом, мы тебе не глюколовы и не онанисты. Мы - спортсмены, понял? И от того, что нас здесь маринуют, мы кислее не стали. Так что, труп, подожди пока мы вденем твоему красавчику в задний разъем. Потом мы и с тобой определимся.

В знак чего-то молчаливый Патрокл снова запустил палец в свою ноздрю.

- Ковыряющий в носу да отыщет. А вообще содомия стара как мир, и неплохо переживает все потопа, - дал историческую справку Сержант, рисуя что-то прутиком на земле. - Однако наблюдается прогресс и в этом деле, пидорасы-модернисты вшивают в член целое нанохозяйство - помпочки, процессоры, сервера...

- Я весь в нетерпении, - Ахилл, сопя, подталкивал Грамматикова к дециметровым шипам забора. - Так ты девочка или все же пацан?

- Вот так в подсознании людей выжил древний обряд инициации, - академическим тоном сообщил Сержант. - Сделай какую-нибудь пакость и ты превратишься из мальчика в мужа. Иначе тебя опустят. Как много красивых старых обычаев сохранилось в уголовной среде. Наша современная либеральная культура позволяет им быть такими, какие они есть. Развратными, грязными, злыми.

Приближающаяся физиономия Ахилла источала гниль изо всех щелей. Грамматиков подумал, как бы он мог нарисовать свое отвращение. Зеленовато-желтые потеки на сером фоне...

- Так ты все-таки девочка? Сладкая моя, хочешь родить от меня маленького? Тут, на зоне, есть специалист, которые умеет превращать мужские половые клетки в яйцеклеточки...

Грамматиков чувствовал, как снова вязнут его руки и ноги, теряют связь с мыслями, скачущими в голове.

- Грамматиков, ты не девочка, ты ещё хуже, - взгляд у Сержанта был ленивый и как будто безадресный. - Ты настоящая спящая царевна. Проснись, наконец. Надо драться. Надо обижать людей, хоть это совсем неинтеллигентно. Ты же говорил, что твоя мамуля была оперативником МВД и мочила бандитов в сортире.

Спокойствие Сержанта неожиданно распространилось на Грамматикова. Даже ощущение такое появилось, будто его качает на своих волнах Бездна, из которой выплывают миры-левиафаны. И эти левиафаны для Бездны не более, чем едва заметные пузырьки.

Волна вынесла Грамматикова на больничный двор, как на берег морской. Грамматиков почувствовал и легкость, и могущество, как капитан эсминца. Напор чужой воли, который до этого момента сминал его, вдруг исчез, превратившись в грязь под ногами.

Перед ним был всего лишь тонкий мир, похожий на бензиновую пленочку, расплывшуюся по поверхности океана. И грозные враги стали тоже тонкими, худосочными...

В следующее мгновение Грамматиков всадил правый локоть в мягкий от неожиданности живот Патрокла, стоящего позади, а тылом кисти заехал в нос Ахиллу.

После этого Грамматиков обернулся. Ахилл еще постанывал и закрывал лицо руками. Он был ошеломлен, шокирован, оскорблен. Вместо весьма отработанного спектакля, приносящего "невинные" радости, он подвергся жестокому и вероломному нападению. Но Патрокл уже выходил из согнутого состояния и пытался принять боевую стойку. Даже сейчас дебиловатая улыбочка плыла у него по физиономии. Под толстой кожей его пальцев явно проглядывались расширяющиеся металлические кольца.

- Упади, Андрюха, - шепнул Сержант, - и что-то потянул у себя изо рта.

Грамматиков удивился, но послушался. Над ним что-то свистнуло и Патрокл, хрипя, расстелился в грязи. Ахилл попытался припечатать Грамматикова ногой, но тот, неожиданно для себя, впился в нее зубами, получив в ответ протяжный вой. От боли Ахилл даже забыл про приемы уличной драки, которые ему приходилось использовать на начальных этапах своей "трудовой" биографии, вплоть до достижения определенного статуса в уголовной среде.

Ахилл, наконец, вырвал свою ногу, чтобы вклеить ее в живот тощего "педика", раздавить все там в говно, а потом ухватить это хилое горло и большим пальцем выдавить эти выпуклые рыбы глаза.

Но Грамматиков не дал осуществиться этим мечтам. Он перекинул себя вперед брейковским толчком от земли, а потом, резко крутанувшись вбок, стригущим движением своих ног подсек Ахилла и проставил ему "штамп" на черепе каблук ботинка. Потом ещё раз двинул Ахилла по голове - хорошо было слышно как лязгнули зубы пацана.

Грамматиков попытался снова врезать противнику, но тут кто-то оттолкнул его.

- Эк тебя колбасит. Остынь, выключи софиты, интервью окончено.

- Я не знаю, как..., - сразу застеснялся Грамматиков.

- А я знаю. Ты - консервированный берсеркер в собственном соку.

Грамматиков сплюнул, но на языке остались как будто волосы с ноги. Хотя он понимал, что это всего лишь остатки ткани от вражеских штанов, его чуть не вытошнило. Ахилл и Патрокл тем временем ползли к дальней стене, полностью сосредоточившись на своих проблемах. А Сержант что-то прятал себе в рот, попутно проверяя прикус. Потом пояснил.

- Вставная челюсть с расширенными возможностями. А натуральные зубы, другой, высадил мне прикладом один милый демон, мир его праху...

Грамматиков прокашлялся, ситуация оставалась не слишком комфортной. Мучитель Сержант и вдруг в роли напарника.

- Наверное, я пойду. Спасибо.

Грамматиков повернулся, чтобы поскорее оставить поле битвы, но Сержант хлопнул его по плечу:

- Пожалуйста. Тем более, что ты сегодня повел себя не как мальчик, но муж, достойный распевок акына Гомера.

Сержант достал из кармана бумажку для самокрутки.

- Может, забьем косячок? Я угощаю.

- Нет, извините, это не в моем вкусе.

- Ну, может позволишь дать тебе совет? Я ведь теперь на правах твоего нового друга. После того как нас не удалось поломать грубо физически, враги могут использовать новые более хитрые методы. Не принимай на ночь маленькую желтую таблетку, которую принесет медсестренка. И вообще будь внимательным, как будто уши и глаза у тебя выросли на всех местах.

#### 4.

- Эй, нарисуешь меня, ван-гог ты наш болезный? Или предпочтешь отрезать себе ухо и другие органы в придачу? - спросила Надежда, перехватив Грамматикова в больничном коридоре.

- Конечно, Надя, о чем разговор. Через пару минут. Хотя я, скорее, не Ван Гог, а Малевич.

В дальнем конце коридора появилась брюнетка и Грамматиков чуть ли не втолкнул Надежду в процедурный кабинет, сам влетел следом и поскорее закрыл дверь.

- Не торопись, котик, - промурлыкала Надежда. - Без моего портрета ты далеко не уедешь.

Медсестра воспользовалась сеансом позирования по полной программе. Занимала

позы все более соблазнительные, пока Грамматиков не взмолился, чтобы она наконец угомонилась. "Угомонилась" Надя, лежа на диванчике с соблазнительно приоткрытыми ляжками. Один к одному Луизон с картины рококошного Франсуа Буше. Кое-что шевельнулось в душе больного, да и пониже, приглашение-то было недвусмысленным.

Может у него и в самом деле все проблемы от сексуальной неудовлетворенности? Все-таки две ночи, проведенные с женщинами за всю жизнь, это явно недостаточно.

- Алё, чего задумался? Полный вперед, - поторопила его Скорая Помощь.

- У меня там... после операции заплатка...

- Вот дурачок. Я же медсестра, сделаю всё сама.

Она взаправду сделала почти всё сама. Едва ее руки оказались в области его гениталий, Грамматиков отреагировал с той же быстротой, что и тубик, на который надавили ногой. Но опытная Надя-кудесница не угомонилась и, оседлав пациента, заставила его отреагировать еще раз, с большей пользой для себя...

Сбросив портрет "Луизон" через радиопорт мольберта на терминал восхищенной медсестры - радуйся теперь без меня - Грамматиков вернулся в палату. Улегся в койку и почувствовал что-то вроде злобы.

Вместо таинственной брюнетки, ему словно подсунули простую как копейка бабенку, придуманную в небесной канцелярии для услаждения примитивов типа Сержанта. Чего стоят одни только буфера, размером с приличную дыню, которые трясутся над тобой словно на пружинках. Однако, эта бабенка так нехило отбомбилась, что... хочется повторить, - с огорчением признался себе Грамматиков. Также как Сержанту и любому другому павиану.

## 5.

Маленькую желтую таблетку принимать Грамматиков не стал. Посмотрел как извиваются ленточки с цепким нанопокрытием, предназначенным для мучительной казни мух, нарушительниц больничной границы, и задремал. Вернее, опустил в пустые глубины мира, где плавают лишь рыба-левиафан... Около полуночи Грамматиков проснулся от скрипа половиц.

По палате шла сестра-брюнетка. Даже не шла, а почти что летела. Вначале ему показалось, что она направляется к нему, но потом взгляд его сфокусировался, привык к бледно-серому свету изношенных фотонических обоев и он понял, что ошибся. Медсестра была уже у койки, где с молодецким посвистом храпел Сержант.

В руке медсестры был шприц. Почему укол, почему сейчас? Что там с Сержантом могло стрястись?

Движения брюнетки были легки и точны как у потомственного вампира, нацелившегося на кровеносный сосуд потомственной жертвы.

Но тут одеяло пациента откинулось и на медсестру посмотрело дуло здорового армейского пистолета сорок четвертого калибра.

- Здравствуй, детка, - Сержант послал воздушный поцелуй. - Может быть, займемся любовью за шкафчиком? Ты Камасутру читала? Позу вешалки знаешь?

- Ой, - тихонько пискнула брюнетка. Валькирии и демоницы так не пищат.

- И как ты думаешь, где я прятал своего "Стечкина"? Все правильно, мое судно - моя крепость. Я еще не мочусь и не какаюсь под себя, как некоторые свободолюбцы. По этому поводу пророк абсолютно правильно сказал: "Поистине больше всего наказаний в могиле будет от мочи".

Сержант полностью отбросил одеяло и сел на койке. На нем были бутсы, штаны и майка. Он оглянулся и заткнул пистолет за ремень.

- Грамматиков, сдаётся мне, что ты не спишь, поэтому вставай и во всем слушайся меня... А ты, киска, положи свой шприц вот сюда. И учти, хороший сер-

жант не уступает хорошему демону по скорости реакции.

Девушка положила шприц на столик рядом с койкой, не отрывая взгляда от рукоятки пистолета, заткнутого за пояс Сержанта.

- Теперь разворачивайся, - Сержант встал с койки, подхватил шприц и шлепнул послушно повернувшуюся медсестру пониже спины. А затем сделал ей укол прямо через ткань.

- Надо отметить, господа, что при такой худобе у нее весьма спелая попка. Как персик, я бы сказал. Ну, красotka, давай, танцуй вперед, в ритме вальса, раз-два-три.

- Вы не имеете права, - поднялся с койки и заторопился следом Грамматиков.

Произошло. Включился страшный озлобленный маньяк, военный преступник-психопат, который до поры до времени дремал в мозгу Сержанта. Сейчас больной начнет колбасить, а потом убивать и ловить кайф от этого.

- Значит, ты собрался следить за нарушениями прав вот этого полудемона-получеловека, - буркнул Сержант. - А я тебя, между прочим, за дисциплинированного соратника держу. Так что изволь исполнять приказы. Больничную чип-карту не забудь захватить. И туалетную бумагу.

Около выхода из палаты стоял здоровенный небритый медбрат породы шкаф. "Вот сейчас-то все и закончится для Сержанта", - подумал Грамматиков и приятное ожидание повеяло как свежий ветерок. Но потом... все произошло быстро и, наверное, для Сержанта, даже весело.

Он, используя Грамматикова, как опору, ударил медбрата два раза, ногой, в челюсть. А потом еще был третий удар - рукояткой пистолета по затылку.

- Третий удар - контрольный, для надежности. А теперь затащи этого коллаборациониста в туалет, - велел Сержант Грамматикову. - Только не лишай его там невинности.

И хотя пол был гладок и как будто годился для волочения большого тела, эта процедура заставила Грамматикова облиться потом.

А затем он поплелся за Сержантом и медсестрой по коридору, и ощущение беспомощности заставляло его вибрировать. Орать "рятуйте, люди добры" - не по-мужски как-то, да и Сержант может психануть и открыть пальбу...

## 6.

- Все очень просто, - сказал Сержант, подталкивая Грамматикова и девушку к лифту. - Вот наша трофейная медсестренка с пальчиками, подходящими для дактилосканеров на дверях, вот её смарт-карта, вот ты, раненый боец, пробитый вражескими шариками. То есть, учитывая изменившуюся международную обстановку, шарики уже теперь дружественные, несущие свободу и демократию. Но в любом случае, тебя нужно препроводить на хирургию в соседнем корпусе. Я - помогающая сила. Крепкий, но не буйный. По крайней мере, отсюда мы должны выйти... А ты, киска, давай прикладывай пальчики к сканирующей панели, и делай это безо всяких фокусов.

Полуобвисшая девушка исполнила приказ в точности, и дверь пустила их в лифт.

В кабине не было панели с кнопками этажей, только сенсор карточного считывателя.

- Это мне не шибко нравится, - пробормотал Сержант, проводя чип-картой медсестры перед сенсором. - Но, думаю, мы договоримся.

В этот момент световая вспышка заставила его моргнуть и ругнуться.

- Это всего лишь попытка опознания. Отпечатка вашей радужки в базе нет, возможно, потому что вы - новенький. - Мелодичный бесполой голос исходил непонятно откуда, вернее от акустической решетки, вделанной в стенки лифта. - А что вы так удивились, больной? Я кибероболочка всего этого режимного лечебно-

го заведения. Итак, почему вы не спите?

- Медсестра ведет пациента Грамматикова на хирургическое отделение, - доложил Сержант. - Я - просто сопровождающий, поддерживаю парня, чтобы не упал. Он совсем плох.

- Да, эта девушка - штатная медсестра, идентификационный номер Омега-Ноль-Два, опознание совершено по интракорпоральной радиометке.

Лучик света ударил и в глаз Грамматикова, аж тот подпрыгнул.

- Добрый день, Андрей Андреевич. Оптический анализ крови, протекающей через сосуды сетчатки глаза, показал, что у вас несколько повышенная температура. Обнаружены и маркеры, свидетельствующие о приеме болеутоляющих средств. Как вы себя чувствуете?

Сержант пребольно пихнул Грамматикова и тот вяло подтвердил:

- Мне нужен хирург.

Кибероболочка, как будто поразмыслив еще немного, двинула лифт вверх и остановила на третьем этаже.

- Вы должны вначале поставить в известность главного врача. Он до сих пор на работе.

- Ладно, Грамматиков, выходим, главный так главный, - прошипел Сержант. - Бери красотку под руку и двигай с ней впереди меня в виде "сладкой парочки"...

Сестра теперь висла на руке Грамматикова, то и дело норовя упасть. При столь тесном контакте, весила она уже не как субтильное создание, а как приличный мешок картошки. Зато никаких сигналов не источала, отчего Грамматиков ощущал постыдную радость.

Мимо по коридору продефилировал какой-то врач, но, похоже, не обратил внимания на "сладкую парочку".

- Грамматиков, ты видишь, сонные девушки не такая уж редкость в нашем медштабе. А теперь стоп. Мы оказались в точке бифуркации, - сказал Сержант у двери с надписью "Главный врач. Краснопольский А.М."

Дверь открылась и сержант втолкнул сестру и Грамматикова в кабинет. Затем шагнул сам и закрыл дверь.

Доктор Краснопольский поднялся из-за стола. Хорошо упитанный мужчина немалого роста.

- Милочка, что с тобой? - спросил он с забавным западнославянским акцентом.

- Не что, а кто. Статуя командора уступила мне место в очереди, - Сержант выдвинулся из-за девушки и помахал стволом.

## 7.

- Я знаю, пациент, что этот пистолет не настоящий, вы вырезали его из дерева на занятиях трудотерапией и покрыли микросхемной краской, имитирующей текстуру металла.

- Конечно, док, - охотно согласился Сержант. - В нашем заведении принято дурачить друг друга.

Через минуту после начала "приема" для доктора Краснопольского случилось непредвиденное. Его голова была зажата между полом и ногой Сержанта на манер сэндвича.

Сестра обмякла на стуле, а Грамматиков почувствовал, что у него нет сил не то, что на драку, но даже и на крик. Наверное, потому, что ему стало смешно. Ввиду немалых габаритов доктора казалось, что на полу лежит яйцо бронтозавра.

- Я достаточно крепок, как вы наверное уже заметили, поэтому могу надавить посильнее и причинить вам довольно неприятные ощущения, - сказал буйный псих Сержант. - Или, может, вы не чувствуете боль?... Кстати, Грамматиков, не вздумай рыпнуться, иначе я сверну доктору шею.

- Что вы хотите? - проскрипел Краснопольский, явно страдающий от неудобства своего положения.

- А ничего особенного. Просто вы позвоните сейчас на пост охраны внизу, распорядитесь, чтобы человека с моим именем выпустили наружу. Вы тут хозяин-барин, вас слушают. Это же обычный офисный этаж без особой охраны, а не отделение, набитое буйными антисоциальными психами.

- Но у меня телефон в другом кабинете.

- Звоните с мобильного, который у вас в кармане, потом пришлете мне счет.

- Хорошо, только отпустите мою голову.

Краснопольский уселся за стол, приглаживая волосы. Достал из кармана мобильник.

- Даже не пробуйте включить видеокамеру у мобилы, - предупредил Сержант, заодно шаря в карманах доктора и поправляя ему воротник. - И чтоб я видел ваши руки. Сейчас у всех нормальных людей есть скин-коннекторы, не правда ли.

Позаимствованную у доктора жевательную резинку Сержант положил к себе в карман, а кредитную чип-карту перебросил Грамматикову, мол, теперь и ты в доле.

- Хорошо, хорошо, - доктор попытался избавиться свой ворот от руки Сержанта. - Больной... Дружище, зря вы так. Вы же на пути к выздоровлению. Мы еще не закончили корректировку вашей психики. Мы вытащили из вялого апатичного состояния, но чтобы снова стать членом нашего гармоничного свободного общества - надо еще поработать. Вы слишком агрессивны.

- Агрессивность - это не болезнь, - сказал Сержант, опасно застыв у доктора за спиной, отчего тот инстинктивно пригнул голову, и положил одну руку на затылок.

- Да, да, конечно, но это симптом болезни. Война как будто не закончилась для вас...

- Чего ты гонишь, Краснопольский, это просто воспоминания. Короче, звони.

- Выслушайте меня, ради бога. Личина героя становится сильнее вас, она захватывает ваше "Я". Существование этой личины, во многом непохожей на вашу подлинную личность - результат действия компенсаторного механизма. Вместо тех реальных врагов, которые побили нашу армию, вы выдумываете каких-то сказочных демонов...

- Это у тебя сказки дедушки Фрейда, - Сержант дал доктору легкого подзатыльника, а тот хоть и скривился, однако продолжал разглагольствовать.

- Скорее дедушки Юнга. Так вот, компенсация - функциональное уравнивание чувства неполноценности при помощи компенсирующей психологической системы, которую можно сравнить с компенсирующим развитием одних органов при неполноценности других органов.

- Нехорошо, доктор, обзываешься, - сказал Сержант и с чувством повторил подзатыльник. - У меня пока все органы на месте.

- Ваша психика создала эту личину в силу определенных психотравматических причин. И если ваша личность ищет способы скорейшего излечения и перехода к нормальной жизни, то личина продолжает воевать, она словно не знает, что война закончилась бесславным поражением с сухим счетом...

- Как это с сухим? - желваки на скулах Сержанта заиграли твердостью. - Ничего еще не закончилось, док. Поэтому конкретные пацаны хотели опустить Грамматикова, а твоя медсестра-демоница собралась меня грохнуть сегодня...

- Вот еще один симптом, больной, - радостно воскликнул доктор Краснопольский. - Эта девушка имеет отличный послужной список. У нее прекрасные умелые руки...

И тут Грамматиков заметил, что медсестра делает ему какие-то знаки. Даже не руками, а глазами. Он прекрасно чувствовал ее глаза, и что-то в его теле уже отзывалось на них. Медсестра как будто предупреждала, что сейчас что-то про-

изойдет.

- Этими прекрасными умелыми руками она еще недавно дырявила головы наших партизан. Можешь мне поверить, Краснопольский. Глянь-ка на ее "трудовые" мозоли. Тасканием горшков таких мозолей не заработаешь. А вот стрельбой из автомата...

И тут свет погас, одновременно раздался крик Сержанта "суки, порву". Грамматики слыхал грохот мебели, звуки ударов и падения тел.

Сзади открылась дверь, но тут же массивная тумбочка разнесла оконное стекло. С протяжным воплем кто-то вывалился из окна.

Грамматиков оглянулся назад - в дверном проеме стояло двое санитаров и явно не могли еще приспособиться ко мраку. Какое-то тело лежало около подоконника - судя по габаритам, доктор Краснопольский.

Грамматиков сделал шаг вперед, привстав на тело доктора и опираясь на подоконник, выглянул наружу.

Под окном, метрах в десяти внизу, была несколько погнутая жестяная крыша гаража.

- Эй, психованная вонючка, - окрикнул кто-то из санитаров с заметным прибалтийским акцентом. - Ну-ка, отойди оттуда по быстрому.

И вдруг в мозгу Грамматикова блеснула картина. Он уже один раз выпрыгивал... В настоящую бездну, не сравнить с жалким десятком метров как здесь...

И, слегка согнув ноги, Грамматиков толкнулся. Легко перемахнул через подоконник, уходя от клейкой мономолекулярной сети, отстреленной санитарями, и с воплем, соединяющим ужас и восторг, ухнул вниз.

### ГЛАВА 3.

#### ВМЕСТО ВОЙНЫ

##### 1.

Несколько часов он колесил по городу в чреве машины по вывозу мусора. Он забрался туда неподалеку от психушки и провел все путешествие практически без сознания из-за перегрузки обонятельных и осязательных рецепторов. Однако чрево наградило Грамматикова курткой и ботинками какого-то рокера, видно отправившегося на встречу с богом тяжелого металла. Куртка была прошита углеродным волокном и украшена аппликациями на вечные музыкальные темы. Аппликации были по совместительству наноактуаторами жесткости и могли превратить куртку в настоящий доспех. Ботинки снабжены мэйларовыми носами и жидкокристаллическими ударопоглотителями в подметках...

Не смотря на крутой вид, Грамматиков забился в знакомый ему с детства подвал, во дворе родного дома.

Спустя два часа из своего укрытия Грамматиков увидел, как старая женщина выносит мусор. Это была его мать. Несмотря на всем известные достижения технологий - продвинутый молекулярный конвертер для мусора и более простой мусоропровод в доме стабильно не работали. Может, потому что район - плохой, слишком уж далекий от алмазных башен Сити.

Грамматиков посмотрел на окна своей квартиры. Третий этаж, слева от лестницы. Год назад он свалился с крыши дома и остался жив. На том чудеса и закончились. Начинка из шариков и спиралей в живом теле - это так несправедливо и так больно. Правда боль укрепляет волю...

Он должен не просто вылезти из уютной щели, но еще подняться по лестнице и позвонить в дверь с табличкой "Грамматиков"...

Грамматиков выбрался наружу через узкое подвальное окошко, столь знакомое местным котам, и пошел по двору. Напряжение было такое, словно ему на макушку

должна была вот-вот свалиться бомба.

Железная дверь подъезда, хоть и с замком, сканирующим отпечатки пальцев, была незатейливо распахнута. Сопливые борцы за свободу и их подружки хотели встречаться безо всяких хлопот. Из черного проема подъезда, как и следовало ожидать в подобных случаях, несло мочой. Все как обычно, не смотря на беспрерывный технический прогресс, а также гармонизацию всех сфер жизни благодаря системе лицензирования свобод.

Грамматиков направил себя вверх по лестнице. По немытой десятилетиями, истоптанной крысами, излеженной алкоголиками, иссиженной пацанами лестнице, которая сейчас ему показалась чужой и враждебной.

В данный момент, конечно, пригодилась бы доза наркоинтерфейса, снимающая страх и бздение, но горсть мелочи – все что удалось получить по украденной чип-карте, которая тут же была заблокирована – это все его запасы...

Ноги казались ему сделанными из толстых стальных прутьев вроде тех, которыми когда-то армировали бетон. Словно сдавленное в жестяной коробке натужно билось сердце. А еще Грамматикову показалось, что кто-то вместе с ним вошел в дверь и поднимается следом по лестнице. Но в его положении не стоило обращать внимание на подобные мелочи.

Вот и дверь квартиры, под краской проглядывается надпись, которую он процарапал своим первым перочинным ножиком. "Андрюша уже не маленький". В тот день семилетний Грамматиков за счет нехитрых приемов увидел трусики у своей классной руководительницы...

Выпуклый глазок видеокамеры раскололся, наверное, под напором "сил свободы" в дни падения старого Питера.

Табличку с именем, похоже, кто-то уже пытался свинтить.

Грамматиков поднес руку к звонку.

Черная с выщербинками (как они могли образоваться?) кнопка тянула его пальцы к себе как пылесос.

Но Грамматиков не смог надавить на нее, хотя чертовски давно не был дома. Если его ждет засада, то именно здесь.

Грамматиков снова спустился на первый этаж, и выглянул через дверь, полупрозрачную из-за плесени.

Как снова выйти на этот замкнутый пятачок двора, где он будет представлять собой такую удобную мишень для стрелков, находящихся на верхних этажах...

Чёрт, какие стрелки, какой пулемет? Стоп, отставить этот заразный солдафонский бред, источником которого был неменяемый Сержант.

Я – мирный, трусливый, спокойный, вернее очень психованный, но от этого еще более мирный интеллигент, всего-навсего удравший из психушки. Да, побывавший на войне, но никак не отличившийся, обычное пушечное мясо.

На него сегодня не охотятся снайперы и ракетчики, за ним максимум явится наряд из санитарного отдела полиции.

Упакует и увезут обратно. И пусть там его залечат так, чтобы он забыл про техножизнь. Да и зачем ему этот бред? Если она когда-то и начнет развиваться, от техноинфузорий, к технодеревьям и технодинозаврам, то он к этому не будет иметь никакого отношения.

Грамматиков дошел до мусорного бака и начал копаться в мусоре, который выбросила его мать. На глаза попался обрывок вчерашней газеты. Мама все никак не может запомнить, что в послевоенном постиндустриальном мире газеты не нужно бросать в мусорный бак, что они съедобные, и обладают химическим составом и вкусом, соответствующим макаронам. Учитывая, что прежних дешевых продуктов больше нет (новые власти заставляют население вертеться, зарабатывать и приносить прибыль), то газетным гарниром пренебрегать не стоит.

В съедобной газете – анимация, радующая сердце любого добропорядочного горожанина.

Генерал-губернатор Свободной территории Ингерманландия, она же мэр Открытого города Санкт-Петербург – госпожа Лера Найдорф. Улыбочка у госпожи губернаторши, как у хорошего наноструктурного робота. А может она и в самом деле не вполне человек?

Начальственная дама открывает в Сити новый потрясающий объект – нанопластиковый ДОМ СВОБОДЫ, который сам растет согласно заложенной в него программе, сам потребляет и выделяет. Уже сейчас в нем, считая по самой высокой башне, километр, а будет еще больше. В доме расположился музей мучеников за свободу имени Джохара Дудаева, мемориальная фондовая биржа с памятником репрессированным отцам-основателям крупного российского бизнеса, Церковь Терпимости, производительностью сто однополых браков в сутки, образцовый Чайна-таун на пятьдесят тысяч китайцев, и мечеть, крупнейшая на территории экс-России. Сладко кричать муэдзину, владельцу искусственной гортани, с километровой высоты...

Грамматиков с мудрым видом сел возле помоев, как археолог около костяка древнего человека.

Картофельные очистки, настоящие, сегодняшние. Маманя так и не привыкла к продуктам из наносборщиков, которые лежат по бросовым ценам почти в каждой лавке, насыщая радостью сердца бедных, но любящих пожрать граждан.

Еще газета, только двадцатилетней давности, тонкая и дряблая как кожа мумии. Похоже, что ведомственная многотиражка. На пожелтевшей фотографии его маме вручают орден за ликвидацию киднеппера и работорговца, Аслана такого-то. Уж не того ли бандита, который родил Марину Аслановну. Впрочем, какая сегодня разница...

А вот, похоже, мама совершила давно намечавшуюся уборку в его комнате. Множество упаковок от использованных лекарств, в основном успокоительных и слабительных. Сломанный карманный компьютер, которым, похоже, заколачивали гвозди, некогда классный дисплейчик с голографическим расширением выглядит так, будто им заколачивали гвозди, из дыры сыплется труха, все что осталось от нанотрубок процессора. На обрывках сенсобумаги люминисцируют остатки текста. Надо ж, это черновики его опуса о грядущей техножизни: "Нам не нужен искусственный интеллект, бесконечно далекий от нас и желающий избавиться от нас, как от паразитической биомассы. Нам нужна искусственная жизнь, функционирующая по схожим с нами принципам, с которой мы будем комплиментарны как хороший муж с верной женой..."

А вот это что?.. Визитная чип-карта на имя Бориса Дворкина.

Грамматиков провел по ее рельефу пальцем и неожиданно сработал скин-коннектор, который вроде был уничтожен прибалтами перед отправкой в концлагерь!

Перед носом Грамматикова в виртуальном окне зажглась неоновая вывеска. Адрес. Значит, этот самый Борис реально существует...

Грамматиков прошел сквозь подворотню на улицу. На улице Гороховой текла обычная послевоенная петербургская жизнь.

По улице гуляют юноши и девушки, словно вышедшие из манги. Их одежда стилизована под школьную форму времен империи, лица скрыты или, вернее, смазаны, тончайшими нанопластиковыми масками. Мимика масок программируется, сегодня в моде выражение "сама невинность". Около рта мушка микрофона. В круглых глазах мелькают искорки и огоньки, это плавают на слезной подушке мономолекулярные проекторы. Они втюхивают в юные мозги чудеса, сотворенные дрим-компьютером.

Юноши и девушки гуляют, но не друг с другом, потому что это невыгодно, а вдвоем с клиентом, пузатым немцем или толстопятым америкосом.

Свободный город Петербург – мировая столица терпимости, маяк голубого мира... Вот каналы, педики обдолбанные, набить бы им морду, побрить череп и вперед, марш-бросок через болото с полной выкладкой и песнями...

Грамматиков сплюнул, раньше у него таких мыслей не было, Сержант все-таки

повлиял. Кроме того, понять, где юноши, а где девушки в пору большой моды на геночипы – это не совсем тривиальная задача. Бороды, груди, ягодичцы нужной формы и цвета – это лишь вопрос своевременной оплаты, хотя можно получить и в кредит. А гонять девушку через болото, даже если у нее есть борода, способен только басурман...

Плавно катят по разлинованной дорожке лакированные сэндвичи однодверных автомобилей без грамма грубой стали и без вредных выхлопов. На таких не проедешь по ухабам. В такой не сядешь с семейством, разве что с другом или подругой.

По специальным боковым полосам скользят пестрые клоунские машины на наношариковой подушке – автоматические доставщики мороженого и пиццы – прямо на глазах они пытаются вытолкнуть друг друга на проезжую часть, под автомобиль. Опять символика. Совет Европы спасает остатки российского населения от крупных разрушительных столкновений, мягкими, но сильными руками разводя скандалистов в стороны. Однако мелкие пакости на уровне раздавленного клоуна с коробкой пиццы – это дозволительно, никто ведь не собирается менять в корне человеческую природу, склонную к конкуренции. К вредности, к жадности...

Витрины магазинов заполнены темно-зеленым телом, где плавают металлургические серебристые русалочки. На нанопластиковом дереве сидит нанопластиковая птичка и гадит дешевой карамелью.

Грамматиков отправил в рот один из таких подарочков, упавших к нему на плечо. Жрать, как ни пляши, все равно охота. Потом поднял с тротуара еще пару таких карамелек. Во рту они запели песенку о пользе низкокалорийных продуктов...

Тротуар покрыт фотоническим пластиком, пестрящим от рекламы, рассказывающим и показывающим, куда идти, чтобы словить кайф.

Рекламные указатели показывают направления по которым обязана протекать сочная слизь, называемая массовым потребителем. Слизь снабжена нервами, поэтому она боится холода и тяжелых мыслей. Слизь протекает через слизь, студень трется от студень, рецепторы превращают зуд в удовольствие...

Половина голографических реклам смачно соблазняет на потрясный интим и долгосрочное оргиастическое безумие.

Длинные руки полногрудых голо-русалок пытаются утянуть тебя в пучину страсти, "если у тебя, конечно, имеется лицензия на зооподобный секс".

Волосатый самец протягивает девушкам, мечтающим о принце, баночку со спермой голландского короля. Сертификат генетической идентичности прилагается.

Некто мускулистый и без штанов сообщает, что "заделать ребеночка от двух пап – всегда пожалуйста, перекуем одного сперматозоида на яйцеклетку и появится третий в теплой голубой компании". Ага, понятно, откуда у мохнатого Ахилла появились такие мысли...

Вот и бюро экзотического туризма, "не забудьте провести последние дни в раю, лишить девственности семьдесят гурий вам поможет фирма Эдем".

Адвокатские конторы предлагают "отсудить ту долю удовольствий, которые вам положены по праву".

А стоит только приблизиться к медиа-стене ближе чем на полметра, она начинает шептать: "Я дам тебе то, о чем ты мечтаешь."

Впрочем, она так и не сказала ему: "Здравствуйте, господин Грамматиков, пожалуйста, руки вверх, сейчас за вами заедет полиция". Значит, программа не смогла идентифицировать его своими сенсорами, опознать его внешность и запах. Не зря он порезал бритвой вживленную ему в концлагере радиометку...

Прокатиться бы тут разок на танке и от всей этой дребедени один компост останется.

Но по облакам на танке не прокатишься. Пролетел самолет, распылил аэрозоль, состоящий из сферических дисплеев размером в полмикрона. И вот с искусствен-

ных облаков сияет реклама и выпуски последних новостей.

"Хочешь на небо? Покупай надувную подругу фирмы Нана, таких шикарных слизистых покровов ты не найдешь нигде. Да разве ее можно сравнить с убогой резиновой Зиной из тумбочки возле твоей кровати."

Умельцы из рекламной службы фирмы Нана даже ухитрились слепить из облаков грушевидную женскую фигуру...

Грамматиков свернул с Гороховой на Загородный проспект.

Рядом распахнулась дверь автобуса, похожего на огромный мыльный пузырь. Но на борту автобуса мерцал знакомый с детства номер маршрута.

Грамматиков не удержался, вошел.

Грустно перекатилась в кармане горстка пластиковой мелочи. Лучше сэкономить на билете.

Грамматиков смотрел сквозь прозрачные борта автобуса на улицы, по которым плыли маски, на мир, затянутый легкой серебристой пленочкой дождя, и его не опускало ощущение нереальности...

- Вы не заплатили за проезд, - сказал мужик с сидения напротив. Да какой там мужик. Бесполоая физиономия, волосы, увязанные в светящиеся дреды. Его глаза, которые только что ползали как сонные мухи, внезапно сфокусировались, стали пронзительными. - Вы не вложили карточку в прорезь кассового автомата. С такими, как вы, мы никогда не достигнем гармонии.

Грамматиков хотел было пребольно наступить ему на ногу, но тут открылось виртуальное окно.

Мужик украсился многогранным нимбом, каждая из граней декларировала его "софт" и "железо".

Это и не мужик вовсе, а кукла с наноструктурной начинкой. Робот, скрытно контролирующий оплату проезда. В нем ничего, кроме металлорганики, нанопластика, оптоволоконных шин, кристаллических микросхем, нанотрубчатых сетей, кремниевых волокон.

Наверное, этот нанострукт может и плюнуть в безбилетника нервно-паралитическим ядом, тонкой струйкой под очень большим давлением.

Грамматиков рванул на выход, пришлось даже отшвырнуть какого-то остолопа, который отдался киберонанизму около самых дверей. Лицо киберонаниста напоминало обратную сторону зеркала, потому что "с той стороны зеркала", в глубине черепа, сияла люциферова звезда наркоинтерфейса.

Под грохот падающего киберонаниста, Грамматиков вылетел из адского автобуса и помчался так, как будто за ним гналась вся техносфера планеты Земля. Пока наконец не осознал, что так он рискует моментально засветиться. По сегодняшней улице можно бежать, лишь если на тебе спортивное трико, которое обтягивает атлетические члены, выращенные с помощью геночипа.

Грамматиков стал уничтожать в себе всякое волнение, напряженно дыша через левую и правую ноздрю, а также с помощью диафрагмы. Все как папа завещал. Удивительно, почему он предпочитал все-таки "Столичную" йоговским упражнениям. Наверное, папа просто поверил в то, что ему нечем дышать в этом тесном мире, сложенном из крепких четырехугольных дилеров и киллеров. На что рассчитывать ему, хлипкому, когда мужики, которые могли бы ходить в атаку через обледеневшее поле на вражеский дот, сознательно тонут в собственной блевоте, нахлебавшись рентабельного суррогатного спирта. Вместо человека в мире образовывается дырка. Но и "дырочный" ток, как показала "новая физика", приносит прибыль. А вот мать всегда умела поймать свежее дуновение ветерка даже в самом грязном скучном тесном пространстве...

Отец и мать сидят во мне, как в матрешке. Внезапно заработавший скин-коннектор - это тот самый ветерок из-за стены.

Грамматиков пошел нормальным шагом, радуясь обретенному спокойствию. И тут услышал, как из подворотни доносятся крики. Даже не крики, а сипение, выры-

вающееся из сдавленного горла. Кого-то вроде душат или насилуют. А ты иди себе мимо, подумаешь мелочи какие, после того, как изнасиловали целую страну...

Но Грамматиков не совладал с милицейскими генами, которые он унаследовал от мамы, и вступил в проход, образованный нарочито обшарпанными стенами.

В конце прохода был здоровенный дядя Том с голографической эмблемой гарвардского института международного развития на футболке. Он что-то делал с белобрысой девкой, прижав ее к мусорному баку. Что-то далеко не академическое. Его крепкая задница работала как нефтекачка. А к его атлетической бронзовой шее присосался нейроакселератор матово-черной пиявочкой.

Грамматиков в нерешительности потрогал гарвардца за плечо, уже понимая, что подворотня носит постановочный вид. Турист законно развлекается, купив лицензию на порцию добровольно-согласованного насилия. Вкусно и дешево, как пишут в путеводителях по пост-военной пост-России.

Секс-турист, наконец, обернулся. Лицо у героя экстремального отдыха сочилось трудовым потом. Нейроакселератор усиливает ощущения, но из-за сенсорного привыкания требует все более интенсивной эксплуатации "объекта".

Закатившиеся зрачки девки обнажали неприглядную белизну глазных яблок, слившуюся с гнилой бледностью лица. Ее слюна и сопли обильно вымочили гарвардскую футболку в разных местах.

Грамматиков ушел бы, наверное. Ведь девку в любом случае откачают... Но когда турист поторопил его: "вали", Грамматиков подхватил с земли пивную бутылку и стал заталкивать импортному бугаю в оскаленную пасть. Бутылка уходила все глубже и глубже, теперь уж склизкие руки туриста беспомощно скользили по куртке Грамматикова. И случайный прохожий мог бы подумать, что это Грамматиков - секс-турист, купивший лицензию на полчаса садизма. И лишь когда гарвардец засипел именно так, как сипела до этого девка, Грамматиков повернулся и пошел так, как ходят шерифы, исполнившие справедливый приговор.

Скоро я буду жалеть об этом. Скоро, но не сейчас. Именно страх перед "скоро" никогда не давал мне почувствовать всю красоту "сейчас".

Вот и Пять Углов, теперь свернуть на улицу Рубинштейна.

Таинственные граффити, сделанные на стенах "умной" микросхемной краской, то светились как грибы в джунглях, то снова гасли. Пушкин, поражающий змея с головой дяди Сэма. Ниже надпись: "Пушкин и ЭТО должен делать за тебя?". Похоже, недобитые националисты постарались. Улица Рубинштейна всегда была фрондерской.

Подъезд, где проживал Борис Дворкин, выглядел весьма укрепленным. С бронированной дверью. Наверное, осталась от времен господства мародеров на улицах Петербурга, освобожденного от всяческого гнета. Вместо обычного кнопочного замка сенсорные панельки с указанием фамилий. Фамилии Дворкин там не было. Но и визитная чип-карта едва ли врет.

Грамматиков сразу нажал на все панельки и сказал в пупырчатый кругляш микрофона:

- Боря, это вы?

- Вы ошиблись... ошиблись... ошиблись... таких здесь нет, - отозвался ему хор жильцов.

Но потом динамик высказался более осмысленно.

- Вам какого Боря? - уточнил приятный женский голос.

- Такого. С вами живет только Боря Дворкин, надеюсь.

Чуткий динамик донес эхо разговора: "Тебя спрашивает длинноносый такой, тощий, сказать, что нет тебя или как?"

- Мужчина, вы меня слышите? Борис переехал отсюда. До свиданья, - доложил динамик и отключился.

Грамматиков снова нажал на панель вызова.

- Эй, если меня впускают в дверь, я вхожу в окно. Причем в буквальном смыс-

ле.

Он глянул наверх. Восьмая квартира - третий этаж. Можно попробовать.

Грамматиков забрался на искусственный сильно пахнувший одеколоном тополёк, с него перескочил на подоконник, потом на водосточную трубу, с помощью обезьяньих движений добрался до второго этажа.

Грамматиков ощущал странную легкость, которая у него раньше бывала только во снах. И старался не думать, что уж конечно на третьем этаже ему станет страшно.

И тут дверь внизу открылась... Предлагают войти...

На пороге квартиры номер восемь стоял человек, который, несомненно, был Борисом Дворкином.

Грамматиков сглотнул ком, мгновенно набухший в горле - Боря был чем-то похож на Сержанта из больницы.

- Ты, то есть вы... Извините...

Да нет, не Сержант, черты лица другие, просто что-то в глазах такое же... нездоровое.

- И тени их качались на пороге... Давай, Андрюша, не будем общаться на коврике для вытирания ног, заходи.

## 2.

Стильный кабинет. Одни прозрачные нанодисплеи на окнах чего стоят. Если погода плохая как сегодня, то они показывают яркие южно-италийские берега.

- Чем обязан, господин Грамматиков? - подчеркнуто ритуально спросил Борис Дворкин.

Придуривается, что ли?

- Да всем обязан. Борис, вам не кажется, что вы чересчур похозяйничали у меня дома?

- Слушай, барон, это ж было год назад. Я уже ничего и не помню. Ну, наверное, мы у тебя немножко пошутили...

- А Вера тоже шутила, когда хотела прикончить меня мономолекулярным холодным оружием? Из-за нее я, между прочим, свалился с крыши.

Расслабленная вальяжность господина Дворкина несколько улетучилась.

- Да что ты? Свалился и, как я вижу, уцелел? Везунчик, вероятность такого исхода очень мала. А Вере я давно не доверяю, честно. Вообще мы с ней разошлись, причем я побежал. Вера, как бы это сказать, теперь при новом начальстве...

- Ладно, Вера скурвилась. А прозрачный сосед, полный говна и мочи, а соседка без костей, похожая на обожравшуюся змею, а джинсы - все, что осталось от дамы по имени Лена? Все это случилось именно после вашего визита. Я уж не говорю о техноорганизме, расползшемся по квартире...

- Что-то больно густо ты мажешь... На диван, что ль, садись. Чаю попьем.

В кабинет вошла белокурая женщина и вкатила сервировочный столик вместе с принадлежностями для питья чая согласно японской церемонии "то-ю-но". Бамбуковые ложечки, совочки, щеточки, сосуд с кипятком, чашечки с пейзажами на боках.

- Можно мне с вами почаевничать? - спросила она. - Тем более, что "то-ю-но" умею проводить только я. Как опытная гейша.

Та самая Лена, которая приходила с Борисом Дворкином в гости, только уже не в образе патлатой бедовой маркитантки, а приличная такая матрона с аккуратной прической. Значит, жива!

- Эй, чего вылупился на мою женщину, Андрей Андреевич? Блондинок, что ли, не видел? Или она в твоём виртуальном окне похожа на Людмилу Зыкину эпохи застоя?.. Тогда закрой окно и пей чай, вот сушки. Старомодные, не стонут, когда

их грызешь.

- Я - ничего. Я всегда так смотрю, - смутился Грамматиков.

- Я еще сейчас пирог разогрею, - пообещала Лена без всякого надрывного хихиканья, которого было так много в прошлый раз. И выскочила.

Незванный гость прихлебнул из чашечки, наверное слишком громко, потому очень уж был поглощен своими мыслями. Чай - настоящий, с жасмином, всё остальное - как во сне.

- Итак, Грамматиков, Лену ты только что видел. По виду это Лена, согласен? На ощупь, поверь мне, тоже Лена. Если ее хорошенько ущипнуть, то она отреагирует как настоящая женщина, а не как пластмассовая давалка - то есть, нормально врежет тебе по морде. С соседкой Мариной и соседом Стасиком тебе, надеюсь, удалось повидаться хоть раз за последний год?

- Да, навещали они меня в психушке.

- И они, должно быть, в порядке, непрозрачные, при костях. Может, у тебя просто мозги перегрелись от стимботов?

- Но, после того как вы ко мне пришли, на меня началась охота.

- Грамматиков, мы точно не причем. У меня даже охотничьего билета нет. Я и на мух не имею права охотиться.

Дворкин откровенно забавлялся. С одной стороны это бесило Грамматикова, но с другой стороны он понимал, что так вот, за чаем, никакие страшные тайны не открываются.

- Я слушаю вас очень внимательно, Борис, и ничего не понимаю. Вы ничего не говорите толком...

- Погаси свет, немедленно, - быстро, краем рта, проговорил вдруг Дворкин. - Выключатель рядом с тобой.

- Я не хочу с вами сидеть в темноте, - в приступе тоски простонал Грамматиков. - Мне не нравится интим такого рода.

- Погаси свет, везде, быстро. На кухне кто-то еще есть, помимо моей бабы.

- Ладно, я выключу свет, но попробуйте только...

Грамматиков ткнул кнопку, и свет угас с приятной театральной медлительностью. Гость увидел по легкому перепаду тьмы, что открывается дверь в коридор, и подумал, что это выходит хозяин.

Рядом возникла какая-то масса, источающая напряжение, Грамматиков ткнул наугад острым концом бамбуковой ложечки. Что-то булькнуло и упало - тяжелое, как мешок с картошкой.

А потом Грамматиков включил свет и поперхнулся собственной рвотой.

Около его ног лежал и слегка еще дергался человек. Нестандартный человек. Нормальное как будто лицо (хотя, может, и не лицо, а умело подогнанная биополимерная маска), но под расстегнутой курткой видна прозрачная плоть, за которой стоит мертвое дымчатое сердце.

Из уха нестандартного человека текла голубая васкулоидная <прим. васкулоиды - микромашины, заменяющие красные и белые тельца> кровь, смешанная с пузырями. А еще из его уха торчала бамбуковая ложечка для чайной церемонии. Неподалеку от тела лежал пистолет, похожий на толстую пиявку.

Значит, демоны, о которых неутомимо плёл Сержант, существуют. И червивый Стасик, змеедева Марина Петровна, монстры на чердаке - тоже не плоды переутомленного стимботами мозга.

В комнате появился Боря Дворкин.

- Черт, свет не надо было включать. Но теперь пусть погорит. И пистолетик-то подбери, не гоже такому стволу валяться без дела.

Грамматиков выплюнул гадость, скопившуюся в горле, поднял оружие и показал пальцем на лежащего человека.

- Что с ним?

- Ничего особенного. Завещания в твою пользу он не оставил. Я на кухне еще

одного грохнул. Труп за холодильник упал, оттуда всегда мусор тяжело доставать.

- Я спрашиваю, почему он не похож на обычного человека?
- Вопросы потом, после лекции, а сейчас сваливать пора.
- Как это сваливать? А Лена, жена ваша?
- Она же моя жена, а не твоя, так что уж позволь, один я побеспокоюсь. К тому же, "Скорую" я ей уже вызвал. А мы выходим через чердак, потому что в подъезде нас наверняка ждут.

### 3.

Когда Грамматилов выглянул из чердачного окна, стало опять дурно. Седьмой этаж - не третий. Дворкин показал пальцем на антенну сотовой связи, украшающую крышу дома напротив, и сказал, что туда протянута мономолекулярная нить, невероятно прочная, предельно скользкая и одновременно чудесно липкая.

Нить не было видно. Ничуть, ни капельки. Даже в виртуальном окне она выглядела абсолютно призрачной, несмотря на хорошие показатели удельной прочности.

А пропасть, жадная и большеротая, была видна во всей красе.

- Придется поверить, барон, что спасительная ниточка у нас есть, и пройти по ней проще, чем верблюду проскочить через угольное ушко. Только напрямую за нее цепляться не стоит, мигом останешься без ладошек. Воспользуйся ремнем, если пряжка металлическая.

Дворкин с ласковой улыбкой указывал Грамматилову направление - вперед, в бездну. В прошлый раз, когда он уже слетел с крыши, его защитил радужный нимб... Или может сама техножизнь...

По счастью, сейчас всё произошло достаточно быстро. Руки, хватающиеся за ремень, и ремень, охвативший невидимую нить, перенесли Грамматилова на крышу соседнего дома со скоростью героя комиксов. Впрочем, сказалась нехватка опыта и Грамматилов впилился лбом в стальной кронштейн, на который крепились антенны.

Свежеиспеченный человек-паук попытался понять, нет ли у него вмятины во лбу, покачиваясь и приседая. Присел он очень своевременно, потому что над его ушибленной головой пропели кассетные пули. Миновав потенциальную цель, они самоликвидировались, обернувшись двумя яркими пушистыми облачками.

- Целься и стреляй, блин. Держи обеими руками, потому что у этой пушки отдача сильная, - Дворкин агрессивно закусил густой рыжий ус. Грамматилов выстрелил два раза из пистолета по окнам дома напротив. Если точнее, по теням, которые затемняли стекла.

- Попал, попал, угондошил обоих, - закричал Дворкин по-мальчишески звонко. И наступила тишина.

Всего на несколько секунд. А потом странное низкое урчание заставило воздух над крышей завибрировать.

Дворкин показал пальцем на другой край крыши... там поднималось что-то мощное и незримое, похожее на злого джинна.

- Полицейский роторник с фотоническим стелс-покрытием, новинка сезона. Нам не надо стоять и ждать его с глупым видом. Вперед, то есть вниз.

Они съехали вниз с помощью мономолекулярной нити, испугав до смерти пару старушек, которые так и не смогли дать естественнонаучных объяснений полетам живых тел перед их окнами.

А потом был бег по пересеченным питерским дворикам, которым век снесу не будет, лишь ноги порой буксовали на плесени.

- Стоим, отдыхаем, - неожиданно распорядился Дворкин. Похоже, сам этот лось и не запыхался вовсе. Его резкий профиль делил сумрачный горизонт пополам - до и после.

- Мы ушли или не ушли? - едва выдавил Грамматиков сквозь слизь и слюни, на- зло набившиеся в горле.

- Ты отстал от жизни, колобок. Сегодня уйти невозможно. В каждой стене есть подслушивающая акустика, поднюживающая сенсорика, подсматривающая фотоника. Вместо мух робоинсекты летают. Уйти невозможно, можно лишь обмануть.

Дворкин умудренным глазом следопыта посмотрел вокруг, втянул воздух подвиж- ными ноздрями. И вошел в стену.

Блин! Дворкин - это обычный мимик, персонаж виртуального окна. Опять меня надрали, развели как распоследнего лоха! Вернее, мимик весьма необычный, су- пермимик, неотличимый от натуры. Никаких стыков между графическими элемента- ми, никаких упрощенных поверхностей, бездна деталей. Да, мой мозг безнадежно заражен шпионскими нейроинтерфейсами! "Попил чайку" и поскакали по нервным волокнам черные нановсадники, чтобы захватить лучшие места в моей башке.

Грамматиков даже присел из-за влившейся в колени слабости.

Реальный Борис Дворкин неизвестно где и неизвестно кто, я убил человека. Или нескольких людей, если выстрелы по окнам бориной квартиры были действи- тельно удачными.

Тут Грамматикову показалось, что на глаза навернулись слезы, стена дома пе- ред ним как будто поплыла, вместе с обшарпанной штукатуркой и антикварной надписью "Шнура в президенты".

Грамматиков потрогал веки - нет, сухие...

Это стена дома оказалась фальшивой. Просто аэрозольный экран из наноразмер- ных дисплеев.

За разлетевшимся экраном стоял автомобиль БМВ <прим. Брянск Мотор Верк> - компактный, сильный и красивый как рыбка бычок. Одна из дверей салона плавно отплыла в сторону, она напоминала уютную раковину, столь ценимую еще нашими предками-моллюсками.

- Давай в темпе, фигуры в статичных позах на фоне плоского ненатурального пейзажа оставим таким мастерам средневековья как Джиотто.

Борин голос выходил из автомобиля. Ну, сейчас я ему дам в наглый выпуклый глаз. Пусть даже получу за это по морде.

- Дворкин, кто вам позволил пачкать мои мозги всякой нанодресней?

- Да остынь ты, праведник. Через полчаса от дисперсного интерфейса и следа в твоём теле не останется. По крайней мере, за свой интерфейс я ручаюсь - это ж обычный "Визи-Гот". Разок помочишься и ты чист, как младенец.

Грамматиков сел в машину. Внутри не было никакого Бориса Дворкина. Совер- шенно пустой салон.

Из приборной панели выдвинулся руль, покрытой мягкой псевдобобровой шер- стью. Казалось даже, что на рулевом колесе растянулся мохнатый зверек.

Световая вспышка на мгновение ослепила Грамматикова. Его просканировали, определив местоположение и размеры тела.

- Пристраивайся-ка на место водителя. В темпе! - голос донесся из акустиче- ской системы, вмонтированной в обшивку сидений.

Все ясно, бортовой компьютер.

- Эй, чего орешь, железяка? - зло отозвался Грамматиков, но на водительское место сел.

Сервомеханизмы кресла вкрадчиво прожужжали, подстраивая высоту и наклон си- дения под невзрачную фигуру Андрея Андреевича. На ветровом стекле появилось транспарентная карта города.

- У меня чемпионский титул по кричанию в ухо... И вообще я не "эй", а Бо- рис. Во избежание путаницы можешь называть меня Борис-Два. Не бойся, что ты стал водителем, это так, для видимости. Все равно, поведу машину я сам... А теперь я тебе, Грамматиков, действительно кое-что объясню, потому что в квар- тире надо было опасаться подслуша. Ведь сейчас жучки не более заметны, чем

отдельно взятые вирусы гриппа.

Машина под мягкое гудение ванкелевского двигателя тронулась с места.

Ну и что такого, подумал Грамматиков, если Борис Дворкин как следует повозился с программно-аппаратным Бореи-Два, то вполне мог протащить его достаточно далеко по шкале искусственного интеллекта. И сейчас у Бори-Два собственная разумность и чувство юмора на уровне доцента провинциального института.

#### 4.

- Мы хотели изменить мир в лучшую сторону, чтобы люди стали разумной силой, а материя - мыслящей.

Это утверждение выглядело как визитная карточка организации маньяков. Впрочем, до войны и шариков в ягодицах, Грамматиков мечтал о том же самом.

- Кто "мы"? - напористо поинтересовался Грамматиков.

- Группа энтузиастов, поляне, древляне, кривичи, известный тебе Вовка Кренделевич. Ему - светлая память, погиб геройски на войне. Мы хотели, чтобы нанотех сделал жизнь каждого осмысленнее. Поэтому ты, как "каждый", стал чуть ли не главным действующим лицом.

Ответ был по-сектантски хитрым. Никаких конкретных имен, за исключением мертвого Вовы.

- А вы моего согласия спросили? За счет моего здоровья вы провели тайный эксперимент. Что, разве не правда?

Вопрос не смутил собеседника.

- Отчасти, правда. Нам был нужен этот тайный эксперимент, позарез, как дыхание рот-в-рот небезызвестной мертвой царевне. Увы, государственные лаборатории связаны массой бюрократических ограничений, а частные продали бы нас с потрохами... Но тебе ведь было интересно, ты мечтал о том же, и, значит, твое согласие мы все-таки получили.

- Ну и? Теперь ты, конечно, скажешь, что эксперимент с техножизнью вышел у вас из-под контроля.

- Да, вышел, - Голос Бориса-Два удачно помрачнел с помощью эмоционального интерфейса. - Вышел, Андрюша, потому что началась война.

- Из-за этого эксперимента?

- Да, типун тебе в штаны. Война случилась по вполне естественным причинам. Что-то отнять, что-то сломать, кого-то опустить. Может даже, всё отнять и всех опустить. Пока агрессоры нас имели по полной программе, техножизнь была предоставлена самой себе, и будь уверен, она зря времени не теряла.

Борт-компьютер был, скорее всего, запрограммирован Борисом Дворкиным, его стиль. Но нельзя исключать, что некий программист просто имитировал стиль Бори. Чтобы не лохануться, надо быть осторожным, побольше слушать и поменьше говорить.

- А ты уверен, что она существует? - спросил Грамматиков.

- Если бы я не был уверен, то спокойно сидел бы дома и пил бы японский чай с русскими довоенными сушками. Она существует, да еще в двух формах. Есть две техножизни. Одна - светлая и умная, которую породили мы. А другая - примитивная, темная и коварная, созданная командой Леры Найдорф. Про светлую мне собственно нечего тебе рассказывать, кроме того, что ее надо найти, а вот темная неплохо показала себя в тех прозрачных демонах, с которыми ты недавно повстречался. Это своего рода диффузный паразитический организм. Он вызывает серьезные изменения в человеческом теле, аж на уровне белковых комплексов, отчего происходят дипольные сдвиги и много еще чего. Белки начинают играть как бы в одной команде. Меняются коэффициенты отражения и преломления света у тканей тела. Распределяясь в управляющих зонах мозга, темная техножизнь фор-

материрует его под загрузку сложных психопрограмм. Более того, она встраивается в генетический аппарат и усиливает регенеративные способности...

Грамматиков заметил, что Борис-Два увлекся как школяр, описывающий одноклассникам то, что он подсмотрел намеренно в раздевалке для девушек.

- Стоп, машина, сейчас не надо сказаний, ведь меня могут в любой момент остановить и попросить на выход с вещами. Конкретно, где искать светлую техножизнь?

- Если б я знал. Вопрос еще и в том, кто быстрее до нее доберется. Одна наша общая знакомая или мы. И если честно, будь здесь тотализатор, я бы поставил на Веру.

Помимо своей воли Грамматиков стал вспоминать темные солнца вериных глаз, обволакивающую мягкость ее движений, струящиеся линии ее тела, и голубые змейки, выскочившие из под ее ногтей...

- Да, барон, она не просто блядь в третьем поколении, но еще и монстр. С Найдорф может сотрудничать только монстр, такова аксиома. И я подозреваю, что Верка кинула нас и перекинулась в банду Леры Найдорф еще до войны. В команде Найдорф очень серьезные наноинженеры. Они превратили Веру в богиню смерти Калли, обвешенную кишками патриотически настроенных мужиков...

- Но почему этой суперкоманде суперинженеров не создать светлую техножизнь самостоятельно?

- Пытаются создать. Но светлая у них не получается, потому что они - гады, коллаборационисты и наемники. И даже у нас ничего не выйдет, потому что Вова Кренделевич - мертвый герой. Как он там кудесил с нанокристаллами, история не сохранила, начальные условия эксперимента восстановить просто невозможно.

Где-то под ложечкой у Грамматикова образовалась тоскливая пустота. Он порыскал в бардачке и нашел пакетик с суповым гелем. Потер ее в руках, запустив химическую реакцию, которая превратила холодный гель в теплую суспензию. Через несколько секунд опрокинул себе в рот нечто напоминающее по вкусу вареную штукатурку. От высокотехнологичного супа пустота несколько сгустилась, но тоски меньше не стало.

Назад дороги нет, а впереди - черная дыра. Борис Дворкин - в лучшем случае, скользкий делец, который мутит воду, надеясь хоть чем-нибудь поживиться.

- Послушай, а почему бы мне сейчас не выйти из этой машины? Ты мне и так уже создал кучу неприятностей. Кто бы ты там не был, Боря-Один или Боря-Два, я не собираюсь искать для тебя светлую техножизнь, подставляя задницу своре найдорфских демонов. Останови-ка.

- Здесь нельзя. - Боря-Два и в самом деле уже свернул на Невский, залитый как будто жидким огнем. Наполненные плазмой праздничные пузыри летели по программируемым траекториям, образуя свадебные шлейфы за каждой машиной. - Да и вообще, барон, мы можем сегодня неплохо повеселиться. Глянь, кстати, направо. Экая конфетка катит.

В пестром автомобильчике на соседней полосе и в самом деле ехала девчонка, что надо.

- Если бы ты даже мог выполнять роль фаллоимитатора, я бы как-нибудь обошелся без тебя.

- В самом деле? А тачка-то моя. И я всегда могу дать пару ценных советов молодому неопытному другу. Вот как ты думаешь, Грамматиков, что нужно для любви?

Нет, эта железяка сильно действует на нервы, вся - в своего творца господина Дворкина.

- Что нужно некоторым для любви? Мономолекулярный презерватив с музыкой и усиками.

- Мне жалко тех девушек, которые с тобой были знакомы. Или таких почти не было? Для любви, Андрей, нужны цветы.

- Цветы? - Грамматиков переспросил, чувствуя, что в его голове слова Бори-Два находят какой-то смутный отклик.

- У тебя ведь была контузия, Андрей?

Грамматиков почувствовал острое желание вырвать Боря-Два из отсека, где он скрывается, чтобы задрыгал проводками, подлец... Ну, сколько можно терпеть?

- Была. И что?

- Ничего. Вон у тебя глаз из-за тика дергается, да и во мне тоже что-то все время тикает. Однако с памятью у меня порядок, а вот у тебя как? Ты и в самом деле забыл коды, запускающие половое размножение техноргов?

- Я много чего забыл, но на моем компе... - Грамматиков запнулся. Нашел с кем откровенничать.

- Твою квартиру разграбили мародеры. Там не осталось никаких ценных вещей. Скажи спасибо, что твою маму не пристукнули и не изнасиловали Марину Аслановну. Впрочем, насилие в умеренных количествах пошло бы Марине Аслановне только на пользу.

Блин, он так мало думал о маме в этот последний год.

- Я же получал от мамы письма, но она ни словом...

- Маманя у тебя боевой офицер, так что не волнуйся за нее. А у нас с тобой свои долги перед страной и миром. Скажу прямо, объективной информации мне не хватает, но интуиция никогда не изменяла мне. Чем раньше светлая техножизнь выйдет из подполья, тем лучше для нее. Темная техножизнь не успеет удавить ее по-тихому в этом самом подполье. Но выход на поверхность означает ускоренное размножение и отбор наиболее устойчивых форм. Надеюсь, солдат, ты в курсе, какой способ размножения самый лучший?

- С точки зрения рекомбинации наследственной информации, то половой...

Боря-два как будто прищелкнул языком.

- Вот именно. Если техножизнь вылезает на поверхность и украшает себя цветочками гонофоров, то ей без тебя никак, потому что коды, запускающие половой процесс, закопаны именно в твоей голове. И если ты честно вспомнишь все, что нужно, то увидишь древо техножизни, проросшее до самых небес, до Луны, Венеры и Марса, древо, которое оплетет своим ветвями Солнце... Раз и губернаторша Найдорф и ее команда бодрых извращенцев - просто удобрение, кучка говна, оставшаяся далеко внизу. Поспеваешь за мной?

Машина въехала на Малый проспект Васильевского острова, за ним начиналось Сити, с кактусоподобными небоскребами из полиуглерода и высотными автобанами, сшитыми из нанотрубок. Их натянули там, где раньше летали лишь птицы, покрывая на крохотных букашек-людей внизу. С верхотуры какой-то из башен Сити гордо взирает на свои достижения старуха Найдорф.

Неожиданно в голове Грамматикова всё устаканилось и предстало в совсем мрачном свете.

Борт-компьютер говорит от имени антиправительственной группировки, готовящей мятеж.

- Боря-Два, скажи прямо, что ты втягиваешь меня в заговор. Я не люблю Леру Найдорф и ее команду извращенцев, - честно признался Грамматиков. - Я не одобряю того, что они сделали с моей страной, но я не буду участвовать в заговоре. Тем более в роли пешки, которую быстро сбросят с доски...

- Дурак ты. Ты ж для нас почти святыня. И никакого заговора нет. Есть просто свое видение будущего. Андрюха, успокойся, мы не будем свергать Найдорф и даже америкосам мстить не будем. Зачем свергать червяков и мстить букашкам? У нас будет своя, космическая Россия!

- Угу. Там с помощью нанотехнологий мы вырастим березки, построим церквушки и воскресим из мертвых царя Гороха.

Машина переехала через речку Смоленку, упакованную в прозрачную граненную трубу, затормозила около робота-сфинкса, взимающей плату за проезд в Сити.

Грамматиков краем глаза посмотрел на дверь. Дернуть ручку и бежать? Кругом ни подъездов, ни подворотен. Только громады нанопластиковых небоскребов, переплетения магистралей, да еще хрустальный портал Арки Демократии, находящийся на месте разбомбленной церкви смоленской божьей матери.

- И не вздумай, Грамматиков. Очень может быть, что ты им больше нужен, чем я. Поэтому дверца, извини, заблокирована.

## 5.

У них на хвосте висела "Ди-Вольга". Автомашина, похожая на баклажан темно-фиолетовым отливом и формой.

Хотя БМВ умело вписался в левую полосу верхнего яруса, промчался по кривым металлопластиковым эстакадам Дома Мебиуса, пролетел среди стоячих волн и других чудес сверхтекучести Дома Гелия, "Ди-Вольга" не отставала.

- Убедился, напарник? Эй, друг Грамматиков, чего-то у тебя вид больно иконописный, ты что прибалдел?

Если точнее, Грамматиков не "прибалдел", а настрадался от страха, особенно когда машина Дворкина мчалась вдоль невысокого ограждения по наклонной полосе над пропастью глубиной в триста метров. Высота не была стихией Грамматикова.

- Мне не нравятся скайвеи, - по возможности мужественным голосом признался Грамматиков.

- Окей, иду на посадку.

БМВ как раз вырвался на спиральный съезд с автобана и устремился к поверхности земли. Ощущения у Грамматикова были как у космонавта в спускаемом космическом аппарате.

- Э, куда ты едешь? Там же "кирпич", а за ним стройка! - запротестовал Грамматиков.

Несмотря на запретительные знаки и крики протеста, БМВ затрясся на неровностях огромной строительной площадки, напоминающей о начальных стадиях строительства Вавилонской Башни.

- Высовывайся и стреляй.

- Нет, - Грамматиков вцепился в кресло обеими руками.

- Применяй оружие, слизняк. Или они нас раскатают тут. Господи, да твоя машина, капитан Елизавета Грамматикова, лично убила работоторговца Аслана.

Грамматиков подумал, что его слабовольный папа, наверное, спился, из-за такой женушки. Хотел еще раз крикнуть "нет", но почувствовал в себе холодный сосредоточенный центр - такого внутреннего командира его мышц и нервов, столь похожего на маму... Грамматиков высунулся в окно, чуть не поперхнулся от ветра и выстрелил пару раз по колесам и ветровому стеклу преследователей.

Ди-Волга заметно вздрогнула и отстала, потом потерялась за каким-то краном.

- Ну что? - с торжествующим возгласом обратился Боре-Два к Грамматикову. - Оторвались мы от них, ха-ха! И все потому, что я никогда не соблюдаю правил дорожного движения...

Ди-Вольга преследователей внезапно вынырнула из-за пузатого контейнера со строительным мусором и под углом в тридцать градусов впилилась в борт БМВ. Грамматикова швырнуло на дверку, где-то в спине хрустнуло.

Боря-Два бросил руль в противоположную сторону и съехал прямо на фундамент будущего здания, в котором там и сям мелькали провалы подземных помещений. БМВ запетлял среди зарослей саморастущей металлорганической арматуры.

- Тормози, сворачивай, бога ради, - зарычал Грамматиков, заметив, что Боря-Два несется прямо на столб.

- Позволь мне одному молить моего машинного бога о нетленности трансмиссии.

Боря-Два свернул в самый последний неуловимый момент, когда казалось было уже поздно. А громоздкая "Ди-Волга", водитель которой, видимо, не имел доста-

точного обзора, "поцеловалась" со столбом. Ее крепкий полиуглеродный корпус не расплющился от столкновения с диамантоидным материалом, а отлетел – ровно в один из подвальных провалов.

Оттуда, спустя несколько секунд, поднялся рокочущий огненный гриб.

– Да остановись ты, наконец, открой дверь. Мы обязаны оказать помощь.

– А также выставить аварийные дорожные знаки. Но жареному мясу уже никак не поможешь, поверь мне, у них там все боеприпасы сдетонировали... Впрочем, мы остановимся, но совсем по другой причине.

Боря-Два дал задний ход и резко затормозил у горящего подвала.

– Грамматики, чего сидишь, как пионер в публичном доме? Быстро выбирайся из машины.

– У тебя там что, какая-то микросхема перегорела? Ты же сам сказал, что...

– А теперь говорю, что нас засекла полиция. Я перехватил желтую информационную трассу. Господи, как я ненавижу дисхронию человека и компьютера. Шевелись, слизень! Надо спихнуть наш автомобиль в тот же самый подвал. Поставь автоматику на нейтраль. Давай же! Меня не забудь вытащить, я там, за синей панелью.

Грамматиков в одно движение сорвал панель и вытащил борт-компьютер, украшенный мерцающей шевелюрой оптического волокна.

– Теперь толкай машину, дуб ты этакый.

И БМВ отправился в дымящуюся дыру.

– Теперь уничтожь меня, – сказал "Боря-Два" невнятным лишенным эмоционального усиления голосом.

– Что-что? Зачем же ты потребовал, что бы я тебя вытащил из приборной доски?

– Для надежности, Грамматиков. А сейчас разбей меня, раздави.

– Для какой-то такой надежности?

– Быстрее, я говорю... До свиданья, друг мой, до свиданья... Во мне хранится кое-какая информашка, которой бы я не хотел делиться с супостатом.

– Ну, если ты так просишь.

Грамматиков положил "Борю-Два" на фундамент и поднял кирпич...

## 6.

Через несколько минут прожектора полицейского вертолета прижали Грамматикова к забору с крутящимися колючками, который ограждал стройку.

Грамматиков попытался порвать футболку на своей груди.

На мне минимум пять трупов за один только день! Без лицензии на убийство. Вертухаи посадят меня на электрический горшок и с удовольствием поджарят яичницу с колбаской...

Его рука нащупала пистолет...

Стоп, нельзя брыкаться. Они убьют меня гарантированно раньше, чем я успею прицелиться. И вообще стрелять по алмазной броне – глупо.

Пистолет упал на нанопластиковый фундамент, элегантным движением ноги Грамматиков зашвырнул его под какой-то контейнер.

Когда вертушка полностью втерла его в забор лучами прожекторами и проколола спицами лазерных целеуказателей, послышался голос "с неба". Клоунский, тараторящий, пропущенный через какой-то медийный интерфейс.

– Надули! Розыгрыш! Вас снимают.

Грамматиков посмотрел на голосащий вертолет осоловевшим взглядом.

– Вы являетесь участником реалити-шоу! И это хорошая новость.

Прожектора чуть ослабили мощь света, вертолет, наконец, приобрел четкие очертания большой осы, и из него на стройплощадку прыгнула дама, интересная во многих отношениях. Особенно привлекал внимание ее рубиновый рот, хотя она

была не в маске. Да и позолоченный бюст был фактически открыт, если не считать карминовых звездочек на самых пикантных местах. Заодно с ней десантировалось и трое юрких азиатов с переносной техникой.

- В эфире Талия. Вы смотрите "Последнее прости", - обратилась она к невидимым телезрителям, а потом страстно поцеловала своим рубиновым ртом сильно растерявшегося Грамматикова. При этом одна ее ножка шаловливо согнулась в коленке и закачала острой серебристой шпорой. Если такой в упор по яйцам...

Талия схватила Грамматикова за руки и потащила к вертолету, припевая: "В студию, в студию".

- У тебя всегда такой вид кисленький или просто устал, малыш? - бойкая женщина почти насильно затолкала в рот Грамматикова какую-то штуку, похожую на бычий глаз. "Глаз" немедленно лопнул, кислородные пузырьки шибанули в нос, волна адреналина ухнула в кровеносные сосуды. Краски стали ярче и очертания предметов резче.

Вертолет взмыл над строительной площадкой и заскользил вдоль световых трасс, проделанных разметочными лазерами в сумрачном мокром воздухе, курсом на сияющие громады Сити.

"Пусть тарыхтит, авось что проясниться", - подумал Грамматиков.

По счастью дама действительно оказалась специалисткой по щебетанию. Из этого щебетания, после сравнения с цепочкой реальных событий, можно было сделать следующую выжимку.

Грамматиков стал объектом чистого игрового эксперимента. Камеры вездесущего реалити-шоу засекли происшествие на стройплощадке... Но, как сообщила полиция, погибшие личности никоим образом не числятся в списках граждан. Соответственно у этих личностей не могло быть лицензии на защиту со стороны правоохранительных органов демократического города-государства...

Руководитель "Последнего прости" немедленно выслали вертолет...

Сейчас над Сити в сплошной дотоле облачности образовалось огромное окно. Столбы солнечного света ударили в небоскребы, которые, казалось, выныривают из водяной бездны и подпирают небосвод своими извилистыми исполинскими телами. Чуть прищуришь глаза и это даже не громадные здания, а смерчи времен Апокалипсиса.

Такая ярко-голубая вода, как в акватории Сити, могла быть лишь в лагуне тропического острова.

Поверхностно-активные вещества украшали "лагуну" картинно-медленной зыбью, как на полотнах маринистов.

Вертолет сперва пролетел над "слоем" старых барж, пароходов, фрегатов и бригов, вставших на вечную якорную стоянку по краям Сити неподалеку от плавучих мусороперерабатывающих заводов, похожих на огромные мыльные пузыри.

Там и сям на палубах мертвых корабликов стояли ветряки и солнечные батареи в размах полного парусного оснащения.

Между мачтами были натянуты веревки, на которых сушилось белье. По палубам сновали косяки детей и расхаживали строгие мужчины с татуировками на лицах.

Неприличной публике не было места в самом Сити, но они беспрепятственно расселялись по свободной водной глади, получив от Комитета Гармонизации дешевую лицензию на маргинальную жизнь. Назывался этот "слой" жизни - Петронезия. За короткое время он был под завязку заселен выходцами с юга, согласно глобальному проекту гармонизации. Лишние люди теперь сплавлялись не в умытую и причесанную Европу, а в российскую промзону...

На бортах-дисплеях вертолета засветилась реклама, излучаемая Петронезией.

\*\*\*Тысячи желтых маленьких хакеров лупят по клавишам, изготавливая психонанософт - от мягкого наркоинтерфейса "эйнджело" до жесткого "порнодаймоника". Они работают за миску риса для вашего удовольствия.\*\*\*

- Я поняла, что ты отсталый парень с окраин, - сказала Талия, - но неужто ты даже "эйнджело" не пробовал? Блин, мальчик, я когда-то полностью отказалась от прямых подключений игровой нейрокарты к мозгам, и не пожалела. Теперь только оральные варианты - проглотил дозу наркоинтерфейса и немного подожди, пока "мальши" доплывут до нервных центров и подкрутят там шарики-ролики. Эйнджело - такой улет! Весь мир становится сексуальным, проницаемым, скользким, вы просачиваетесь сквозь стены, вы перетекаете из тела в тело...

Грамматикову явно было не по себе от роли темного мальчика с окраины.

- А рекламу нельзя отключить?

- У них, милый, лицензия на рекламную обработку всех пролетающих аппаратов, вплоть до стратосферных. Какой же ты темный. И выражение лица у тебя детское... Может, мальчик, тебя интересует версия даймоника для чайников? - вкрадчиво поинтересовалась модераторша. - Как насчет встречи с богиней Иштар, принявшей облик классной руководительницы, а?..

Рука Талии довольно грубо опустилась на его штаны в районе промежности. Жест, скорее подобающий старой ВИЧ-инфицированной шлюхе, чем работнику культурного фронта. Однако рефлекторные дуги Грамматикова отреагировали однозначно - характерным вздутием в районе промежности - и он поскорее отодвинулся, активно двигая ягодичами. Талия, как будто обидевшись, замолчала.

Пролетев над Петронезией, вертолет запорхал над плавучим островом, смахивающим на знак "инь-янь".

С западной стороны от главной изогнутой улицы был жилой квартал, с восточной - конторский. Вдоль самой улицы густо теснились магазинчики и разные увеселительные заведения.

Ненадолго вертолет завис над толпой, текущей, как густая жидкость, сквозь сосуды и капилляры плавучего острова.

Дома западной стороны острова выглядели словно огромные хрустальные люстры, кубки и вазы. Стены из диамантоидных материалов меняли прозрачность и искристость в зависимости от желания хозяев.

Офисы восточной стороны напоминали елочные игрушки из серебристой и золотистой фольги.

Некоторые переулочки, выходящие к центральной улице, были исполнены в стиле колониальной торговли.

\*\*\*Здесь вас встретит здесь запах хорошего кофе, курящиеся благовония и фарфоровые драконы, бумажные фонарики и шелковые ширмы. И девушки, словно выточенные из сандалового дерева. Лицензированный психософт подарит вам сексуальный опыт всей Африки, матки человечества.\*\*\*

Северная часть острова была украшена портиками и колонадами. Среди нанопластика, имитирующего мрамор и цветы, порхали огромные робобабочки.

\*\*\*Международный центр эвтаназии "Врата рая" обслуживает до ста тысяч клиентов каждый год. Еще никто из наших гостей не покинул этот мир недовольным.\*\*\*

К западу от острова располагались порт и плавучий аэропорт, к северо-востоку в утренней дымке проглядывали громады плавучих заводов, особенно выделялись своими циклопическими размерами доки, верфи и нефтеперегонные комбинаты, на их фоне сияли "магические" кристаллы лабораторий и институтов. Легкими переливами яркости просматривались и многоярусные плантации тюльпанов, похожие на алхимические колбы. За ними световой пеной кипела дамба и лучились километровые призмы вселенского собора, выстроенного бахаистами в Кронштадте...

Когда вертолет пролетал над дамбой, она была похожа на волну, несущую бесчисленные охапки хрустальных одуванчиков.

Под действием моря и ветра многолопастные "цветы", почти не имеющие трения вращения, закручивались в звездочки, направляя энергию моря на выработку электричества.

- Какая красота, - сказала Талия. - А еще кто-то говорит, что матушка Россия после войны потеряла потенциал. Вот он - потенциал, всё напряженно, всё упруго и энергично, как после приёма виагры.

- Я тоже люблю мультики. Между Микки Маузом и мышью - большая разница, чтобы не говорил Голливуд.

"Молчи дурак", нарисовалось в ее дотоле пустых аквамариновых глазах. Даже показалось, что на самом деле у них совсем другой цвет и выражение.

Вертолет, заложив вираж, направился к самому высокому зданию питерского Сити, горделивому творению гильдии наноинженеров, сосредоточию всех мыслимых медиа, источнику всего того, что входит в глаза, уши и нейроконнекторы любого жителя Петербурга, Ингерманландии и еще доброй половины Евразии. К дому, который носил неофициальное название Дом Медичи.

- Если смотреть со стороны моря, то он похож на мачты затонувшей шхуны, правда? - нарочито гордо сказала модераторша...

Два корпуса, напоминающие надувшиеся полотнища косых парусов, и в самом деле меняли свою кривизну как будто под воздействием ветра. Фотонические нанопокрывания на фасадах образовывала огромные километровые экраны, на которых крутилась видимая даже из космоса реклама.

Обитатели космоса сейчас могли узнать, что нет ничего нежнее и чувственнее туалетной бумаги "Ладонки фрейлины".

Вертолет влетел в просвет между "парусами".

Они скрывали как створки раковины еще один корпус, слепленный из дворцовых фасадов и корабельных форштевней.

Талия неожиданно оттаяла и приблизилась к Грамматикову на расстояние вытянутой груди.

- Тебе повезло, милый мой, ты оказался в нужном месте и в нужное время. Сегодня, когда глупые мальчишки с окраин, откровенно говоря, живут кисло, органы в себе выращивают на продажу или работают попкой, у тебя есть возможность отличиться, бабки срубить и кайф словить! - ее голос профессионально забурлил от восхищения. - Ведь сегодня в Доме Медичи - Международный День Сказки. И наше шоу "Последнее прощанье" участвует по полной программе.

## 7.

Над бездной стоял Калинов мост. Дряхлый, изъеденный искусственным временем и раздолбанный тяжелыми тварями вроде двенадцатиглавых змеев.

Дальний конец моста таял в густом молочном аэрозоле.

Надо было идти вперед. Грамматикова, обряженного в экзоскелет Змея Горыныча, сейчас преследовала целая бригада иван-царевичей, уверенных, что он обольстил полк Василис Прекрасных. Змей Горыныч, судя по генеральским погонам, символизировал прежний великодержавный режим. Иван-царевичи выглядели подчеркнуто космополитично в своих ковбойских шляпах и джинсах.

Наказание для старорежимных змеев горынычей в Международный День Сказки было жестоким. Сжечь, прах зарядить в Царь-Пушку и выстрелить....

Горынычу-Грамматикову казалось, что он уже слышит врагов, как будто уже позвякивают пьезоколокольчики, развешенные в том нанопластиковом лесу, который вырос из его колдовского гребня.

Он сделал несколько шагов по мосту и чуть не упал. Гнилые доски рассыпались прямо под ногами. В прорехи были видны морды летучих демонов, обитателей

бездны, питающихся тем, что падает с моста.

Мономолекулярный дисплей, плавающий как обычная линза по его левому глазу, окружил демонов виртуальными нимбами и снабдил надписями: "Нечисть класса "А". Интерфейс недружественный".

Грамматиков сделал еще несколько шагов, и опять чуть не сорвался. Наконец он сообразил, что прорехи образуются не абы как, а согласно алгоритму. Такие алгоритмы обычно дают в числовых тестах при приеме на "умную работу".

Когда мост стал уже не таким страшным, из тумана показался богатырский конь с Иван-царевичем. Конь знал алгоритм выпадения гнилых досок заранее. Его туша поскакала на Змея Горыныча по ломанной линии, огибающей все скрытые опасности. Иван-царевич бодро махал своей палицей. Весом в центнер минимум. Если бы не экзоскелет, этот тип ее бы даже не приподнял.

Черные ноздри коня храпят, дым с искрами пускают. Лошадиных сил в нем не меряно. Как-то не верится, что экзоскелет выдержит многотонный удар копыт. Растопчет эта скотина Горыныча, как пить дать, а устроители праздника запишут в графе "причины смерти" что-нибудь вроде "пережрал дармовых чипсов"...

Горыныч-Грамматиков подныривает под коня, рискованно крутится на заднице, помогая себе хвостом, затем резко распрямляется. Хрустит от перенапряжения экзоскелет, но скотина-биомашина теряет точки опоры. Конь-огонь свирепо лягается, однако Горыныч уже взял его самбистским приемом "мельница" и, через еще один оборот, бросает в пропасть...

Иван-царевич успел ловко выскочить из седла, балансирует на балках, прыгает на Горыныча и наносит удар палицей.

Горыныч-Грамматиков почти увернулся, но все же его сшибло, бросило на балюстраду моста, которая тут же развалилась.

Горыныч едва успел ухватиться за самый край моста, повис, безнадежно болтаясь над пропастью. Вот-вот сорвется.

И сорвался бы, если бы Иван-царевич не попытался раздавить скрюченные зеленые пальцы Горыныча, цепляющиеся за балку.

Грамматиков ухватился за сапог Царевича, забросил себя обратно на мост.

Иван-царевич вцепился ему в шею. Горыныч-Грамматиков кувыркнулся через его руку, размыкая захват, освободился, и тут же заработал богатырским кулаком по шее.

Несмотря на экзоскелет - почти нокаут, пейзаж потерял четкость, поплыл...

Горыныч ударил врага, почти не глядя, локтем, получил хук слева. На этот раз успел пригнуться, но поскользнулся, упал, чуть не съехал в прореху. Попытался сделать подсечку Иван-царевичу, а тот подпрыгнул как резиновый чертенок и еще нанес удар остроносым ковбойским сапогом. Целил в голову... Горыныч-Грамматиков перехватил его ногу и толкнул в сторону ограждения моста...

- Грамматиков, падла, друга убил, - больше уже ничего Иван-царевич не успел сказать. Его тело, перелетев через перила, растаяло в фиолетовой бездне, оставив лишь дымный след.

А ведь Царевич - это нормальный человек, участник шоу... Брр, и я мог быть на его месте...

Но Талия говорила, что экзоскелет дает стопроцентную гарантию безопасности.

Грамматиков обернулся. С утеса-великана его манила крючковатым пальцем какая-то нелюдь. Виртуальный нимб дал ей характеристику: "Посланец богов. Интерфейс дружелюбный. Отказаться невозможно."

## 8.

Сказочная пещера, населенная каменистыми троллями, завершилась дверью. И Грамматиков вынужден был войти.

Вроде обычная питерская квартира с довольно старомодной обстановкой...

На большом столе обеденном столе лежал... Сержант. Настоящий. Мокрый. В шевелюре запеклась кровь вперемешку с грязью. Левый глаз полуприкрыт гематомой. На глаз еще течет из разбитой брови. Ноги Сержанта трясутся мелкой дрожью, выбивая страшноватую чечетку. Игровой экзоскелет рассечен и напоминает панцирь раздавленного жука.

Сержант лежал прямо на тарелках, в соусе, в пюре, в соленостях, в луже пролитого вина. Но, в первую очередь, он лежал в огромной торте.

Помимо него здесь было еще несколько людей. Очень пожилая дама, в одеяниях Старой Ведьмы, в широкополой шляпе. Модераторша Талия, сейчас в облике Молодой Ведьмы, с сияющими проекторами в глазах. Человек с абсолютно незапоминающимся лицом, типичный Инквизитор. Он как будто все время находился в тени.

Все присутствующие явно были участниками праздника сказки. Но Грамматиков сразу почувствовал, что это праздник явно не для всех. Чтобы прервать молчание, застывшее над сюрреалистической сценой, он сказал:

- Почему бы не вызвать ему скорую помощь?

- Никто из присутствующих не нарушает его право на жизнь. Ни одно из подсоединенных к нему устройств не мешает его основным жизненным функциям, - сказала Старая Ведьма. - Однако у него нет оплаченного права на немедленную медицинскую помощь и восстановление жизнедеятельности в полном объеме.

- Зато у нас есть оплаченное право на то, чтобы жизнь не была скучной, - хихикнула Талия.

Несмотря на шутовской вид, настрой собравшихся был ясен, они были жестки и непреклонны. Им, наверное, было весело, от возможности показать силу и власть. Если это и была сказка, то отнюдь не для детей.

- Послушайте, я ненавижу фантасмагории, в любом виде, - преодолевая дрожь в голосе, заявил Грамматиков.

- Никакой фантасмагории и капустника, просто у нас такое делопроизводство. Хотите называйте это игрой, хотите - допросом, - словно спохватившись стал объяснять Инквизитор. - Открытый город не состоит из статичных сцен, тут - суд, там - тюрьма, здесь - эшафот, за углом еще какой-нибудь орган. Попробуйте это понять. Год назад мы сокрушили государство, вовсе не для того, чтобы поставить ему на место точно такое же, с унылым набором неизменных институтов. Наше общество - это живой мыслящий динамичный организм. Продюсер шоу - по совместительству следователь гражданского Комитета Гармонизации. Режиссер - прокурор. Телестудия одновременно является судебным присутствием. Прямо сейчас идет сетевая трансляция и те, кто имеют лицензию на эту информацию, получают ее. А те, кто купили лицензию на вынесение приговора, принимают решение.

Только сейчас Грамматиков заметил, что и соус, и пюре, и крем шевелятся, торт постепенно обволакивает тело Сержанта, а прямо в его окровавленный затылок входят претонкие проводки, похожие на сахарную вату.

- Как больно, - прохрипел Сержант.

- Хватит врать, мы контролируем ваши синапсы.

Перед Инквизитором на голографическом экране появилась нервная система Сержанта.

От каждого прикосновения пальцев Инквизитора к экрану возникали дополнительные окошки с диагностикой того или иного нервного центра.

Почти вся нервная периферия Сержанта светилась мертвенным голубым светом блокировок. И лишь несколько пар черепно-мозговых нервов - обонятельных, глазодвигательных, языкоглоточных - казались лилипутскими автомагистралями, по которым проносятся желтые огоньки крохотных машин.

- Так и есть. Подозреваемый ничего не чувствует. Тот танец, который он выделывает ногами, не имеет отношения к его мозгу.

Инквизитор потянул из торта склизкую трубочку со штекером типа "пасть мино-

ги" и воткнул его в разъем за ухом Сержанта.

- Не больно, - согласился Сержант, - я как будто в каталептическом состоянии. Мне и обоссаться не стыдно. Ну, пытайте меня дальше. Побольше воображения, господа садисты.

- Молодец, - похвалила Талия, ее проекторы полыхнули настоящим адским огнем. - Мы как раз поменяли на нашем пыточном сервере кэш третьего уровня. - Поле битвы - ваше мужественное тело.

- Только, пожалуйста, Талиечка, чуть убавьте яркость ваших очей, - добавил Сержант. - Ой-ей-ей, как мне щекотно. Мое бедное мужественное тело - как страна перед распадом. Печень поползла со своего места, и глаз померк, не желая видеть печальный конец других органов.

Словно в такт его словам левый глаз задергался под гематомой.

- Что это значит? - спросил неизвестно кого Грамматиков, его голова была словно наполнена ватой, а под ложечкой пульсировала тошнота.

Ответил Инквизитор.

- А то, что ваш знакомый сейчас подвергается интрабиологическому дознанию по подозрению в террористической деятельности. Как вы знаете, информация может быть записана в любую из тканей тела, на клеточном уровне, на уровне ДНК, на уровне внутриклеточных телец.

Грамматиков оглянулся и заметил пистолет в руках у Старой Ведьмы, которая сейчас зашла ему за спину. Широкий ствол смотрел в его сторону.

- Гражданин Дворкин, Борис, бывший сотрудник российского отделения НАСА, - прочитал Инквизитор с видимого только ему виртуального экрана. - Есть сведения, заслуживающие доверие, что он служил в спецназе МВД под другим именем во время сибирской войны, имел звание старший сержант, был соучастником военных преступлений. В конце войны в составе националистического бандформирования "За Пушкина" участвовал в диверсионных нападениях на миротворцев с применением так называемых лазерных шприцов. Известен под кличкой Сержант.

Значит, Сержант - это всё-таки Дворкин... Наверное, в лицевую мускулатуру двуликого Бори имплантирована миозин-резина, занимающаяся трансформациями физиономии.

Борис шумно выхаркнул сгусток крови и сказал.

- Прости, Андрюха, не мог тебе сразу правду втюхать, ты ж у нас еще нестойкий в борьбе. Лазерный шприц - отличная штука для спецопераций, давлением луча проталкиваются по каналу фуллереновые нанопилюльки, начиненные токсинами. Но этот гад пусть лучше расскажет, как американские роботеры наши села и города жгли, как финские зондеркоманды выбивали русский дух из Карелии, как миротворческие демоны резали по ночам противников нового режима. А какую они тут свободу установили... Продаются и покупаются насилие, похоть, грабеж, вампиризм, педофилия. Если купил лицензию на казнь, можно даже электрический стул дома держать...

- А не хотите ли вы, чтобы я вам подкрутил звук, - пригрозил Инквизитор и несколько стеснительно улыбнулся, показывая, что сам он не сторонник крутых мер.

Голос Дворкина сразу сел. На первый план вышло то, что происходило с его телом. Приобретала прозрачность теменная кость, под черепной крышкой засеребрилась паутина мозговых извилин. Та часть спинного мозга, которая просматривалась сквозь пробойны экзоскелета, казался гигантской спящей многоножкой...

Глаза Бориса совсем затянулись кровавой коростой, но губы и гортань еще шевелились, исторгая густой шепот:

- Вы видите как под грубым воздействием темной техножизни умирает личность Бориса Дворкина. Они расчлениют меня так же, как расчленили Россию.

- Мы не расчленили Россию, - довольно вежливым голосом напомнил Инквизитор.

- Мы взяли то, что осталось от этой страны, и сделали цивилизованной частью

старой-доброй Европы. И вовремя взяли. Вы бы знали, что творится к югу от Твери и к востоку от Ярославля, на территориях, формально находящихся под управлением ООН, но реально контролируемых джамаатами. Работоторговля, средневековье. Чуть мы опоздай и Джамаат аль-Исламия хапнул бы и нашу Ингерманландию.

- Что вы конкретно ищете? - спросил Грамматилов Инквизитора.

- Коды. С точки зрения ветсофта <прим. "мокрый софт", программное обеспечение, использующее органические носители> господин Дворкин всего лишь упаковка определенных объектных кодов и сервисных процессов.

В такт словам Инквизитора голографический экран красочно демонстрировал, как циркулирует информация в Дворкине, ментобайт за ментобайтом, входя и выходя через точки доступа в височных долях, подвергаясь распределению в лимбическом отделе мозга под управлением гиппокампа и записываясь в отформатированные регионы по всему кортексу...

- Можно предположить, Андрей Андреевич, что есть еще один биоконтейнер, в котором находится другая часть кодов и процессов.

Инквизитор посмотрел на Грамматилова, однако, не в глаза, а скользящим обтекающим взглядом.

Грамматилов почувствовал тяжесть под кадыком, по спине жаркой змейкой ползла испарина. Сейчас они будут его потрошить также, как и Дворкина.

- Не бойся, солдатик, - подбодрила Талия. - В отличие от Дворкина ты, Грамматилов, всего лишь жертва. Мы в курсе, что после демобилизации ты не участвовали в каких либо противоправных действиях.

- И если в Дворкине мы найдем все необходимые интерфейсы и адаптеры, то ваша начинка будет прочитана легко, практически без внутритканевого сканирования, - сказала Старая Ведьма стальным бесполым голосом.

- Что же это за коды такие? Что получится, если их соединить? - спросил Грамматилов, борясь с сухостью в горле.

- Вопрос на сто долларов. Получится нечто чудовищное, - ответил Инквизитор. - Возможно, господин Дворкин с вами уже делился соображениями на этот счет. Да, это действительно новый тип нановегетативных систем, полностью открытых, способных победить любую энтропию. Но он, наверняка, сказал не все. Это не Дерево Жизни, а Дерево Гарантированной Смерти. Технополипы, техногидры, техномедузы - саморазмножающиеся, самоорганизующиеся, самовосстанавливающиеся, быстро расползающиеся по всему миру. Их не удержать, не остановить. Потому что это не нанопластик и не нанороботы, которых можно перепрограммировать или дезинтегрировать. Это - техноорганизмы, изменчивые и приспособляющиеся ко всему. Для победы над энтропией они способны утилизировать всю живую органику.

- Да, да, - пробормотал Грамматилов. У него сильно зачесалась макушка. Как будто инквизиция уже запустила свои щупальца ему в голову.

Волна прозрачности расходилась по Дворкину, открывая внутренности, превращая его тело в набор мясopодуктов, и это отдавалось потом на теле Грамматилова.

- Так вы согласны на сотрудничество? Я официально предлагаю вам сотрудничество от имени гражданского комитета гармонизации.

Грамматилову почему-то показалось, что Инквизитор, скорее, является передаточным звеном для Старой Ведьмы. Уж не сама ли это губернаторша?

Старая Ведьма качнула головой, и Грамматилов вспомнил анимацию из газеты. Это Найдорф. Точно она.

- Мы не формалисты, как вы могли убедиться, господин Грамматилов, - сказала Найдорф. - Для нас важно желание и воля, а не декорации.

- Не соглашайся, Грамматилов, как только у них появится интерфейс и адаптеры, они раскурочат тебя, так же как и меня, - проскрежетал Дворкин. Серебристая паутинка, оплетающая его мозг, заметно потускнела.

- Я и в самом деле вынужден полностью убрать звук, - сказал Инквизитор.

- Не смейте, вы нарушаете статью библии, что грозит обвинительным приговором на Страшном Суде, - зачастил Дворкин. - Вы разрушаете штучную работу господ Бога, чужую интеллектуальную собственность. Мой разум дан мне свыше, а не сбоку и не снизу. Я вовсе не клиент-серверная система, как клерки из ваших офисов.

Дворкин смолк, хотя в его горле продолжалось какое-то движение, а каблук еще активнее забили по столу, словно компенсируя стеснения свободы слова.

Грамматикову вдруг захотелось, чтобы этот танцующий полутруп немедленно убрали отсюда. Надо было как можно быстрее обсудить условия сотрудничества с гражданским Комтетом Гармонизации. В этом был смысл. Без Дворкина не возникло бы никакой техножизни, никакой угрозы для всей живой органики, это он всё организовал...

- Вы не могли бы сейчас остановиться, я не хочу это наблюдать, - сказал Грамматиков.

Ответ был неожиданным. И не от Инквизитора.

Под полупрозрачными кожными покровами Дворкина неуловимо быстро сократились багровые узлы мышц и алые тросы сухожилий, резко изогнулась радужная "многоножка" спинного мозга.

Каблук Дворкина с грохотом ударили по столу, но на этот раз это не было танцем агонизирующей нейромоторики.

Тело Дворкина с чмокающе-пневматическим звуком вырвалось из торта, мгновенно разорвав сахарную вату проводков.

Инквизитор увернулся от первого несколько неловкого тычка Дворкина. Однако губернаторша Найдорф пропустила удар ногой на среднем уровне, и пистолет выпал из ее руки. Подсечка опрокинула на пол и Инквизитора.

Разные цвета сейчас боролись в теле Бориса, словно сошлись в нем разные начала и первоэлементы. Черные и белые полосы сплетались на его лице и груди, как будто в нем совоплотилось одновременно сто папуасских людоедов в боевой раскраске.

Между рук Дворкина завертелась голубая змейка, и за секунду до того, как Инквизитор подхватил пистолет, она прошла сквозь его тело, развалив пополам.

Половина Инквизитора еще поползла куда-то. Среди нормальных внутренностей были видны какие-то дополнительные структуры, которых не должно быть у человека - зеленоватые нити с подрагивающими пузырьками.

- Шалишь, - Боря забросил половинку Инквизитора в угол и следующим движением голубой змейки срезал с Найдорф голову.

Голова генерал-губернаторши покатилась по полу, но тело осталось стоять, а в красном кратере шеи показалось, что-то напоминающее надувной шарик. Шарик не успел дорасти до размеров головы, потому что Дворкин заставил его лопнуть одним молодецким щелчком.

- Грамматиков, городом Питером руководят переформаты, начиненные темной техножизнью, словно трупак червяками. В бабушку-дедушку Леру Найдорф еще восьмого марта прошлого года мы всадили в качестве подарка на женский день десяток разрывных пуль, а ей хоть хрен. Вот я и говорю, что все транссексуалы повязаны с чёртом... Ну, а что та одинокая девушка в уголке? Надеюсь, она не откажется со мной потанцевать.

Дворкин решительно двинулся к Талии, которая вжалась в узость между шкафом и стеной.

- Остановись, Борис, - Грамматиков заслонил модераторшу. - Если даже в ней гнездится темная техножизнь, она остается человеком, у нее есть право на жизнь. И вообще всё бесполезно. Сейчас здесь будет полиция.

- Отдохни, защитничек, - неожиданно твердой рукой Талия отодвинула Грамматикова в сторону. - Я лучше полиции.

И Талия распорядилась Дворкином, словно тот был мягкой детской игрушкой.

От удара девушки экс-Сержант перелетел через стол и врезался в стенку. Сполз кучей на пол. Прохрипел уважительно:

- Это серьезно. Блин, да это ж...

Талия подошла к обомлевшему Грамматикову и из ее глаз, ярких как небо пустыни, выглянул экспериментатор.

- Ты меня интересуешь, куда больше чем Дворкин. Узнаешь меня, мальчик?

Ее глаза и пальцы, ее рот приблизились к его шее, его груди, его животу. Ее лицо менялось на глазах, та же способность к мимикрии, что и у Дворкина. То ли Вера Лозинская, то ли медсестра-брюнетка, то ли гарпия, рвущая человеческую плоть... А потом она скинула платье, и ее полупрозрачное тело заструилось перед оцепеневшим Грамматиковым. Цветы яйцеводов и стебель позвоночника, дольки желёз и бутон матки в нимбе из дымчатой плоти. Картина была объективно ужасной, это Грамматиков признавал, но он был готов любить и ее органы. А потом словно открылось виртуальное окно и лицо Талии стало пропускать свет, который не имел никакого отношения к электрическому освещению, поскольку поднимался из Бездны. Его даже и светом трудно было назвать, ни яркости, ни цвета. Только энергия и власть.

Паутина из этого ненормального света сладко оплела мозг, легкие, кости Грамматикова.

Все тело Грамматикова стало тонким и легким как барабанная перепонка, он слышал шелест листвы, шорохи лесного зверья, щебет птиц, жужжание пчел, поступь лани, копошение личинок, падение капель дождя.

Он слышал запахи далеких соцветий, и пряные ароматы коры. И тихий шепот нанопластика. И, казалось, музыку больших и малых сфер он тоже слышал: атомов, соединяющихся в молекулы, и молекул, сцепляющихся в вещество, и вещества, рождающего сознание. Грамматиков чувствовал разум в крохотных ручейках энергии, просачивающихся сквозь границу, которая защищает плоский мир людей от Бездны...

Голова Грамматикова раскрылась как раковина мидии, его слух и видение поднимались как пар из кастрюли. Вещи теряли твердость, текли ручейками словно на картинах Ван-Гога, рассыпались мазками как у Клода Моне. Еще немного и весь мир можно будет сплести по-новому...

Ладони Веры были у Грамматикова на груди, но никакой скин-коннектор не пропустил бы такую волну пронзительных ощущений. Вера знала скрытые нейроинтерфейсы, рассредоточенные в его теле. Однако Грамматиков не ощущал себя жертвой инфекции. Пусть так, если это ключ к иной объемной жизни.

- Андрей, нам не нужен ни Дворкин, ни Найдорф.

Ее пальцы оказались у него на шее. Ее ногти легко как в масло вошли в его кожу, и не было больно, ее ногти прорастали сквозь его тело, нежно и неудержимо рассекая плоть и блокируя нервы. Другая рука скользнула вдоль средней линии его живота к паху. А вместе с тем брызнули и потоки сладкой энергии. Вот-вот превратятся они в водоворот, который в момент унесет душу Грамматикова...

Вера неожиданно отшатнулась. Вернее, вильнула вбок и назад. Звук выстрела громыхнул под потолком. Вера, как будто не глядя, ударила Дворкина ногой, отбросив на шкаф. Тот бессильно хрупнул и сложился пирамидкой над рухнувшим телом. Пистолет улетел в угол. Грамматиков теперь почувствовал боль и кровь, ползущую теплой змейкой по шее...

- Господи, Грамматиков, сматывайся пока не поздно, - прохрипел Дворкин. - Ей в самом деле нужен ты, а не я, в тебе - секрет техножизни. Она разделает тебя как хороший повар цыпленка - всего за несколько секунд.

Дворкин сорвал что-то со своего уха и швырнул в сторону Грамматикова. Вера, по-звериному рванувшись, попыталась перехватить летящее кольцо, но Дворкин

стреножил ее. И тут же был вбит в пол, как гвоздь.

- Не дай ей трахнуть себя, - просипел Дворкин. - Дуй на транспортный терминал, и лети отсюда голубем сизокрылым. Запомни, автопилот роторника должен быть в режиме "С".

- Я же твой идеал, Андрей, - говорила Вера, а заодно топтала как птица-секретарь катающегося по полу Бориса, который выплевывал слова вместе со сгустками крови:

- Лети, Дюша, как будто у тебя в одном месте ракета. Тебя ждет рубка флагманского корабля и вся эскадра.

Грамматиков поймал кольцо, видимо поспособствовали уроки пинг-понга, полученные в детстве.

- Андрюха, сделай все так, чтобы мама гордилась тобой...

Информация из устройства памяти считалось через скин-коннектор.

Прорезавшая воздух виртуальная нить Ариадны повела Грамматикова прямо в стену.

В стену? Если бы еще в окно. Почему в стену-то?

## ГЛАВА 4. МИР

### 1.

Да пошел ты со своей стеной, Боря. Так я и поверил.

Дворкин уже не двигался. Вера, пнув его последний раз, обернулась к Грамматикову. Едкий свет лампы лишь слегка прорисовывал ее, едва заметными ручейками стекая по нервным волокнам и кровеносным сосудам.

Андрей вдруг понял, что не ударит ее. Во-первых, он никогда не бил женщин. И что более важно, если он ударит, то она сделает это куда больнее.

Грамматиков рывком перевернул стол, и полужидкая дрянь плеснула с него на пол.

Грамматиков прыгнул так, как прыгают в бассейн. Упал, заскользил, по дороге повернулся вокруг оси.

Потом толкнулся и оказался в оконном проеме. Щеколда легко поддалась и ставни разошлись в стороны.

Ниже окна была только гладкая стена, опускающейся отвесно вниз в "лагуну". С рекламных облаков светилась надпись: "Не оглядывайся. Сделай шаг навстречу мечте. Крем для бритья лобка 'Небесное наслаждение'".

Грамматиков всхлипнул, не совладав с дыханием, и спрыгнул назад, с подоконника в комнату.

Он увидел, как практически убитый уже Боря обхватил Веру, а она бьется как муха в паутине, машет вымазанными в чужой крови руками. Приклеил он ее, что ли? Кровавые руки Веры выглядели какими-то пресмыкающимися благодаря невидимости остального ее тела. Из рассеченного живота Дворкина валяются кишки, а из-за рта выдвигается что-то. Более длинное, чем язык, с мигающими индикаторами...

Уже не отступая от виртуальной нити, Грамматиков влетел прямо в стену под грохот взрыва, который едва успел хлестнуть его горячим потоком.

Грамматиков не разбил себе голову. Стена оказалась слоем жужжащих фоглетов <прим. "туманные" наноботы, сцепленные с помощью вандерваальсовых сил>, прокатившихся по его телу как морская волна, однако не оставивших ни одной капли.

Грамматиков вовремя взмахнул руками. Под ногами практически ничего не было, кроме узкой балки. Через пять метров она пересекалась с другой балкой, причем не совсем перпендикулярно. Изнанка Дома Медичи показалась бы интересной люби-

телю абстрактной живописи. Самопроизводящийся нанопластик не играл в прямоугольники. Здесь были разные углы и даже криволинейные элементы. Очевидно, хаос превращался в расчетную прочность уже в масштабах большого набора элементов.

Помимо каркаса из балок во внутренностях небоскреба просматривалось хитро-сплетение труб. В мрачном мерцании светодиодов было видно, что они скользкие, полупрозрачные, пульсирующие, сплетающиеся и разветвляющиеся. Из-за текущих по ним не смешиваемых жидкостей, они казались червивыми, как кишки, пораженные гельминтами. Задерживаться здесь не хотелось, но...

Гладкая плоскость позади замешкавшегося Грамматикова пошла рябью, а потом вспучилась, облекая чьи-то лица. Выглядело это как очередная декорация для "восставших из ада"...

Надо сделать несколько шагов до следующей балки. Господи, он чуть не сорвался. Так скользко и липко, а внизу шевелит пиявочными челюстями пустота.

Андрей поскользнулся на вездесущей плесени, которой американцы уничтожили пол-России. Снаружи, на стенах, ее не было видно, но внутри здания ей было чем подкормиться.

Грамматиков едва удержался в обезьяньей позе, опираясь всеми четырьмя конечностями на балку, и не давая сердцу выскочить как яичко изо рта фокусника.

В смутном воздухе надулся виртуальный пузырь с сообщением.

\*\*\*Разрешен доступ только для специалистов. Предъявите лицензию, легализованную гильдией наноинженеров.\*\*\*

Грамматиков вспомнил стальные глаза матери, которыми она ловила на мушку работорговцев, холодные прицелы ее зрачков, которыми она выслеживала киднеперов... и горячий трепет, сотрясавший его мышцы, словно кипящий бульон, вдруг вытек из тела. А липкая гадость, держащая его за ноги, наконец, позволила ему продвинуться вперед.

\*\*\*Если вы не являетесь специалистом или объектом, сконструированным для монтажных работ, вы должны немедленно связаться со службой спасения.\*\*\*

Несколькими ярусами выше кто-то ходил, щелкая самохватом. А по балке к Грамматикову ползли червеобразные объекты размером с хорошую палку колбасы. Спереди эти здоровенные робочерви были "упакованы" в полусферический панцирь, напоминающий шлем. Рядом с ними горели виртуальные надписи, снабженные указующими стрелочками.

\*\*\*Сервисные объекты "U2", утилизаторы. Предназначены для дезинтеграции посторонних включений. Если вы не являетесь посторонним включением, постарайтесь связаться со службой спасения.\*\*\*

Одна из этих штук мигом приклеилась к его ботинку и сразу послышался треск крепкого мейларового материала. Червяк в шлеме не имел ни клыков, ни пасти, он сдирал мейлар своим липким телом.

Это было серьезно. Ужас вцепился в подвздошную область Грамматикова. Сейчас сервисный объект будет сдирать с него кожу лоскутами, и срывать ломтями мясо. У этих червемашин выделения пострашнее, чем наноклей, который применяли военные, чтобы уконтрапупить вражеские танки.

Но внутренний капитан, который сейчас казался похожим на маму, взял под управление нервы Грамматикова.

Он наклонился, ухватил робочервя за выступ шлема, и рывком оторвал от себя. Вместе со слоем мейлара и половиной шнура.

Грамматиков машинально отшвырнул робочервя в сторону шустрой тени, которая мелькнула рядом на перпендикулярной балке.

В призрачном свете диодов он увидел человека в униформе "секьюрити". Лица у охранника не было видно, потому что к лицу присосался робочервь.

Еще мгновение и сотрудник "секьюрити" сорвался вниз.

В руке у Грамматикова осталось оружие. Он успел вырвать автомат из рук падающего охранника за мгновение до того, как тот смайнал с балки.

Несколько секунд Грамматиков размышлял, что будет делать с этим оружием. Таких автоматов в армии не было. Очень короткий и широкий ствол, никакого приклада. Наверное, это оружие ближе всего к беспатронным винтовкам "Урал", только калибр побольше и начальная скорости пули поменьше.

Совсем близко зашумели чьи-то ноги. Грамматиков рывком укрылся за трубой и выстрелил по двум теням, которые быстро передвигались двумя уровнями выше. Одна из фигур исчезла. Укороченная винтовка, почти не дающая отдачи, была во внутренностях небоскреба оптимальным оружием.

И не только для Грамматикова.

Очередь прошла трубу неподалеку от его головы. Труба задрыгалась как раненная гюрза, но дыры в ее нанопластиковых стенках почти сразу стали зарастать тонкими волокнами.

Волоконца извивались, подыскивая оптимальный путь своими сенсорами... Такая штопка могла травмировать любую психику.

В виртуальном окне, распахнувшемся перед самым носом Грамматикова, зажглось строгое официальное предупреждение.

**\*\*\*Внимание. Структура нанопластика запатентована, копирование без разрешения владельца - запрещено.\*\*\***

Грамматиков дал несколько очередей в сторону не слишком понятных шумов, потом, ухватившись за трубу, съехал еще на несколько уровней вниз.

Где эта чертова ариаднина нить?

На этом уровне балочные соединения чаще имели форму арок и архивольт, появились кое-где подобию перекрытий и стенок.

Внутри стенок что-то двигалось, судя по раздельным потокам цвета - магнитные несмешиваемые жидкости с управляемой текучестью. Нанопластиковая конструкция продолжала достраивать и обслуживать себя, выводя наружу грязь и шлаки.

Грамматиков поднес руку к стенке, и несколько потоков устремилось к ней навстречу. Он надавил на стенку и почувствовал легкие ответные пульсации. В виртуальном окне побежали алые как кровь строчки:

**\*\*\*Сверхчистые материалы, обладающие высокотемпературной сверхпроводимостью. Остерегайтесь нарушить изоляцию.\*\*\***

Оптоволоконные нити пронизывали стенки. Сплетения нитей распускались соцветиями разъемов и сенсоров.

**\*\*\*Для доступа в информационную систему нанопластика вы должны обладать кодами доступа, авторизованными в гильдии наноинженеров.\*\*\***

Грамматиков поднес руку, татуированную скин-коннектором, к разъему, и полумрак расцвел виртуальным фейерверком огненных запретных символов.

**\*\*\*Весь софт защищен законом об авторском праве. Для получения доступа к пользовательскому интерфейсу вы должны немедленно обратиться к держателю ав-**

торских прав.\*\*\*

А сверху уже свисают робочерви, хотят упасть прямо на макушку, по бокам движутся человекообразные тени. Вот-вот начнут стрелять.

Преследователи были рядом, но они были невидимы при таком освещении.

И вдруг, словно из сумрака, сгустился черный монолит. Одним поворотом своего гранитного тела он раскидал и затушил огни лицензионных претензий. На монолите škодливой рукой хакера была высечено:

\*\*\*Кряк-бюро. Коснись меня для генерации доступа в систему.\*\*\*

Нить Ариадны обвила монолит, и он превратился в обычное виртуальное окно.

В этом окне хаотическая геометрия небоскреба превратилась во фрактальный рисунок. Обозначились линии, по которым происходило разрастание нанопластика. Высветилась структура управления и обратных связей, что превращала здание в интеллектуальную машину. Транспортный терминал выделялся на этой схеме разомкнутыми в окружающее пространство информационными контурами.

Вместе с потоками сигналов Грамматиков побежал по бесконечно петляющему нанопластиковому каркасу Дома Медичи.

Ширина балок порой не больше пяти сантиметров, плюс каждые несколько метров узловидные сочленения, но нельзя останавливаться ни на секунду. Едва уйдет автоматизм движений, мозжечковая ловкость, и ты – труп. А пока бежишь, телом как будто командует сверхвнимательный и стопроцентно хладнокровный капитан, и мрачные внутренности здания кажутся лишь легкой паутиной на поверхности светоносной пустоты...

Пуля проггла балку над головой, на спину со злобным шипением брызнул расплавленный нанопластик. Одна капля попала на голую шею. Грамматиков тут же и сорвался.

Его спасла труба, которую он оседлал на манер коня, едва не раздавив при этом популярные органы, размещенные природой между ног. Спасла и одновременно погубила. Но Грамматиков это понял не сразу.

Сперва он порадовался за свое спасенное "хозяйство", может еще пригодится. Потом осмотрелся.

Труба уходила через пару десятков метров в емкость коллектора, который располагался ровно под терминалом. До цели рукой, в общем, подать.

Грамматиков сразу попробовал поползти до терминала. И тут он понял, что "приплыл".

По трубе мирно плыли себе то ли отходы, то ли конструкционные материалы, но ее наружные стенки были такие глянцево-маслянистые, что как ни кряхти, а никуда не уползешь.

Ближайшая балка – слева, на расстояние чемпионского прыжка. Грамматиков не был чемпионом, тем более в прыжках из положения сидя. Ему оставалось цепляться за трубу, ожидая, пока его сожрет изнутри голодная смерть...

Ариаднина нить юркнула в трубу. Ну, нет. Если сдохнуть, так уж лучше снаружи...

Грамматиков неожиданно стал вспоминать, как давно он не ел. Кажется, с ночи. Желудок тут же отозвался протестным бурчанием...

Грамматиков натянул на голову капюшон, придал наноактуаторам куртки максимальную жесткость, рассек металлоорганическую трубу штыком, выдвинувшимся с дульной части оружия, и вложил персты в "рваную рану". Рваная рана немедленно обернулась жадной глоткой и втянула Грамматикова. С головой и ногами.

Этот кишкопровод сдавил его и потащил вперед продольными пульсациями.

Грамматиков, конечно, вспомнил о страшной участи кроликов, проглоченных удавом, но куртка более-менее держалась.

Страшнее было то, что вместе с ними прокачивались побочные продукты нанопластического автопроизводства. Они совершенно недвусмысленно пытались под высоким давлением влиться ему в дыхательные пути.

\*\*\*Разрешен доступ только для лиц в пенетроскафандрах. Предъявите ваше квалификационное свидетельство, заверенное торгово-промышленной палатой.\*\*\*

Грамматиков судорожно пытался защитить руками носоглотку от настойчивых масс, которых только в порядке большой лести можно было назвать рвотными.

\*\*\*Если вы не являетесь объектом, специально сконструированном для работы в каналах, вы должны немедленно совершить процедуру безопасного саморазрушения.\*\*\*

Жижа, преодолев отчаянное сопротивление Грамматикова, втиснулась ему в нос вместе с букетом злых запахов.

Грамматикова вывернуло бы наизнанку, но он наполовину отключился. В этой полуотключке его покачивала Бездна на волнах невидимого света. Открылось виртуальное окно прямо в его теле. Мысли Грамматикова, пройдя через тайные программные интерфейсы и превратившись в распределенные потоки сигналов, остались его мыслями.

Они текли по углеродным и кремниевым нитям, из которых были сотканы стенки трубы, смыкали и размыкали ионные замочки, которыми соединялись нити, влетали в дендримерные молекулы, из которых вырастали новые нити, напрягали супрамолекулярные мышцы трубы.

Они различали желтые шарики атомов кремния, голубые шары мышьяка, фиолетовые крупинки дисперсного золота, пульсирующую электронную гущу квантовых ям.

Труба изогнулась, не понимая, что от нее хочет новый хозяин, напряглась, вздрогнула и лопнула. Один ее конец хлестал направо и налево пестрой жидкостью, как отвязный художник-абстракционист. Второй конец понес Грамматикова к решетке вентиляционного отверстия. Хозяин трубы, напоминающий сейчас змееловека, нажал на спусковой крючок автомата и, прежде чем его тело врезалось в решетку со всеми вытекающими кровавыми последствиями, разодрал ее бронебойными пулями.

Грамматиков вместе с ветерком из жидкометаллических капель влетел в открывшийся вентиляционный канал.

Шлепнулся, проехался на животе, замер и приподнял голову.

Поток жарких выхлопных газов заполнил его дыхательные пути, заставив их затрястись в кашле.

Значит, это и в самом деле транспортный терминал.

Грамматиков поднялся и двинулся вперед. Но ушел он недалеко.

## 2.

Грамматиков уперся в огромный вентилятор, который гнал горячий и вонючий воздух, вращая лопастями со скоростью тридцать оборотов в минуту.

Идея пришла быстро, хотя и очень рискованная идея.

Грамматиков снял куртку, затем на пару секунд прижался к стене тоннеля и закрыл глаза.

Где-то под сердцем снова раскрылось виртуальное окно, через которое заглянула Бездна. Она влилась в Грамматикова потоками холодного бесцветного света и поглотила возбуждение, страх, сомнения. В наступившем покое включился в дело маленький сосредоточенный капитан тела.

Теперь каждая лопасть вентилятора покорила взгляду Грамматикова и превра-

тилась в твердую волну.

Рука направила ороговевшую куртку в просвет между лопастью и рамой. Мотор тужился, куртка отчаянно вибрировала, Грамматиков перебросил автомат, затем прыгнул сам.

В прыжке он все-таки зацепил куртку и освободившаяся лопасть, едва не обрубив ему ногу, швырнула его вперед.

Подметки, наполненные жидкокристаллическим поглотителем энергии, частично "смазали" мощный пинок, однако и того, что осталось, хватило, чтобы Грамматикову пролететь три метра и влипнуть в стену...

Дурнота была похожа на водоворот. Грамматиков постоял в энергетически выгодной молитвенной позе, опираясь на колени и локти, затем выпрямился. Раз испарина не мажет спину, то, наверное, ничего не сломано.

Он подобрал спасительную куртку и стараясь не ступать на разболевшуюся пятку, сделал несколько неловких шагов.

Сейчас он находился за приличных размеров машиной, укрытой кожухом - наверное, этот мотор вращает лопасти вентилятора.

Времени совсем мало. О сбое в работе вентилятора наверное уже извещена кибернетическая оболочка здания, и скоро здесь появится механик: то ли робот, то ли человек.

Цокнули чьи-то каблуки, за кожух заглянуло лицо, украшенное фуражкой.

Грамматиков почувствовал мгновенный, но шоковый испуг. Он уже не сможет стронуться с места, ни один приказ его мозга не дойдет до мышц. Он и так сегодня натворил больше дел, чем за десять предыдущих жизней...

Но прежде чем охранник отреагировал, Грамматиков ударил его жесткой как ведро курткой, а потом еще добавил автоматом, по-простецки, словно дубиной... Охранник, кажется, успел шепнуть "пся крев", но все же улегся без сознания и дал затащить свое тело в укромный уголок, за кожух...

За ближайшим реактивным флайером в ряд стояло несколько роторников. У второй машины поднят кокпит, но она как будто готова к вылету.

Грамматиков пробрался за шасси первой машины, потом рванул к роторнику, взлетел по трапику и оказался в кабине.

- А, пан Пшизджецкий, - не оборачиваясь, сказал пилот. - Обычно вы приходите через пять минут после отлета.

Грамматиков приложил ствол автомата к затылку летчика.

- Это не игрушка, а я далеко не пан оккупант со столь благозвучной фамилией. Один почти бесшумный выстрел и твои мозги улетели за борт. Так что, взлетаем.

- Ты чё, парень? - пилот резко перешел на простой незатейливый язык. - Прокатиться решил на халяву? У меня нет разрешения на взлет, заправка не окончена, техосмотр не завершен, вон глянь, робомех по корпусу ползает.

- Не таракти, - Грамматиков пихнул летчика в бритый затылок. - На экране борт-компьютера висит надпись о готовности к взлету. Стартуй, или я не дам за сохранность твоих мозгов и ломанной копейки.

"Заяц" сел в кресло второго пилота, взял шлем, закрепленный в изголовье, надел - размер подошел - тут же на него опустились мягкие колодки держателей. Передний дисплей, напыленный на забрало шлема, показывал терминал из точки наблюдения где-то в углу помещения.

Ворота терминала уже закрывались, обрезая с двух сторон плотные из-за пыли лучи солнца! А между двумя рядами машин словно проходило какое-то искажение воздуха... Демоны!

- Эй, чего ты ждешь, летун?

- Диагностика не закончена....

Грамматиков рванул ручку, которая находилась неподалеку от правого бока пилота. И тут же взревел двигатель.

- Ты что творишь, чмур?! - взревел летчик.
- Я лечу.
- Таким как ты только с койки на горшок летать можно...

По инерционным нагрузкам Грамматиков понял, что роторник оторвался от пола и подшлемный дисплей показал, как машина отчаянно рванулась вперед в смыкающуюся щель выхода.

Пилот показал себя мастером, ведь между бортом роторника и наезжающей дверью терминала оставалось едва ли несколько дециметров.

Расставаясь с терминалом, машина мелко вздрогнула. На переднем дисплее была видна серия бодрых искорок, пробежавшихся по обшивке роторника - значит, задело очередь.

А потом этот дисплей погас, потеряв связь с системой наблюдения терминала. Но зато верхний дисплей, встроенный в налобник шлема, сейчас показывал местность в вертикальной проекции, изображение явно передавалось с орбитальной следящей системы. На нижнем подшлемном экране возникла интегральная радиолокационная картина в ортогональной проекции вместе с подстилающей поверхностью. Данные от нее явно поступали от радаров системы воздушного базирования.

- Ау, психопат, куда теперь? - остыв после "стартовой лихорадки", обратился летчик. - Если хочешь, прокачу тебя по высшей программе, будешь в тюрьме сидеть - вспоминать.

Не дожидаясь ответа, летчик выключил двигатель и роторник словно провалился в преисподнюю. Затем резко, как космическая ракета, набрал высоту. Еще несколько раз изменил курс чуть ли не на девяносто градусов. Дурнота плескалась по всему телу Грамматикова, перегрузка сжимала мозг, выдавливала глаза и язык, растягивала и срывала с места внутренности. Из-за того, что передний дисплей превратился в черное пятно, все это сильно напоминало предсмертные кошмары.

Несколько раз ему хотелось крикнуть: "Хватит". Нет, крикнуть бы не получилось. Получилось бы только завывать от непрекращающейся муки. Но внутри его обозначился холодный наблюдатель, капитан тела, мимо которого проходили провода боли... Броски машины неожиданно прекратились.

- Эй, заяц, ты там не заснул случайно? - осведомился летчик.

- Спасибо, что покатали, - ответил Грамматиков, поборов тошноту. - Мне нравятся воздушные горки. А теперь без шалостей, иначе я совершенно закономерно пристрелю тебя. Потом переключу автопилота в режим "С" и дальше полечу сам, легко и непринужденно.

- А ты забавный, зайчик мой. Жалко, что тебя расстреляют за угон воздушного судна.

- Подключи канал телеприсутствия.

Передний дисплей стал показывать окружающее пространство, как если бы борта роторника были абсолютно прозрачными. Грамматиков видел и небоскребы Сити, и хрустальную дамбу, и скайвеи, несущиеся через синий воздух вместе со светляками машин.

- Сейчас на северо-восток, - распорядился Грамматиков. Он подумал, что там, должно быть, сохранились леса.

- Там теперь тоже Финляндия. Билет тебе не нужен, поскольку ты заяц, но европейскую визу надо иметь. Очередь за визой отстоял?

- А это что, на экране локатора?

- А это уже флайеры финских пограничников. Я ж тебе говорил, что у нас нет разрешения на взлет. Они просят срочно вернуться на посадочную площадку.

- Какое оружие на борту?

- Только сопли. Но их у нас много.

- Не ври. У тебя на борту значок секьюрити. Ты же занимаешься патрулированием воздушного пространства Сити, чтобы какие-нибудь недобитые "запушкинцы"

не запустили сюда самодельную роботницу или микроцепелины.

- А ты часом не из них, не из этих долбанутых ополченцев? - ехидно спросил пилот.

- Потом узнаешь. А сейчас попробуй уйти от фиников. Или ты из тех скороспелых поствоенных летунов, которым иголкой вводят в мозг обучающий наноинтерфейс?

- Обижаешь, я в сибирскую войну воевал. Три звездочки на фюзеляже. Я единственный, кому удалось завалить американский стратосферный бомбер до рубежа пуска ракет, в Атлантике. Только на кой ляд мне нужны неприятности? Меня и так новые власти полгода таскали по тюрьмам, все хотели какое-то военное преступление приклеить.

- А получить пулю в башку, это ты не считаешь неприятностью?

- А ты ж не выстрелишь. Побоишься, что я тебе снится буду, а и изо рта у меня будут вылезать червяки, и махать тебе хвостиком.

Летчик посмотрел оловянным издевательским взглядом. А если и в самом деле станет сниться? Червяки, чего доброго, будут еще из ушей выглядывать.

Грамматиков коснулся руки пилота, показывая, что хватит уже бортовым самописцам записывать их голоса.

Его слова пошли через скин-коннектор на интраокулярный дисплей летчика.

"Мне терять нечего, летун, я тоже с той войны. Ты же всегда сможешь сказать, что я угрожал тебе оружием."

"Да кого это нынче волнует, угрожал - не угрожал. Истинный евроцентричный ингерманлонец не подпустит к себе недобитого националиста ближе, чем на расстояние выстрела... Ну-ка, а номер у тебя какой?"

"Какой еще номер?"

"Номер твоей части в войну".

Грамматиков с большим скрипом вспомнил несколько цифр.

"А ты знаешь, солдат, как меня достал этот пан Пшизджецкий? Я целых три месяца учил, как произносится его фамилия. Представляешь, что она означает в переводе..."

Машина упала вниз, понеслась в коридоре, образованном городскими "зарослями". Но не смогла уйти от боевых флайеров, получающих информацию со всех бесчисленных сенсоров, вмонтированных в стены небоскребов.

Флайеры взмыли, заходя на позицию, удобную для атаки.

Роторник рванул в сторону, на перпендикулярную улицу, которая напоминала каньон благодаря стенам небоскребов, подпирающих облака. Пущенная вдогонку финская ракета разнесла этаж углового здания.

Грамматиков видел, как из раненного небоскреба летят офисные потроха, полки, столы, бумаги.

Уже через несколько секунд один из флайеров, заложив крутой вираж, зашел роторнику в лоб, и под крылом у него что-то сверкнуло.

Роторник встряхнуло, кости Грамматикова как будто отделились друг от друга на какое-то время, в носшибануло острым запахом паленого пластика.

- Я так не играю, дайте мне нормальную боевую машину, и я оторву им ленивые финские яйца! - гаркнул летчик, чуть не пробив чувствительные барабанные перепонки Грамматикова.

- В третьем отсеке возгорание, пожар локализован, - это был мелодичный и немножко даже жеманный голос борт-компьютера. - Управляемость сохранена переключением на резервные схемы.

- Передай мне работу борт-стрелка, - попросил Грамматиков. - Ну, чего ты ждешь, переключи управление оружием на меня. Не пристрелю же я тебя из авиационного пулемета.

- Но это тебе не в пехоте воевать, заяц. Тут три измерения.

На подшлемном экране появилась разметка прицела и контуры целеуказателей.

Грамматикова подключили к бортовому оружию...

Роторник метался как испуганная муха, вместе с тем плескались как будто ставшие жидкими внутренности Грамматикова, а вместе с тем бились друг о друга и рикошетили мысли.

Но где-то внутри проявился холодный наблюдатель, капитан тела, который следил за курсовыми показателями и векторами скоростей роторника, за мелканием целей, за факелами вражеских залпов. А потом "капитан" совместил прицел и контур целеуказателя. Всего на одно мгновение. Один из флайеров обернулся алым облачком горящих обломков, пронесшихся по "каньону", а второй остался где-то за Домом Свободы.

- Поздравляю, заяц. Я им немножко отомстил за петрозаводский концлагерь, а у тебя нарисовалась первая звездочка на фюзеляже. Только в сорока камэ к северу от города начнет работать северо-европейская ПВО. После того, что произошло с финским флайером, они завалят нас автоматически... Да, ладно, не думай о плохом.

- А о чем думать? - беспомощно отозвался Грамматиков.

- О том, что сегодня восьмое марта и мэрия скоро порадует нас запуском праздничных плазмоедов.

### 3.

И в этот момент другой финский флайер, вывернувшийся из узилища между двумя исполинскими небоскребами, вlepил ракету в роторник. Кокпит отвалился, оба члена экипажа были выброшены спасательной системой из вспыхнувшей машины.

Когда Грамматиков пришел в себя от перегрузки, он вспомнил, что пилот был уже мертв, когда его катапультировало. А потом понял, что не планирует к земле, как это должно быть по идее, а висит, уцепившись стропами кресла-парашюта за "архитектурное излишество" небоскреба в виде барочного архивольта.

Только не смотри вниз, - уговаривал он себя. "Ну, посмотри на меня, разве я не хороша для тебя?" - уговаривала его разверстая под ним пропасть. Прокачав изрядное количество воздуха через свои легкие, пропотев и успокоившись, Грамматиков подтянулся на стропах к завитушкам архивольта, уцепился, и наконец оседлал одну из них.

Словно в ознаменование этого успеха Сити украсился багровым плюмажем. Над Домом Свободы и Домом Гелия, над Домом Мебиуса и Аркой Демократии вовсю засияло. Значит, министерство развлечений уже развернулось на полную катушку.

Но плюмаж не таял и не уносился вечерним бризом. Вообще сидя над пропастью, трудно еще чему-то удивляться, но Грамматиков почувствовал отвисание челюсти и даже ненадолго забыл о том, где он сидит.

Это вовсе не праздничные плазмоеды, запущенные начальством для увеселения народа.

На верхушках, на шпилях и крышах самых высоких городских башен распустились как будто цветы. Если точнее, бутоны гонофоров. Они были похожи на половые органы технорга, который год назад заполнял собой ванную Грамматикова. Только были многократно больше.

Значит, началось цветение светлой техножизни.

Последний год техножизнь гнездилась в нанопластиковых небоскребах, она там развивалась и размножалась. Постройки Сити были неистощимым источником питания и безопасным убежищем для техножизни. Они удачно скрывали ее, потому что нанопластик был самопроизводящимся строительным материалом и не нуждался в человеческих руках и глазах...

Лепестки гонофоров были размером с хоккейную площадку. По три лепестка на бутон. Два наклонены к далекой земле, напоминают челюсти насекомых, третий как бы прикрывающий, более гибкий, движущийся словно опахало. По лепесткам

прокатывалась быстрая рябь, отчего они казались кусочками морской поверхности.

Наверное, бутонов были сотни, однако облака "алмазного неба", сияющие яркими рекламными красками, не позволяли увидеть всё сразу...

Неподалеку – метров двадцать – лопнуло сверхпрочное металлическое стекло. И из пробоины появилось существо, похожее на громадную саранчу. Почти прозрачное. Однако чувствительный Грамматиков мог рассмотреть его очертания на фоне мрачневшего небосвода, так что показалось оно процарапанным на стекле.

Как будто человек, только очень тощий, словно специально обезжиренный. На голове отростки. Шея прикрыта панцирем. На месте живота просто провал, кожа чуть ли не прилипает к спинному хребту. Ноги длинные, со странными суставами. Похоже, прыгать он мастер. Сомнительно, чтобы у этого типа был нормальный кишечник. Питается чем-то легко усваиваемым вроде крови. Если вообще питается.

И еще на нем был галстук, обычный галстук аккуратного клерка. На галстуке – блеска корпоративного значка. Это один из сонма молодых совладельцев поствоенного мира. Типичный обитатель небоскрежного муравейника, грызущий остатки прежней разболтанной жизни и превращающий их в сверкающую ткань прекрасного нового мира.

У существа быстро развернулись крылья. Тоньше любой пленки. Брр, Грамматикову с детства почему-то не нравились летучие насекомые.

В виртуальном окне появилась информация, что эта тварь, еще недавно бывшая человеком, теперь переформатирована диффузными техническими системами.

Существо обернулось к Грамматикову. Смотрит, как будто. От этого взгляда зуд по коже. В голове Грамматикова услужливо всплыли сведения из какой-то книжки по пиару.

– А мы с вами не учились в одной математической школе?

Вопрос остался без ответа. Расправив крылья, существо прыгнуло в пропасть. Как будто прыгнуло в пропасть. Рывком сменив курс, оно налетело на Грамматикова.

Грамматиков не успел даже подумать об оружии. Он автоматически ударил эту небоскрежную нечисть ногой в твердый живот, ее руки рванули его за куртку, но все же соскользнули.

Существо, пролетев по какой-то ломаной траектории, снова бросилось на Грамматикова. Но на сей раз он выстрелил. Пуля выбила из "саранчи" красный фонтан, она с воплем кувыркнулась назад, склеила крылья и упала вниз...

Надо выбирать, потому что поднимается ветер и руки устали.

Завитушка, на которой сидел Грамматиков, была окончанием архивольта, который на другой стороне входил в балюстраду смотровой площадки. А выше балюстрады на шпиле небоскреба алел бутон, и он источал запах любви...

Грамматиков оглянулся по сторонам, потому что ему стало стыдно. Бутон гонофора тянул его к себе, как тянет и формой и запахом бутон женской груди, он затягивал Грамматикова сладкой глубиной, словно шмеля-опылителя...

Сперва надо вскарабкаться на площадку. Отсоединить кресло-парашют и подтягиваться вверх, охватывая выступ с обеих сторон всеми конечностями. Похоже на детские забавы...

Цепочку размышлений прервал пропущенный удар, который едва не сбросил Грамматикова с километровой высоты вниз.

Кровь из разбитого носа заполнила носоглотку. Грамматиков с трудом проглотил кровавые сопли, усилием воли стиснул сердце, желающее по-птичьи выскочить из груди, и посмотрел вверх.

На краю балюстрады сидела горгулья. Такое же "процарапанное на стекле" существо, однако женского пола. Она ему прилично поддала, но, похоже, на этом успокоилась. Горгулья смотрела на Дом Свободы таким взглядом, каким ожидают суженого... Еще немного и запоем, "там кто-то с горочки спустился"...

Она не зря ждала суженого. Окна Дома Свободы начали лопаться одно за другим и небоскреб стало окутывать какое-то пространственное искажение.

Чувствительный во всех диапазонах прицел автомата показал это искажение как серое облако, которое всё более расширялось, превращаясь в грозовую тучу. От настоящей грозовой тучи ее отличало мелкое трепетание, будто состояла она из мелких подвижных частичек.

Грамматиков не выдержал, дал по ней очередь из автомата.

И тут же почувствовал на своей шее настоящие клещи. Не вывернуться никак. Голова мгновенно набухла и налилась тяжестью словно чугунный котел. Горгулья приложилась!

У него была одна секунда, чтобы столкнуть ее с выступа. Но он опоздал. Острия шипов на её правом предплечье чиркнули его по щеке, и он почувствовал как расползлась кожа.

Через несколько секунд Грамматиков свалился вниз.

Наверное, он не успел испугаться. Прежде чем ужас удушил бы его, Грамматиков понял, что его несут собственные крылья, напоминающие не традиционные летательные органы из костей, мяса и перьев, а радужный нимб. В качестве разъяснения Грамматиков увидел в виртуальном окне волны подвластных молекул. Они смотрелись плодами репейника и были сцеплены друг с другом ван-дер-ваальсовыми силами.

В последний момент Грамматикова подхватила техножизнь, также как и год назад.

Все это время она была обитателем его тела! Она тихо осваивала его плоть и душу, последовательно насыщая сталью его мышцы и волю. Она вытащила его из ада, когда его шкуру и мясо изодрали американские шарики, она "подкрашивала" для него невидимых монстров.

Сейчас техножизнь говорила с Грамматиковым из всех частей и тканей его тела. Тайные нейроинтерфейсы отображали в виртуальном окне алмазные нити холодного света, которые, просочившись через границу Бездны, ввинчивались в клетки его тела, вплетались в цепочки нуклеотидов и клубочки протеинов.

Грамматиков видел всего себя диковинным существом, разложенным на несколько изогнутых поверхностей, по одной из них текла его кровь, по другой скакали нервные импульсы, на третьей разливались градиенты гормонов и медиаторов.

Виртуальное окно показывало и более насущные вещи в виде графиков и диаграмм. Его летучее тело быстро пережигало хилые жировые отложения. Грамматиков подумал, что проживет еще не более двадцати минут, но двадцать минут сейчас показались длиннее, чем вся предыдущая жизнь, потому что секунда стала Секундой.

Из-за шпиля вынырнул флайер финских пограничников, и два факела обозначили пущенные в Грамматикова ракеты.

Теперь вниз, камнем, и около небоскрежного эркера изо всех толкнуться крыльями.

Обе ракеты шлепнулись в нанопластиковую глубину небоскреба, и взорвались где-то в глубине каркаса, выдав на поверхность паровые гейзеры.

А туча быстро обволокла дом Свободы и забросила щупальца в каньоны Сити. Щупальца были проворны и словно кипели...

Несколько секунд липкий страх прокладывал дорогу по телу Грамматикова. Он смотрел на эту тучу, как смотрит пехотинец с винтовкой на неотвратимую смерть в виде штурмового самолета. Он как будто уже слышал ее утробный рокот.

Виртуальное окно окружило Грамматикова. И это было еще то кино.

Нити бесцветного глубокого света вырывались из его тела, из темени, груди, живота. Нити процарапывали окружающее пространство словно бесчисленная стая рассвирепевших кошек. А из царапин, образующих замысловатый фрактальный рисунок, выглядывала Бездна узкими буддийскими глазами.

Частички "процарапанной" тучи стали видимыми, как цели в коллиматорном прицеле.

Скорее это рой, а не туча!

Твари выныривали из роя, выделяли зигзагообразный танец, словно инерция была создана не для них, и снова проваливалась обратно в рой, будто в перво-зданный хаос.

Порождения Дома Свободы мало отличались от того типа, с которым Грамматилов "познакомился" десять минут назад. Люди, переформатированные темной техножизнью, в саранчу...

По Грамматилову потекла волна слабости. Он увидел то, что нормальному человеку видеть противопоказано - Тьму над Бездной. Он позавидовал солдатам, которые бросались с коктейлями Молотова на танки. Что там танки - неуклюжие еле ползущие коробочки.

Неожиданно Грамматилова подтолкнул свежий ветерок.

На улицах, ведущих к Сити со стороны Васильевского острова, особенно на Железноводской, Грамматилов увидел нечто похожее на кружение пыли перед грозой...

Эти существа летели с заплесневевших окраин города, из обшарпанных домов, которым суждено было развалиться, не вписавшись в новую блестящую жизнь, из загаженных санузлов, из ржавых ванн, из прогрызенных клопами постелей.

Несколько особей просвистело мимо Грамматилова. Домохозяйка, алкаш, рабочий. Люди-дырки, лишь загрязняющие элегантную техносферу пост-военного мира. Но сейчас их изначально нелепые фигуры для стояния у раздолбанного станка или замурзанной плиты были преобразованы в живые летательные аппараты.

Техножизнь переформатировала их грузные рыхлые тела в жесткие и легкие, а круглые лица сделала острыми, как у нетопырей.

Отсутствие одежды восполнялось прозрачностью кожных покровов, соединительной ткани и мышц. Впрочем, на некоторых из них остались детали одежды, особенно трикотажа - кальсоны или колготки.

Не смотря на недобрый вид, эти кошмарного вида горожане даже не пробовали атаковать Грамматилова. Один из них, с виду бывший работяга, на пару секунд завис возле Грамматилова. В глазах его еще светилось что-то знакомое типа "Закурить не найдется?", но из сузившейся глотки донеслось только шипение.

Похоже, у этих существ были более серьезные задачи.

Население городских окраин, превратившись в нетопырей, летело на последний и решительный бой против обитателей Сити, обернувшись саранчовой тучей.

Виртуальные нимбы сообщали, что запасы энергии в телах нетопырей далеко не соответствуют энергопотреблению во время полета.

Им летать еще не более двадцати минут. Но за это время, наверное, решится судьба города и мира.

Стая саранчи выстроилась многолучевой люциферовой звездой.

Нетопыри летели веером, явно намечая охват саранчи.

А вдруг, эта та эскадра, которая должна ждать его по завещанию великого нанотехнолога Бори Дворкина?

Нити властного света, исходящие из Грамматилова, обвили нетопырей, и он почувствовал их.

Из обычного облачка сознания, которое и было Грамматиловым, выделился активный центр - как белый карлик выделяется из горячей газовой туманности после взрыва сверхновой.

Это был капитан его тела и адмирал всей стаи нетопырей.

Капитан впитывал мысли стаи и превращал их в свои мысли.

Благо эти мысли были достаточно просты. "Мы их порвем!"

Но порвать вряд ли получится. Коллективный разум нетопырей обделен полководческими талантами. Глубины строя для охвата вражеского роя явно недоста-

точно, ведь фланги и так уж чрезмерно растянуты. Нетопыри будут входить в боевое соприкосновение порциями, и также порциями будут уничтожаться. А надо ударить по центру саранчи, рассечь вражеские порядки. Причем быстро, как это сделал Нельсон при Трафальгаре. И с максимальной концентрацией сил, как это делали Гудериан и Манштейн.

Адмирал Грамматиков попытался перестроить свои боевые порядки одним усилием воли, и это у него не получилось.

Какое-то мгновение ему понадобилось, чтобы разорвать вяжущие путы страха. А потом Грамматиков лично устремился прямо в центр гудящей стрекочущей жужащей вражеской стаи. И лишь тогда, с почти сексуальным удовлетворением, ощутил, что он теперь с нетопырями - одно тело.

Но ветер бил лично его наотмашь по лицу, пинал в спину или лупил в бок.

Надо было бороться с ветром-сумоистом и еще стрелять. Патроны кончились через несколько секунд и Грамматиков отбросил ненужный автомат, который мешал ему закладывать виражи. В этот момент на него налетела визжащая тварь и, хотя он увернулся от вражеских острых пяток, целивших ему в грудь, шипы расплосковали лоб и левый глаз. Сноп кровавых искр вырвался из изуродованного лица, но боль была срезана резкими потоками ветра.

Саранча, несколько раз кувыркнувшись, повторила атаку, Грамматиков свалился в штопор, завертевшись сразу вокруг несколько осей. Под действием инерционных нагрузок бурно плескались остатки полупереваренной пищи в кишечнике. Сквозь прострацию проступало острое чувство - он проиграл. Сейчас его размажет по стене какого-нибудь небоскреба или искромсает в крошку первый встречный монстр.

Но капитан его тела стабилизировал полет. Нити глубокого света превратили пространство в набор каналов и узлов, снабженных координатами. Мысли Грамматикова, пройдя через программные интерфейсы, теперь легко управляли трансляциями его тела из одной точки пространства в другую. И столь же легко распределяли стаю нетопырей, эшелонируя ее по высоте и глубине, перестраивая ее, как набор криволинейных поверхностей.

Теперь нетопыри были частью его тела, его нервной системы, его крыльями, руками и ногами...

Саранча и нетопыри всего за несколько минут боя стали профессионалами в воздушном кунфу, мгновенно перенимая друг у друга навыки и приемы. Они пикировали и ломали друг другу крылья. Они вертелись, как пули, вылетевшие из нарезного ствола, и закладывали крутые виражи, чтобы ударить в живот или в спину.

Последние запасы жира перегорали у Грамматикова где-то в районе поясницы, когда лопнула кожа на его ладонях, и они превратились в змеиные гнезда. Мономолекулярные голубые змейки поползли из гнезд, вращая хищными головками.

Потом они разом рванулись "на волю". Между рук и ног Грамматикова заизвивались пучки "змеек", невидимых обычному глазу, но быстрых и острых как дамасские клинки.

Сейчас набрать ускорение и взмыть вверх, а затем перейти в пике...

"Змеи" сами бросились из его рук в атаку. В разные стороны полетели руки, головы, потроха врагов...

И тут же ему пришлось заложить резкий вираж, уваливая от пучка гибких "клинков", попробовавших впиться ему в живот....

Теперь уже все нетопыри и вся саранча оснастились "клинками", которые сносили головы, отсекали конечности и разваливали тела, выбивая фонтаны крови.

Вскоре весь вечерний воздух был затянут багровым туманом.

Грамматикову показалось, что еще немного и густой набитой жесткой плотью центр вражеской стаи перемелет атакующих нетопырей.

Но тут загорелись звезды в его конечностях, руках, ногах, там, где только

что были змеиные гнезда. Одна из таких звезд на его пальце полностью превратилась в лазерное излучение, которое искромсало с полдюжины врагов. На месте первой фаланги ничего не осталось, вторая была прикрыта коркой из копоти.

Багрово-серая гуща битвы украсилась лучами и вспышками.

Эти вспышки уничтожали телесную органику, но тела были менее важны, чем результат боя.

Боль поглощалась яростью. Разум, закрепившийся в дальних закоулках мозга сообщал, что так драться могут только тупоголовые самцы за обладание единственной самкой...

Концентрированный удар по центру саранчи оказался удачным. "Звезда" была разорвана, и теперь ее сгустки погибали в захватах нетопырино "веера".

И хотя, весь жир в теле Грамматикова практически сторел, и истончавшая высохшая кожа натянулась на кости, приготовившись лопнуть в любую секунду, он стремительно набрал высоту, и его уцелевший глаз ухватил новые цели.

А потом и вся стая нетопырей, не обращая внимания на оставшуюся недобитую саранчу, ринулась к рыльцам громадных цветов, которые... все сильнее источали запах любви и звали в свою сладкую глубину, связанную с изначальной Бездной.

Грамматикову стало невыносимо стыдно, как в тот момент, когда он увидел трусики классной руководительницы. "Андрюша уже не маленький". И это был последний стыд, который он испытал.

Вся стая нетопырей, толкаясь как покупатели на распродаже в супермаркете, ринулась к первому, второму, третьему цветку. Кто-то успел спикировать в ближайшее рыльце, другие понеслись дальше...

Важен не только код активации пола, но и место активации, которое тоже включено в образный код.

Вся последовательность кодов сейчас выплывала из потёмков памяти Грамматикова, куда они были вдавлены взрывной волной от американской шариковой бомбы. Мазок за мазком дорисовывалась картина...

Перед Грамматиковым, на верхушке Дома Медичи была чашечка женского гонофора, подтягиваемая вверх пузырем пневматофора. Чем-то она напоминала детскую кроватку с воздушным шариком. Она благоухала тем ароматом, который источает материнская грудь для новорожденного.

Вспыхнул и стал движущей силой оставшийся жир в теле Грамматикова.

Утончившееся тело вылетело из куртки и ботинок.

Мертвой листвой слетела кожа. Голова Грамматикова запылала, правый глаза лопнул, выплеснув свет.

Но глаза ему уже и не требовались. Запах технорга захватил его как мощный насос. Грамматиков влетел в темный канал гонофора и через несколько мгновений его жизнь навсегда слилась со светлой техножизнью. Его природа перемешалась с искусством техножизни. Ансамбль органических молекул, который нес многомерную функцию его сознания, растворился в теплых внутренностях громадного цветка.

Но сознание Грамматикова не исчезло, теперь несущей для него стала вся техножизнь...

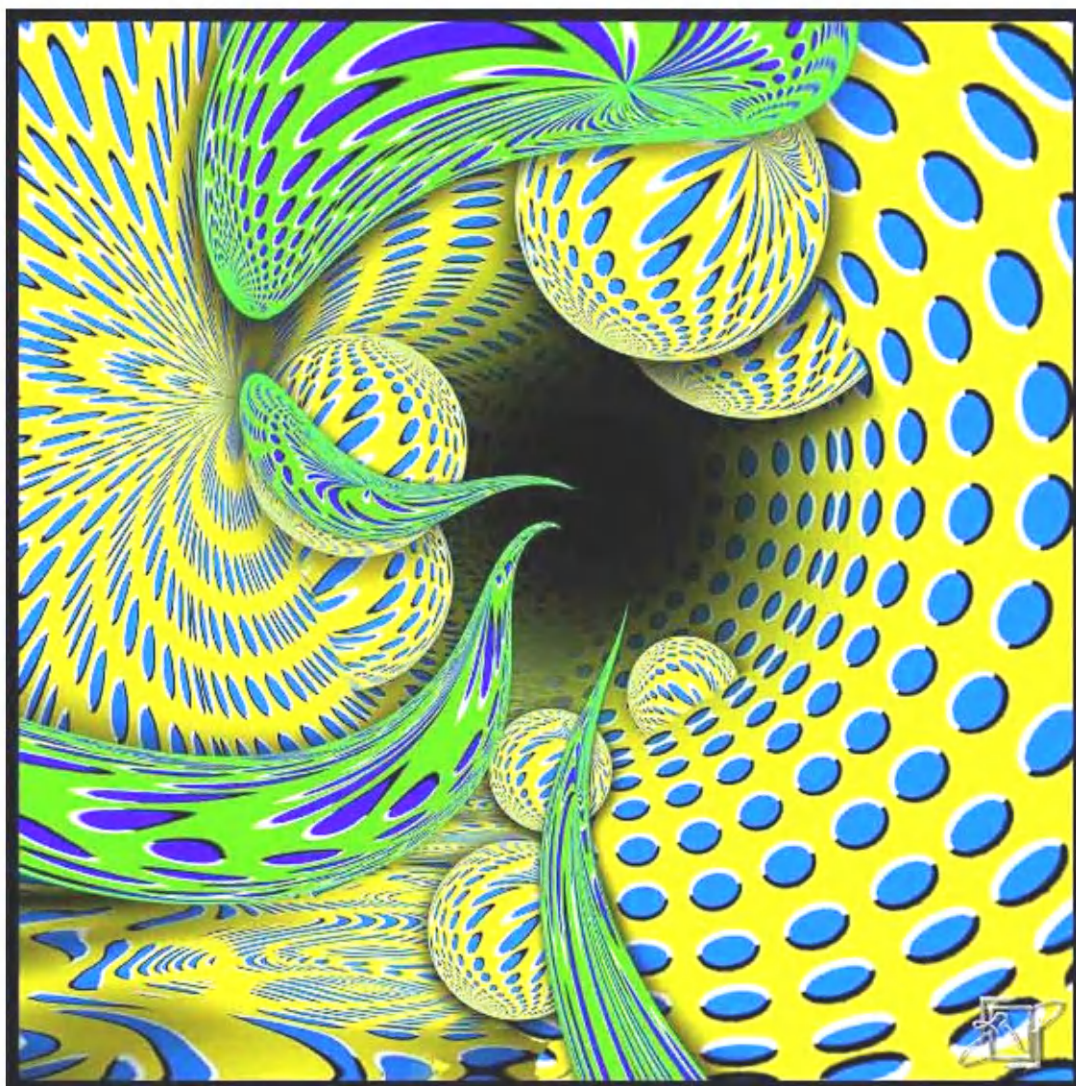
Уже через несколько часов репродуктивные органы техноргов породили новую расу живых существ, которая стала венцом вторичного творения. В отличие от переформатов их тела было отлично приспособлены для воздушного образа жизни. Симбиотические послушные молекулы обтекали их тела, окружая нимбами защитных полей, и перисто расходились словно крылья.

Более всего новые существа напоминали иконописных ангелов...

На следующее утро в выпусках новостей западных телестанций и ньюс-серверов еще появилось сообщение о том, что бывший летчик российских ВВС Петр Васильевич Синичкин сбил флайер финских миротворцев. И о том, что комиссия сената США требует от администрации ООН немедленно покончить с националистическим подпольем на территории экс-России и выделяет на эти нужды дополнительно сто

миллиардов долларов.

Но уже к вечеру линии связи перестали перекачивать новости, банковские компьютеры сделались ржавчиной, а доллары США канули в Лету. Россия очистилась от терзавшей ее мрази, а планета Земля стала живой и разумной от горячих своих недр до стратосферы. И Бездна, сама вечная и неизменная, посмотрела на преображенный мир и увидела, что это хорошо...



## ПРОСТЫЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ

### 1. Железо + раствор медного купороса.



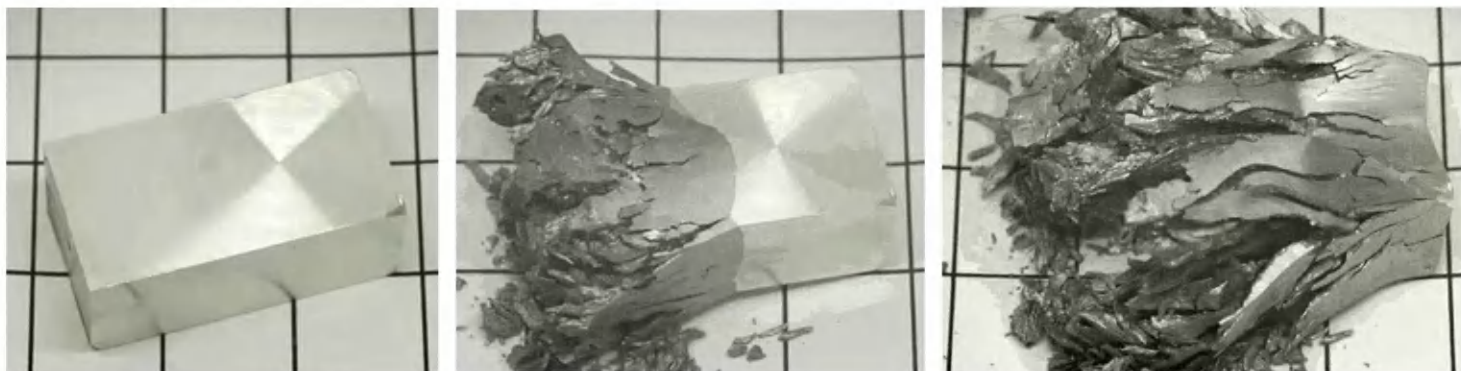
Железо заменяет медь в растворе, превращая медный купорос в железный купорос. Чистая медь собирается на железе.

## 2. Хлорная таблетка + медицинский спирт в закрытой бутылке.



Реакция приводит к увеличению давления и заканчивается разрывом контейнера.

## 3. Медленный переход бета-олова в альфа-модификацию.



При холодной температуре бета-аллотроп олова (серебристый, металлический) самопроизвольно переходит в альфа-аллотроп (серый, порошкообразный).

## 4. Полиакрилат натрия + вода.



Полиакрилат натрия – тот же материала, который используется в детских подгузниках, действует как губка, впитывая влагу. При смешивании с водой, соединение превращается в твердый гель, а вода уже не является жидкостью и не может выливаться.

## 5. Ацетон + пенопласт.

Пенопласт состоит из пенополистирола, который, будучи растворенным в ацетоне, выпускает воздух в пену, что создает вид, будто вы растворяете большое количество материала в малом количестве жидкости. Кстати, в результате получается клей.

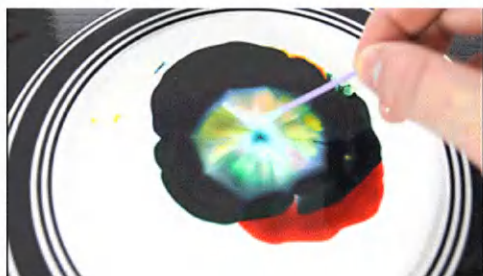


#### 6. Сухой лед + средство для мытья посуды.



Сухой лед, помещенный в воду, создает облако, а средство для мытья посуды в воде удерживает углекислый газ и водяной пар в форме пузыря.

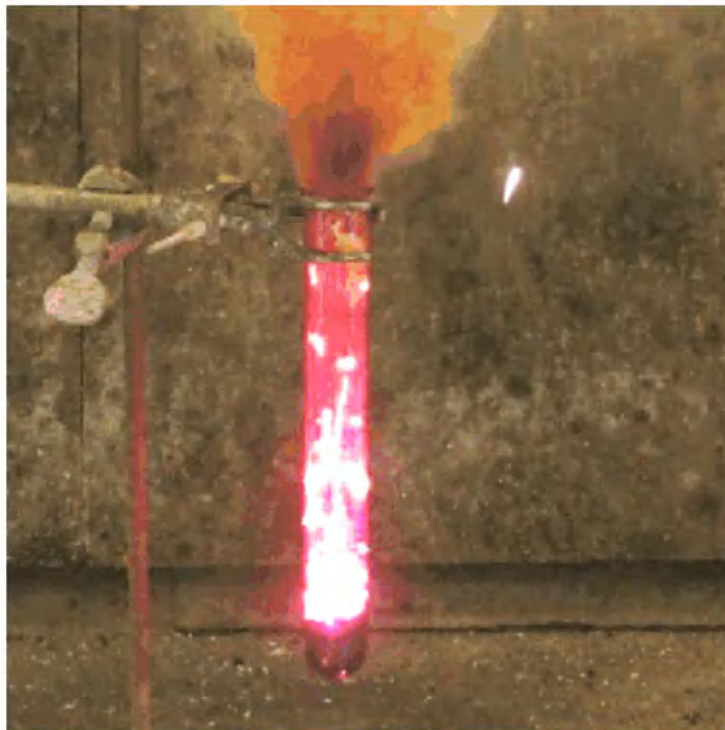
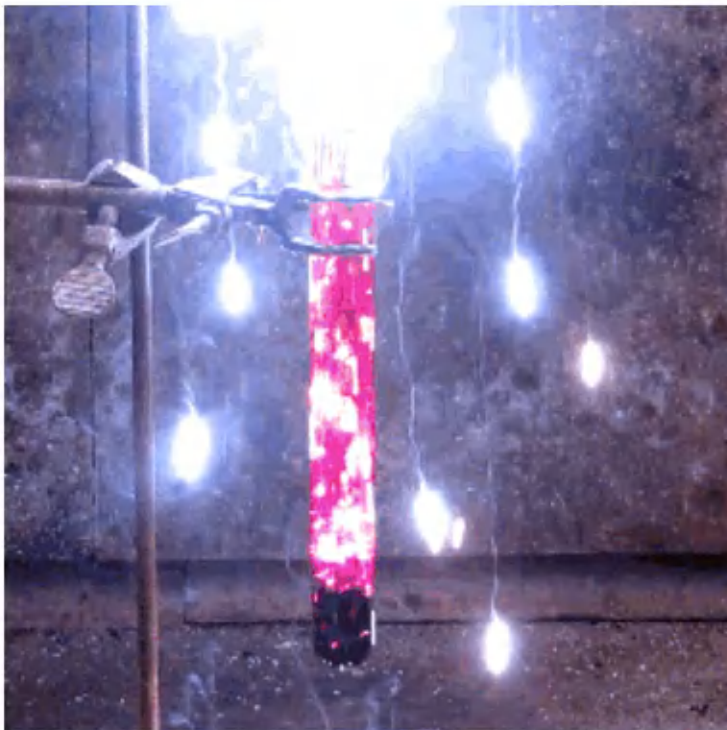
#### 7. Капля моющего средства, добавленная к молоку с пищевым красителем.



Молоко - это в основном вода, но оно также содержит витамины, соли, белки и крошечные капли жира, находящиеся во взвешенном состоянии в растворе.

Средство для мытья посуды ослабляет химические связи, которые удерживают белки и жиры в растворе. Молекулы жира сбиваются с толку по мере того, как молекулы мыла начинают метаться, чтобы соединиться с молекулами жира, пока раствор равномерно не перемешается.

## 8. Йод + алюминий



Окисление тонкодисперсного алюминия происходит в воде, формируя темно-фиолетовые пары.

## 9. "Слоновья зубная паста".

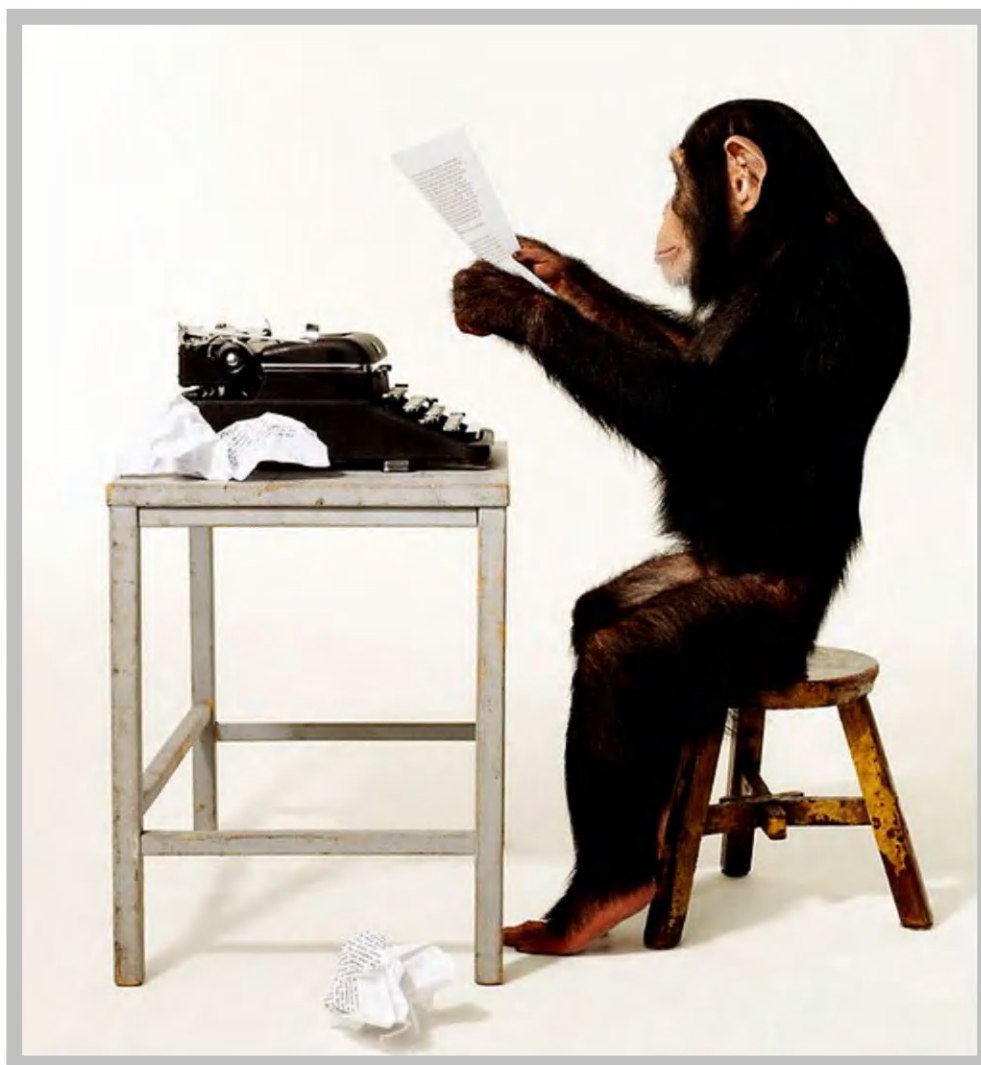


Дрожжи и теплую воду наливают в контейнер с мощным средством, перекисью водорода и пищевым красителем. Дрожжи служат катализатором выделения кислорода из перекиси водорода, создавая множество пузырей. В результате образуется экзотермическая реакция, с образованием пены и выделением тепла.

## 10. Выращивание пива.



Пиво перед продажей пастеризуют, но пастеризация является вероятностным процессом – примерно одна из ста пробок сохраняют свою всхожесть.



## Н О В О С Т И   Ф О Р У М А

<http://homelab.homelinuxserver.org/BV3/>

1. Мы начали выкладывать рекомендуемые учебники. Пока только для начинающих изучать химию. Все файлы обработаны с целью улучшения качества сканов. Смотрите «Список форумов -> Учебник химии -> Рекомендуемые учебники для начинающих».
2. Пишите, если что - мы с удовольствием читаем.
3. Скучно будет - шлите деньги.