

## ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

#### Краткий обзор первой части

Мы начнем с попытки понять специфику современных проблем управления. Как представляется, их уникальность связана с необходимостью учитывать темп перемен окружающего нас мира. Возможно, что отставание способности наших систем приспособляться к его изменениям превышает средний интервал проявления следствий новой техники и технологии, а если это так, то неприятностей не избежать. Однако теперь мы располагаем инструментом, который может справиться с этой проблемой, ибо действует быстро и гибко. Это — компьютер, но мы еще не понимаем, как им пользоваться. Эта книга посвящена именно тому, каким должен быть следующий шаг после появления компьютера.

Нам необходимо по-новому взглянуть на реальности мира, воспользовавшись достижениями кибернетики как науки. При написании книги я предпочитал везде, где только можно, пользоваться простым языком, но мне не удалось написать ее без введения некоторого числа новых терминов. Они потребовались при рассмотрении нескольких новых концепций или концепций, заимствованных из других наук. Если вторая глава будет внимательно прочитана и читатель не отбросит книгу, то он вооружится первым набором нужных ему инструментов. В конце книги помещен словарь кибернетических терминов, позволяющих читателю при необходимости обновить смысл этих новых терминов. Вполне может случиться, что эти странные термины вскоре станут Вашими старыми друзьями — они того заслуживают, иначе я не стал бы их вводить.

Далее (гл.3) начинается использование этих инструментов. Здесь обсуждается и анализируется действительно фундаментальная проблема управления — проблема сложности: как ее измерить, как с нею справиться. Мы рассматриваем наши проблемы касательно таких факторов, как люди, материалы, оборудование и денежные средства, а также их взаимодействие. Кроме того, нам следует уяснить природу причины, в силу которой система переходит из одного состояния в другое, а это относится к закону Эшби. Как выяснится организации для того и существуют, чтобы выполнять этот закон! (Многое об этом будет добавлено в гл. 15.)

К концу гл.3 станут ясными фундаментальные причины, по которым нельзя все организовать до последней йоты (и, говоря по-человечески, к этому и не нужно стремиться). Конечно, все мы знаем, что это невозможно и что фактически огромное число событий сами себя организуют. Но если мы точно знаем почему, то можем подойти к ответу на вопрос "как". Этому, т.е. природе самоорганизации очень больших систем, посвящена гл.4. Уяснив надлежащим образом ее принципы, мы получим полную возможность улучшить управление, не вводя его формально. Это именно то, что делают хорошие управляющие. Здесь будут введены еще несколько новых терминов (которые, как подтверждает опыт, станут полезны управляющим), включая описание небольшой простой машинки, которую я назвал алгедонод. Зачем она понадобилась, объяснено в тексте.

Но зачем еще одно новое слово? Ответ в том, что никто ранее не рассматривал этот механизм как самостоятельный, и он поэтому не имеет названия. Все мы о нем знаем,

но задача кибернетики заключается в превращении некоего нечеткого понятия в точное и ясное с тем, чтобы знать реально, как им пользоваться в дальнейшем. В гл.5 простой алгебрический блок используется как строительный блок для конструирования еще больших систем. Здесь нам предстоит усвоить, что система должна понимать смысл иерархии организации. Иерархия нужна по фундаментальным причинам, обусловленным логикой создания больших систем. Когда все это переводится на человеческий язык, то выглядит так, как будто речь идет о власти и престиже, а это приводит к тому, что люди теряют из виду реальную природу таких систем и их смысл.

К концу первой части нам придется совершенно по-новому взглянуть на природу управления и на то, как подойти к задачам организации и контролю. Пожалуйста, не отчаивайтесь, если практическое приложение всего этого еще не ясно. Как говорилось в предисловии, первая часть — начало разговора. Мы продолжим его во второй части.

## Глава 1

### **Давайте подумаем снова**

После долгого перерыва нечто серьезное начало, по-видимому, происходит в управлении. Молодые, более решительные и ориентированные на использование достижений науки руководители стали появляться на высших должностях и даже среди руководителей предприятий. Стали испытываться новые модели организаций, созданные с учетом достижений науки. Прошли дни, когда заявлялось "у нас это принято делать так", а 70 лет попыток поставить управление на научную основу начинают приносить свои плоды.

Я говорю об этих признаках с чувством потерпевшего крушение моряка, зашедшего парус на горизонте. Дело в том, что мы, как динозавры за много лет до нас, довольно поздно предприняли попытки приспособления к новым обстоятельствам. Перемены — технологические — происходят всегда. Однако с точки зрения управления мы к ним не приспособляемся и в известной мере вымираем.

Два предыдущих абзаца, впервые написанные почти девять лет тому назад, открывали первое издание этой книги. При ее пересмотре, как кажется, все, что требуется, так это заменить "70 лет" на "80 лет". Но это было бы нечестно. Боюсь, что иллюзии об изменении в управлении, о которых я упоминал, потерпели крушение. Лозунг "У нас это принято делать так" вновь стал повсеместно основным. Свидетельства 1978 г.: британский премьер-министр, называемый "социалистом", сохранил свой пост как представитель консервативной политики, а американский президент, назвав себя "демократом", сохранил свой пост, прикинувшись республиканцем. Рискованные идеи быстро увядают вследствие того очевидного факта, что сторонники этих идей не могут их довести до соответствующих выводов, и тогда старые идеи побеждают. И не потому, что они более обещающие, отнюдь нет. И то, что в мире все трагически смешалось лучшее тому доказательство. Я, следовательно, должен считать себя виноватым в том, что обращал внимание только на самые важные технологические перемены, а мне следовало бы упомянуть также и о политических, и о социальных изменениях. Однако я не вижу причин, по которым должен был бы продолжать поступать, как и ранее (хотя мне и придется вновь прерываться). Дело в том, что я исходил из более глубокого понимания существа предмета. А суть в следующем.

Трудно делать подобные заявления человеку, живущему в культурном обществе. Другие народы, оказавшиеся в худшем положении, или более безрассудные, менее

чувствительные, чем мы, к историческим процессам развития человечества, ушли далеко вперед. У них не было времени, чтобы разочароваться или стать самыми умудренными. Мы же со своей стороны, кажется, слишком долго заявляли, что фантастический темп технического прогресса всего лишь дело его степени; наша культура не допускает признания его сюрпризов и утверждает, что надо еще посмотреть; как он сложится. Она не позволяет нам увлекаться. Ну и что, если кто-то изобрел компьютер: "Это только средство ускорения счета", тогда как компьютер — вещь совсем другого класса.

Жалоба, которую я хочу положить на порог нашей культуры, такова. Мы считали, когда был изобретен арбалет, что теперь "пришел конец цивилизованной войне". То же самое говорилось, когда появились танки, отравляющий газ, магнитная мина. Оглядываясь теперь назад, мы понимаем, что эти изобретения соответствуют прогрессу и что каждый технический успех в средствах нападения быстро вызывал к жизни силы (как бы невероятным это сперва ни казалось) для создания эквивалентной техники защиты. То же самое было и в промышленности. Мы рассуждали о промышленной революции, но теперь, если оглянуться назад, уже никто не верит в то, что она была настоящей революцией. Она была частью эволюции. Так и наши современники по-прежнему не склонны признать исключительность тех технических чудес, которые они видят в последние десятилетия. Они относятся к ним прохладно, и не только я утверждаю экстраординарность происходящего и заявляю, что "мир в корне изменился". Первый человек на Луне был, конечно, "арбалетом" нашего времени. Однако философы науки также поддерживают этот приговор нашей культуры, поскольку утверждают, что вселенная развивается непрерывно и что не бывает "особых событий". Или, как говорили их предшественники в средние века: *natura non facit saltus* — природа скачков не совершает.

На фоне всех культурных, исторических и философских доказательств о том, что нет никакой проблемы адаптации, динозавры все же остаются. Их погубила не атомная бомба, ни другое какое-то особое событие, но *темпы перемен*. Так и мы не должны обманываться такими фактами, как существование космической ракеты или компьютера, но должны смотреть на темп перемен, который создают эти технические достижения. Именно темп, скорее чем сами перемены, это то, к чему мы должны приспособиться.

Рассмотрим теперь, если мы уже заговорили о ракетах, скорость, с которой мог перемещаться человек. На большей части тех 2000 лет нашего календаря самое лучшее, что человек мог сделать, так это взобраться на коня и помчаться галопом. Первая перемена здесь произошла совсем недавно в связи с изобретением парового двигателя. Вскоре его сменили двигатель внутреннего сгорания, турбина и сама ракета. Кривая, соответствующая последовательности событий, приведена на рис.1, на которой нанесена также "огибающая кривая", которая, касаясь их всех, демонстрирует общий темп этих изменений.

Странно, а возможно совсем не странно (поскольку наука едина, как и природа), что весьма похожие кривые получаются, когда пытаются измерить прогресс в других областях человеческой деятельности. Например, скорость передачи сообщения совсем еще недавно была жестко связана со скоростью передвижения человека. Вы отдавали письмо верховому или позднее посылали его авиапочтой. Открытием, которое увеличило почти до бесконечности скорость передачи сообщения, стало радио (почти вертикальная линия на рис.1). Несмотря на это возникли трудности при наземной радиопередаче сообщения, и уже совсем недавно было найдено, что лучше

направлять радиоволны на искусственный спутник, чем на слой Хевисайда. Так вновь появилась возможность увеличить скорость передачи информации, как еще совсем недавно казалось, так или иначе ограниченную скоростью наземной радиопередачи.

Такое же положение со счетом. В течение большей части рассматриваемых нами 2000 лет люди были ограничены в счете их способностью пересчитывать свои пальцы или камешки. Даже *ученые* были ограничены элементарными формами счета (арифметика с арабскими цифрами и много позже логарифмы), которые они сами изобрели. Важнейшим техническим прорывом было колесо Паскаля, которое позволило механически складывать и вычитать ряды цифр бесконечной длины. Это произошло в середине XVII в. Так было до 20-х годов

XIX века, когда Ч.Баббидж изобрел значительно более сложный, но все тот же механический компьютер, а типичный механический конторский арифмометр стал использоваться только в конце XIX в. В такую машину позднее была добавлена электрическая часть, но нам пришлось ждать 1946 г., когда был изобретен электронный компьютер. Современный компьютер работает по крайней мере в 1 млн. раз быстрее, чем первые ЭВМ конца 40-х г. К 2000 г. их быстродействие увеличится в 1 млрд. раз.



Рис.1 Скорость передвижения человека (из журнала Science)

Здесь уместна вторая вставка в новое издание книги. Вышеупомянутый прогноз требует корректировки. Скорость работы современных компьютеров увеличилась с десяти до ста миллионов раз по сравнению с той, что была у них в 40-е гг., а предсказание для 2000 г. может оказаться заниженным. Но скорость их работы ничто по сравнению с их дешевизной. Создание микропроцессоров представляет собой значительно более важную революцию, чем само изобретение компьютера, поскольку его может приобрести себе всякий, кто пользуется самым минимальным кредитом. Это событие вырвало компьютеры из рук большого бизнеса, что явилось фактом колоссальной важности. Теперь вновь вернемся к тому, о чем писалось в первом издании.

Каких бы достижений человечества мы не касались, по-видимому, получим кривую, подобную той, что приведена на рис. 1, - кривую, состоящую из частных кривых, каждая из которых представляет эпоху в своей области. Есть и другое достижение

человечества, которое, увы, следует тому же шаблону, — рост населения. Существует достаточно точная оценка народонаселения всего мира за два последних тысячелетия, но теперь темп его роста на подобном графике отображается почти вертикальной линией. Согласно имеющимся моделям, построенным исходя из тех же данных, эта зависимость и должна изображаться вертикальной линией. Если такой темп продолжится, то, как подсчитано, народонаселение мира к 2026 г. станет бесконечно большим. Это означает, что Мальтус был по крайней мере наполовину прав, полагая, что Земля не прокормит столь стремительно растущее население, что мы погибнем не только от голода, но и из-за отсутствия места. Из всего этого вытекает два урока.

Первое, если мы возьмем типичную продолжительность жизни человека и нанесем ее на рис.1, то увидим, что линия сил технического прогресса на большей части истории цивилизации шла горизонтально. Это означает, что человек встречался при рождении с таким же миром, каким он его покидал. Такие события, как изобретение арбалета, могли его удивлять в свое время, но верно будет считать, что они укладывались в его стандартные представления и вносили (если вновь оглянуться) сравнительно малые изменения в его жизнь. Однако если наложить отрезок продолжительности нашей жизни на зону последних десятилетий, то обнаружим, что линия технического развития пересечет его неизбежно. В течение нашей жизни наши возможности расширились, по всей видимости, в миллион раз или около того и вообще не могут рассматриваться в качестве нормальных для ранее существовавших людей. Не удивительно тогда возникновение проблемы приспособления к переменам. Я повторяю — это не *случайность*. Весь темп прогресса принял взрывной характер, и вряд ли существует такая область человеческой деятельности, которая оставалась бы статичной столь долго, чтобы можно было к ней приспособиться. Поэтому мы ощущаем трудность своего положения. Посмотрим на проблемы, возникающие у нас с детьми. Существует и культурный, и психологический разрыв между поколениями, который, по-видимому, всегда наблюдался в истории человечества. Современники спрашивают, не является ли разрыв в наших поколениях более значительным. Одно могу сказать: надеюсь, что это так. Все слои общества сталкиваются с той же проблемой приспособления, и если нашим детям при жизни одного поколения не удастся создать новый образ жизни, новое о ней представление, то человек как вид — обречен.

Мы оказались в западне наших культурных и социальных шаблонов, но тогда чем более непостижимы для нас наши дети, тем, вероятно, оно и лучше.

Когда мы обращаемся к управлению — будь то фирма или страна, или международные дела, то встречаемся все с той же проблемой — проблемой приспособления. Как мне представляется, она бросает вызов управлению. И если эта проблема сводится к темпу технических перемен, то, по-видимому, нет другой альтернативы, как обратиться к науке за ее решением. Именно научным должно быть современное управление. Вопрос не в том, как часто пытаются представить дело, чтобы использовать "лучшие методы" или "передовую технику". Такая точка зрения была хороша в самом начале экспоненциальной кривой прогресса. Сегодня требуется тотальная переоценка наших методов управления, которая, в свою очередь, охватывает также требования переоценить организации, которые нами управляют.

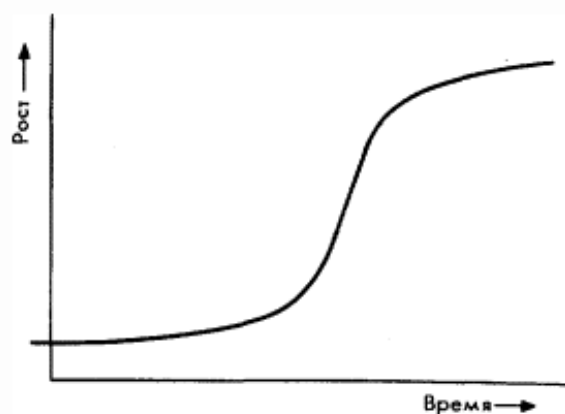


Рис.2. Логистическая кривая

Второе, о чем нужно подумать, несколько иного сорта. Оно возникает из утверждения, что народонаселение мира "выглядит" якобы так, что различие между народами становится чрезвычайно малым. Никто, как я полагаю, с этим не согласится. Почему? Так можно думать просто со страха. Но более спокойное рассмотрение вопроса подсказывает, что как природа не делает скачков, так и народы не склонны становиться неразличимыми. Бесконечно малое различие касается математически описываемых процессов, а не физических. Оно есть абстракция, реальности конечны. Следует отметить что в случае рассматриваемых нами кривых они представляют собой огибающие, состоящие из частных кривых, характеризующих технические эпохи, которые сами предельны. Пределы типичны для развивающихся процессов в природе. Такие кривые склонны принимать S-образную форму, т.е. стремиться к пределу, математики называют их "логистическими". Но если составляющие огибающую предельны, то кажется вероятным, что и рассматриваемая нами общая кривая будет также стремиться к пределу или по крайней мере станет частью общей пока еще не представляемой нами технологической эры.

На рис. 2 представлена типичная кривая роста, отражающая процессы в природе. Мы можем наблюдать ее в биологической сфере, например в нашем собственном росте, или в экономике, росте рынка и даже не только в животном мире, но и везде, где имеет место рост. Например, когда человек строит завод или большой станок, то он должен располагать деньгами для покрытия начальных расходов — на закладку фундамента или базы. Это капиталовложение на короткое время остается практически статичным, пока собираются материалы и рабочая сила для более серьезной работы. После этого темп работ увеличится, станут расти капиталовложения. Кривая роста далее возрастает неуклонно и очень быстро. Однако к концу работы расходы обычно начинают приближаться к своему пределу, как и усилия работников. Эта фаза, в течение которой нужно ждать последних поставок деталей, которые, как оказалось, забыли вовремя заказать, теперь никто не знает, когда придет последняя деталь.

Если проследить за прогрессом технологии в нашу эпоху, то обнаружится то же самое явление. Был медленный старт, поскольку технология еще не полностью определилась; тут были свои трудности. На средней фазе этой эпохи наблюдалось быстрое обучение — открытие следовало за открытием, создавая преуспевающие отрасли промышленности. Такой ход событий характерен для всех процессов обучения по мере того, как они приближаются к своему теоретическому пределу. Тогда обнаруживается, что для каждого эквивалентного периода времени, в прошлом особенно для каждого дополнительного капиталовложения, улучшение становится все

менее и менее значительным. Можно считать обычным как в работе человека, так и в развитии любого дела прекращение усилий и согласие удовлетвориться чем-то несколько меньшим, чем идеал. Таково утверждение закона о падении эффективности. Этот инструмент используется в экономике, и фактически любое нормальное производство следует этому закону.

Дальнейшее внушает тревогу. Достигнутый уровень эффективности работы, как бы его ни мерить, будет, вероятно, поддерживаться некоторое время. После этого, если этот рост не сведется на нет, эффективность может начать фактически *падать*. Как беззаботные люди могут забыть то, что знали, как и биологический организм, полностью выросший, может начать увядать, так и рынок может сокращаться, достигнув насыщения, так и фирма может потерпеть неудачу и прийти к банкротству. Даже преуспевающая техника или технология может перестать быть в дальнейшем экономически выгодной. Когда такой симптом появился, есть одно лекарство. Бесплезно воображать, что дополнительные усилия, дополнительный капитал могут восстановить умирающий организм. Должно приниматься решение — наложить новую кривую роста на старую. В технике это означает: начать новые исследования или найти других работников, получить другое оборудование для работы в проверенной, но новой области, которая достаточно чужда как для руководителей данной фирмы, так и для ее работников. Такой переход будет, вероятно, болезненным. Для самой фирмы правильным решением может стать приобретение другой фирмы или, возможно, слияние с другой фирмой исходя из того, что синтез дает больше, чем сумма его частей.

В любом случае здесь уместно указать на два серьезных обстоятельства. Во-первых, предстоит преодолеть массу практических трудностей, связанных с коренными изменениями производства, сохраняя в то же время действующее на полную мощность старое. Вторая трудность, как ни странно, более серьезна, поскольку она концептуального характера. Если люди, которых коснутся изменения, будут рассматривать их как "новое веяние" или "некое разнообразие", или как "укол в руку больному", то дело провалится. Работники должны поддерживать изменения и смотреть на них шире. Они должны видеть и понимать, что наложение новой кривой роста на старую делается для того, чтобы создать часть огибающей кривой, которая пойдет вверх и приведет, вероятно, к совсем другому результату. Они не совершенствуют старую технологию, а создают новую. Они не улучшают свое дело, которое знают и любят, они создают новое — с неизвестными характеристиками.

Рассматривая перспективу вложений капитала (будь то слияние с другой фирмой, приобретение другой фирмы или разработки новой технологии), фирма столкнется с трудной проблемой статистического анализа. Рассмотрим ответственного начальника (или директорат), стремящегося опереться на то, что эвфемистически известно как "факты". Мы хотим получить ряд цифр, показывающих, как идут дела, — будь то прибыль, фондоотдача, темпы производства или какой-то другой показатель.

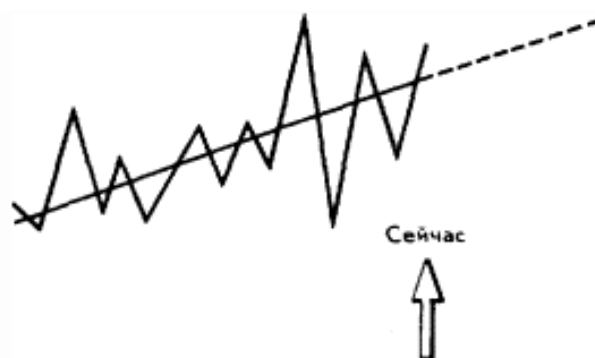


Рис.3

Можно построить небольшой график (рис. 3), показывающий тенденцию возрастания за последние несколько лет. Если мы честны, то нашим первым желанием будет попросить у кого-то соответствующую информацию за последние 20 лет. Если этот кто-то тоже честен, то он, вероятно, откажет и напомним, что всего четыре года прошло с дней последних преобразований или пожара, или нового закона о налогах, или войны на Дальнем Востоке. Под любым из этих или других предлогов он будет убеждать, что никак не следует принимать всерьез информацию за более ранний период, чем тот, за который он нам ее уже представил. Условия действительно могут стать несравнимыми. Тогда мы должны посмотреть на наш короткий ряд точек и провести между ними прямую. Можно сделать это на глазок или использовать математическую статистику, проведя регрессивный анализ. Во всяком случае, эта линия будет тем, в чем мы твердо уверены, более того, мы попытаемся ее экстраполировать. В этом и смысл сплошной линии и ее пунктирного продолжения.

Все хорошо, если мы видим, что значения интересующего нас параметра растут. Но, как мы знаем, кривая роста склонна к насыщению. Тогда спрашивается, где на кривой насыщения находится наш отрезок? Возможно, он подходит к началу кривой (отмечено буквой X), когда ей предстоит быстрый рост. В таком случае, как показано на рис. 4, экстраполяция с помощью прямой линии будет свидетельствовать о медленном росте потенциала фирмы — нас обойдет конкурент, делающий более крупные капиталовложения.

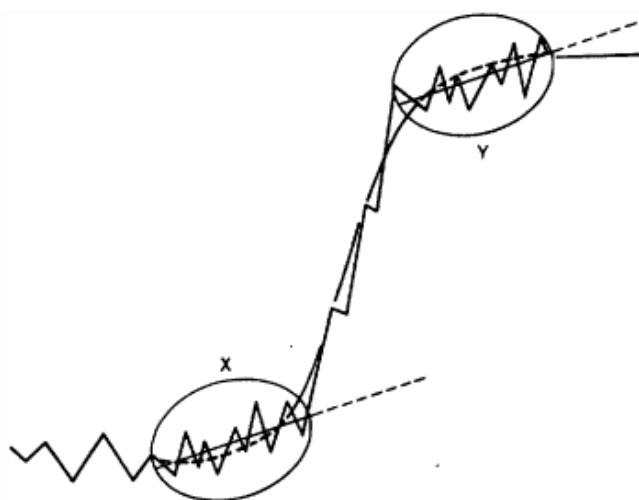


Рис.4

Однако, если кривая относится ко второй части капитальных вложений (отмечено буквой Y), мы породим ожидания, которые вызовут горькое разочарование, так как мы



произведем излишние капитальные вложения. В обоих случаях наша фирма погибнет. Поначалу кажется так просто найти место, где "сейчас" лежит наша прямая на кривой роста. Это было бы так, если бы мы наперед знали, что растёт. К сожалению, мы этого не знаем. Мы знаем только наше *представление* о нашем производстве, наше *представление* о его технологической основе. Каким станет наше дело и какую технологию будем мы тогда использовать, почти неизвестно. Как утверждалось ранее, самая главная трудность концептуального характера — глубоко понимать именно эти стороны коренных преобразований.

Природу этой проблемы можно вскрыть, если еще раз бросить взгляд назад. На рис.5 представлена огибающая кривая E нашего бизнеса. Технология A — та, с которой мы хорошо знакомы. Технология B представляет ту, которая (пока нам неизвестна, поскольку она еще разрабатывается) будет доминировать в нашей отрасли промышленности в следующую эпоху.

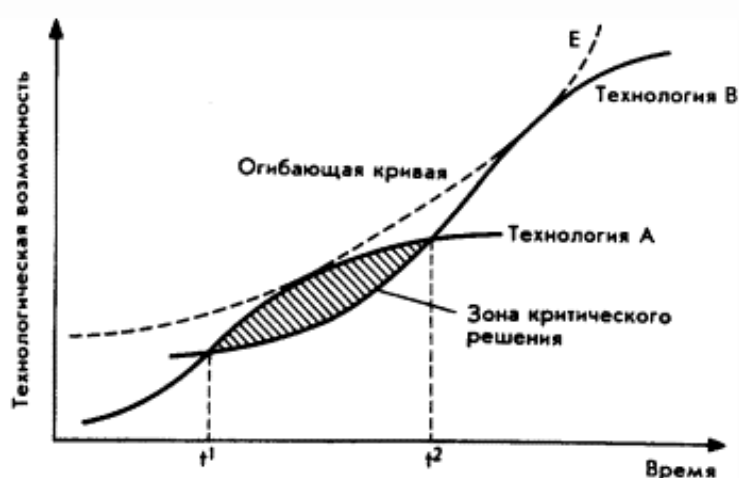


Рис.5 (С благодарностью Эриху Янчу и журналу Science )

Настоящая ситуация соответствует моменту  $t_1$ . Все было бы ясно, если бы мы предвидели момент  $t_2$ , когда новая технология распространится на нашу отрасль. Но когда наступит этот момент, к сожалению, сейчас далеко не ясно. Мы преуспеем в бизнесе или потерпим неудачу в зависимости от нашей мудрости — от стремления стать первыми в освоении технологии B и затем в нужный момент начать капиталовложения в ее освоение. Конечно, это не решение типа "все или ничего", принятое в какой-то особый момент.

В такой ситуации предпочтительна стратегия смешанных капиталовложений — в обе технологии в течение всего интервала времени между  $t_1$  и  $t_2$ . Следует продолжать вкладывать в технологию A, чтобы обеспечить непрерывное получение прибыли и получить максимальную отдачу от ранее вложенного в нее капитала. Но следует также начать вкладывать капитал в технологию B, чтобы обеспечить плавный переход к ее использованию, когда, технология A себя исчерпает.

Однако нужно помнить, что нам известна ситуация лишь в настоящее время —  $t_1$ , а весь остальной график достаточно гипотетичен. Здесь наряду с чисто технологическими возникают весьма трудные психологические проблемы относительно выбора нового курса. Кто-то из числа руководителей фирмы может предвидеть появления технологии B и ее влияние на дела фирмы. Другие, вполне естественно, склонны объявить такого человека сумасшедшим. Более того, любой, знающий фирму,

заявит, что технология В ничего общего не имеет с ее производством. Предположим все же, что битва выиграна и люди постепенно убедились в важности технологии В. Но еще предстоит принять решение о капиталовложениях и решить много других проблем. Некоторые совершенно справедливо укажут, что капиталовложения в технологию В могут истощить ресурсы фирмы. Неверно оценив момент времени, они могут не поддержать технологию А в период, когда она еще дает прибыль, но вместе с тем упустить возможность получения прибыли за счет технологии В, поскольку фонды исчерпались. Все это важные обстоятельства. Однако может случиться обратное: если директор фирмы слишком затянет решение, то фирма уступит свою долю рынка конкурентам, которые правильно оценили фактор времени.

Эта дискуссия выливается в проблему корпоративного планирования. В прошлом руководство фирмы мало что слышало на эту тему, но вопрос планирования стал внезапно модным. Возможно, это еще одно проходящее увлечение школ бизнеса и консультативных компаний. Я утверждаю, что это не так по причинам, указанным в начале этой главы. Фирмы всегда сталкивались с проблемами корпоративного планирования, но они их достаточно легко решали, поскольку линия технологического развития была почти горизонтальной (см. рис.1). Сегодня, как отмечалось, она стремится вверх все круче и круче. Следовательно, проблема приспособления фирмы, которая является проблемой планирования, оказалась не таким уж простым делом. Планирование стало делом высшей ответственности. Короче говоря, потребовалось 500 лет, прежде чем Сикорский сделал коммерческим продуктом вертолет, предложенный Леонардо да Винчи, но в течение 20 лет после появления первого компьютера в Пенсильванском университете он не только стал коммерческим товаром, но и обещает управлять всем миром. Фактически и наука находится в начале своего развития, поскольку едва ли не все ученые, когда-либо творившие, живы до сих пор. Такова кривая бурного роста самой науки, и с этим столкнулся современный мир. Как управлять фирмами, как их организовывать, как их обслуживать, как и что делать в правительстве, в промышленности, в бизнесе, теперь далеко не известно. Прошлые знания, как и прошлый опыт, стали почти бесполезны. Мы все оказались в положении экспериментаторов.

Именно на этом фоне управление столкнулось с компьютером. Этот инструмент предлагает управляющим его собственную "технологию В" — нечто глубоко разделившее мир управления. Однако управляющие направили свои усилия на те возможности компьютера, которые так или иначе препятствуют возникновению нового порядка в управлении. Вместо того, чтобы ввести компьютер в технику управления технологией А, они стремятся использовать его для улучшения или, скажем просто, для ускорения решения вопросов, которые они и без того знали, как решать. По моему мнению, можно проследить четыре фазы этого процесса.

Первая фаза — удивление. Публика назвала компьютер "электронным мозгом", хотя понимающие дело говорили, что это далеко не так. Чего в действительности управляющие должны были ждать? Ответ на этот вопрос зависел от темперамента, но многие управляющие опасались двух вещей. Компьютер мог оказаться для них совершенно непостижимым и, следовательно, представлял для управляющего угрозу его карьере; в другом случае стоимость компьютера могла привести фирму к финансовому краху. Но хороший руководитель "сделан более добротной". На втором этапе он правильно понял природу ЭВМ и предпринял серьезные усилия, чтобы разобраться в основных принципах ее работы. Он быстро обнаружил, что ЭВМ — умственно отсталый инструмент. Такое открытие не только избавило его от

неоправданных страхов, но и уничтожило чувство удивления компьютером, что очень жаль.

Хотя возможности даже современных компьютеров в сравнении с человеческим мозгом во многих отношениях весьма ограничены, они во многом значительно превосходят компьютер, скрытый под нашим черепом. Но на второй фазе люди как-то упустили эти обстоятельства из поля своего зрения и принялись обсуждать довольно тривиальные проблемы, касающиеся достоинств ЭВМ для контор и для научных исследований, исходя, например, из требований эффективности капитальных вложений в ЭВМ. Тогда вопросы управления быстро превратились в вопросы политики, поскольку люди использовали эти тривиальные аргументы для оправдания существования разных ЭВМ — для контор и для научно-исследовательских лабораторий, с учетом доходности их производства. Все, что разжигает аппетит к частностям, становится не только злом, но отвлекает от вопросов, которые действительно следовало бы обсуждать.

Для руководителя наше время — век электронной обработки данных — "electronic data processing" (или сокращенно ЭОД, англ. EDP). Независимо от того, с какой целью ведется обработка данных, все усилия теперь сосредоточились на том, как лучше добиться, чтобы данные поступали быстрее и дешевле — путем ли установки компьютера или путем сокращения ортодоксальных конторских процедур. После того как эта идея была признана управляющими (и, конечно, этот процесс продолжается), некоторые управляющие решили двигаться вперед и установить у себя компьютеры. Это привело их к третьей фазе, на которой сейчас находятся большинство предпринимателей. Довольно распространенным стало использование компьютера в роли новой лампы вместо старой<sup>1</sup>. Рутинная работа делается машинами, кое-где произошло некоторое сокращение чиновничьего аппарата. Производительнее и качественнее стала их работа, некоторые люди научились по-деловому использовать компьютеры, но некоторые так этому и не научились. Добивались сокращения расходов, но часто экономия оказывалась ничтожной. Многие, кто ввел компьютеры на второй фазе, разочаровывались в них на третьей, а многие, кто их не приобрел, чувствуют себя вполне прилично и без них.

Тем временем, однако, лидеры в этой области перешли к четвертой фазе развития компьютеризации. Она началась со следующей дилеммы. В мире вычислительной техники произошло достаточно много событий, подтверждающих, что компьютеры теперь с нами навеки. История показала, что, как только человечество узнало о возможности выполнения разных функций машиной, машины вытеснили людей. И здесь же началось разочарование, а вся экономика стала выглядеть неустойчиво. Ответ на эту дилемму стал ясен. У слишком многих управляющих вскружилась голова под давлением аргумента электронной обработки данных: "больше и быстрее". Это привело к недостатку размышлений над тем, чему должна служить представленная управляющим информация. Это, как было провозглашено на четвертой фазе, информация для управления. Итак, магическая аббревиатура была заменена менее магической аббревиатурой ИСУ (информационная система управления).

Такая замена, конечно, казалась шагом вперед — серьезным подходом к вопросу о цели электронной обработки данных. Но в жизни получалось так, что мы стали все больше и больше возвращаться к старой философии управления. Мы продолжаем заменять одну вещь другой, более эффективной, и теперь уже считаем, что все эти биты и кусочки информации должны быть *интегрированы* в отдельные информационные сети. Вся фирма должна теперь управляться на основе "мгновенного

факта", поскольку руководители могут почерпнуть любые необходимые им сведения из огромной базы данных, накопленной всеми фактами относительно хода работы фирмы. Позднее я докажу, почему такое представление о будущем управления никак не достижимо. Здесь уместен аргумент, основанный на том, что даже если бы такая цель была обоснованной, не это главное.

Фактов, касающихся состояния дел, великое множество. Их число растет с каждой прошедшей минутой. Большинство из них бесполезно в том смысле, что не требует управляющего решения, фиксируя их, сортируя по-разному, а затем распечатывая в виде огромных таблиц, ничего полезного не достигнешь. Наоборот, руководители потонут в море бесполезных фактов. Без сомнения, важные факты в этом море есть, но они теряются в нем бесследно. Руководителю нужна информация, а не факты, а факты становятся информацией, если что-то изменяется. Руководитель есть инструмент для изменений (иначе, что же он делает?), т. е. его работа состоит в том, чтобы управлять. Это означает, что он ни в коем случае не должен создавать систему обработки данных, а должен создавать систему управления. Но если использовать компьютер просто для того, чтобы создать увеличенный вариант старой системы управления, которая была неадекватной из-за отсутствия компьютеров, то положение не станет лучше прежнего. То же справедливо в отношении техники планирования как части вооружения руководителя, которая так остро нуждается в улучшении в смысле технологических перемен. И тут мы вновь концентрировали свои усилия на "полировке" существующих методов изготовления вещей, а не на том, чтобы разобраться, зачем мы их делаем. Какой смысл все время уби́стрять, шлифовать, доводить до предела прогнившее прошлое?

Задаваться вопросом о том, как использовать компьютер на фирме, коротко говоря, неверно. Лучше спросить, *как управлять фирмой в компьютерный век*. Но лучший вариант этого вопроса: что, собственно, представляет Ваше дело в компьютерный век? В основе хорошей практики работ современной фирмы лежит проблема управления, а под ней скрывается, в свою очередь, проблема определения цели управления.

Центральная в этом вопросе проблема управления является по-прежнему его краеугольным камнем. Если руководитель должен управлять порученным ему делом — любым, вплоть до управления страной, то требуется очень совершенная система управления, которую можно создать для него с помощью компьютера. Если мы хотим ответить на вопрос о природе и цели предприятия, то система управления им должна демонстрировать, на какой идее оно создано. Этого можно добиться в том случае, если не ограничивать управление только внутрифирменной экономикой, а охватить связи предприятия с внешним миром.

В наше время наука управления стала самостоятельной областью, известной как кибернетика. Если мы захотим разработать новую систему управления, она должна иметь кибернетическую составляющую и выходить за рамки использования компьютера в смысле замены старой лампы на новую. Я говорю теперь о структуре или, иначе, об организации скорее, чем о фактах и информационных потоках. Вероятно, то, что может предложить техника управления технологией В по сравнению с технологией А, и есть точное кибернетическое решение этой задачи.

Главная заслуга кибернетики, дающая ей право называться цельной наукой, — наличие фундаментальных принципов управления, приложимых ко всем большим системам. Открытые ею принципы изучались на живых системах (таких, как мозг), на электронных системах (таких, как компьютер), а также на социальных и экономических

системах. Эта книга целиком касается возможного вклада кибернетики как науки управления в управление, в профессию управляющего.

В начале, когда я задумал эту книгу, мне предлагали написать о том, как смотреть на предмет управления как таковой. Идея шла от аналогии с арифметикой. С самого начала арифметика имела дело с вычислениями на основе натуральных чисел: 1, 2, 3, 4, 5 и т. д., но в науке управления содержится и нечто другое, принадлежащее к высшей математике. Это нечто другое касается распространения законов, управляющих поведением натуральных чисел вообще. Ясно, что изучается предмет более высокого порядка, поскольку мы уверены, что и ребенок способен сложить две цифры, но нужен математик, чтобы понять природу процесса, когда, например, складываются пары случайных цифр, следующих в случайном порядке. Аналогия здесь такова: в большинстве учебных курсов для руководителей их обучают тому, что называется "изучением принципов управления". В обычных случаях такой курс в основном касается того, как манипулировать деловыми данными. Как подсчитать, например, финансовые скидки, что весьма похоже, хотя и на несколько более высоком уровне, на арифметическое сложение двух цифр. В этих условиях наш новый предмет, называемый "высшим управлением", можно определить как имеющий отношение к законам, которые управляют поведением подобных данных. Как в общем ведут себя показатели промышленной деятельности и, в частности, как они связаны друг с другом? Короче говоря, я хочу способствовать изучению управления на более высоком уровне, где природа вещей и их структурные отношения нас будут интересовать больше, чем текущие дела, которые всегда строго последовательны. Высшая задача управления — разработка курса дальнейшего развития фирмы.

В этом смысле самой неотложной проблемой, стоящей перед нами, является проблема взаимоотношения человека и машины. Мы уже говорили об использовании компьютера в роли быстродействующего арифмометра, рассматриваемого как более быстрый и, возможно, более точный способ "получения суммы". Нам предстоит посмотреть на компьютер как на нечто большее, оценить возможность его значительно более разумного использования. При всем его кажущемся "слабоумии", его способности хранить огромные объемы информации, его фантастической способности находить в них нужные сведения и его значительно превосходящей человеческую способность быстро разбираться среди тысяч количественно выраженных переменных, компьютер предлагает человеку инструмент, который превращает его в равного человеку партнера.

Быстро приближается конец средневекового деления между живой и неживой машиной. Мы видели огромные машины, проглатывающие людей, которые их создали, но теперь человек перестал быть маленьким винтиком в их создании. Мы видели машины, встроенные в человека, такие как электронный водитель ритма сердца. Мы видели машины, которые ограничивают человека, и машины, которые расширяют его возможности. Компьютер — это машина существенно более высокого уровня, нежели усилитель его мускульных сил это средство управления, которое необходимо сделать точным. Компьютер — нечто такое, что может быть использовано как дополнительные лобные отделения нашего мозга. Тут ожидается, а в некоторых случаях оно так и будет, некоторое слияние человека с машиной — их симбиоз.

Ранее мы упоминали, что современная наука не изучает отдельные события, а рассматривает их в качестве непрерывного процесса. Я лично полагаю, что частью задач кибернетики в этом смысле является признание отсутствия специфического механизма управления различающегося по способу его реализации. Мозг может

состоять из белка, а компьютер — из полупроводников. Поведение, обусловленное деятельностью мозга, возможно, более совершенно, чем можно достигнуть путем использования каждого из этих устройств в отдельности. Оно не является функцией того, из чего эти устройства сделаны. Поведение есть функция законов управления, с помощью которых управление может быть организовано так, чтобы и мозг, и компьютер заработали в согласии.

### Еще раз подумаем снова

Второе издание этой книги, естественно, своеобразно. Мне только дважды пришлось прерывать первое издание, чтобы ввести самые свежие факты. Необходимо констатировать: кибернетике уже 35 лет, и теперь появились доказательства, что кривую роста, приведенную на рис. 1, можно рассматривать не как экспоненту, а как гиперболу. Однако я не привык извиняться за недооценку, и пусть эти гиперболические кривые говорят сами за себя. Приводимые в главе аргументы, как они были первоначально сформулированы, остаются верными. Меня часто упрекали в том, что я выступаю как "предвестник всемирной катастрофы", но, как выяснилось, необоснованным оказался лишь мой оптимизм. Стоит обсудить, почему так случилось. Ключ к пониманию этого, как оказалось, лежит именно в тех двух вставках, которые пришлось вводить. В первой из них говорилось:

"Рискованные идеи быстро увядают вследствие того очевидного факта, что их сторонники, по-видимому, не могут их додумать до соответствующих выводов, и тогда старые идеи побеждают. И не потому, что они более обещающи, отнюдь нет, и то, что в мире все трагически смешалось, — лучшее тому доказательство".

Как я полагаю, так происходит обычно по двум главным причинам. С первого взгляда они представляются весьма различными.

Люди хватаются за рискованные идеи, поскольку они сулят им *освобождение*. Дела всегда идут не так, как надо, а тут новое предложение, которое ставит все на место. Рискованные идеи по сути своей разумны как мирные средства начать партизанскую войну против сидящей за крепостными стенами устаревшей административной системы подавления. Проблема сводится к следующему: нам не просто одна идея кажется привлекательнее другой. То же может происходить или с отдельным человеком в поисках Бога, или с семьей, или с любой другой небольшой группой людей, стремящихся к лучшему образу жизни. Но даже и в таких случаях идея реализуется в социальной среде, а это требует учета реакции всей системы. Иначе говоря, то, что предлагается отдельным человеком или небольшой группой, должно было бы укладываться (в достаточно узком смысле) в рамки "нормального поведения" системы. Отклонение от подобной "нормы" вызывает не только удивление или неприятие идеи другими членами системы даже при наибольшей к ней благосклонности — система не организована так, чтобы ее воспринять. Например, любая замужняя англичанка, стремящаяся вести себя как свободная личность, быстро обнаружит (несмотря на наличие принятого парламентом закона), что она ограничена старыми представлениями. Так, она должна предъявлять подпись мужа как его согласие на заявлении при поступлении на работу, хотя по закону она имеет на это полное право, и т. д. Все это происходит потому, что одного стремления к реформе авторов закона недостаточно — они не учли *системных последствий* их революционных идей.

Все это еще более очевидно проявляется в области управления экономическими делами, поскольку системные последствия здесь поистине неисчислимы. Наивность, с

которой выдвигаются рискованные идеи, часто звучит как смертный приговор из-за энтузиазма, с которым их поддерживают полупонимающие сторонники. Мне часто приходится удивляться тому, что всякий раз, когда нужен пример для иллюстрации того, о чем я пишу, я всегда нахожу его в сегодняшних новостях. Сегодня, именно в данный день, один из лидеров британских профсоюзов потребовал, чтобы все лаборатории, имеющие дело с патогенными бактериями, были перенесены в отдаленные районы и охранялись там с собаками за ограждениями с колючей проволокой. Идея эта новая, возникающая из-за совершенно понятного и уместного беспокойства, связанного с недостаточной безопасностью биологических лабораторий для окружающих, что послужило причиной смерти одного из членов профсоюза, возглавляемого этим лидером. Однако единственной причиной разведения смертоносных бактерий в данном случае является обучение студентов-медиков. Даже если бы мы перевели в "отдаленные районы" студентов, можно было бы наверняка держать пари, что только небольшое число специалистов, способных вести обучение студентов-медиков, двинулось бы за ними в подобные места. Так произойдет не потому, что они плохие люди, а потому, что система, охватывающая всю эту проблему, настоятельно требует их присутствия в больницах крупных городов, где они практически обучают студентов, осознавая некоторую рискованность такого положения.

И пусть никто из управленцев "со стороны" не улыбается скептически по поводу этого примера, касающегося профсоюзного деятеля: управленцы в *любой области* просто не в состоянии охватить всю систему, в которую предлагается ввести подобные недалекие, паллиативные идеи, и потому не в состоянии проработать до конца их системные последствия. Сказав все это, я вновь становлюсь всеобщим врагом. Но, может быть, человеческий мозг слишком мал, а человек слишком нерешителен, чтобы разобраться с последствиями в системе, с которой он имеет дело. Амбиции и алчность были главными создателями наших "систем". Цель книги в том, чтобы побудить наш ум искать ответы.

Первой причиной, по которой рискованные идеи часто проваливаются, а старые торжествуют, является покладистость. Она — всего лишь проявление слабости и несовершенства человека. Я не ссылаюсь на "теорию заговора", согласно которой злые силы способны справиться с любым нововведением. Однако же в этой теории есть одно язвительное объясняющее обстоятельство, хотя она тогда никоим образом не выступает как "теория заговора". Слово злой означает также *враждебность к нежизнеспособному*. Нам не надо быть параноидными шизофрениками, чтобы понять, что все мы в этом смысле больны.

Второе объяснение сводится не только к тому, что новая идея выходит за пределы нашей способности ее понять в рамках существующей системы, но и к тому, что существующая система считает ее угрозой своему установившемуся состоянию. Именно так и происходит, хотя и не обязательно, в силу решительного стремления системы сохранить свою власть. Это происходит потому, что существующая система просто не знает, что с нею будет, если новая идея привьется. В первом объяснении говорилось, что автор новой идеи не додумывает ее до конца — до оценки последствий ее влияния на систему. Второе объяснение утверждает, что этого сделать не может и существующий аппарат власти по вполне понятным причинам и, кроме того, у него нет к этому никаких побудительных мотивов. Вся ответственность ложится на автора нововведения. Это кажется вполне резонным. И это остается вполне резонным, пока мы не вспомним уравнение власти: аппарат власти управляет всеми ресурсами, включая необходимые для воплощения рискованной идеи...

Рассмотрим с позиций кибернетики престижную организацию, созданную для того, чтобы распределять деньги от имени правительства на научно-исследовательские работы. Согласно порядку ее деятельности этот механизм работает так, чтобы: а) предоставить деньги по результатам голосования его членов и б) получить уверенность, что такие расходы вполне обоснованы. Тогда, если деньги предоставляются для того, чтобы существующие знания были расширены академическим или пользующимся солидной репутацией институтом, который уже доминирует в данной области, система не может доказать, что деньги "потрачены с толком", в частности, потому, что люди, пришедшие к такому заключению, связаны своими прежними решениями с теми, кто *получает* такую государственную субсидию (или получал ее в прошлом году, или получит в следующем). Если, однако, рискованные идеи и проходят, а они могут провалиться ( по определению), то тогда все члены такой организации и те, кто их назначал, станут уязвимы для критики.

Этот анализ не является безответственным поношением сложившегося механизма, исполнителем которого выступает такая организация, да я и сам никогда из-за нее не страдал. Я никогда к нему не обращался, никогда не получал государственных субсидий, не соглашался стать членом организации, предоставляющей деньги на проведение научных исследований. Это я могу утверждать с достаточной степенью объективности. Если память меня не подводит, то я не знаю ни одного случая, когда бы я выступал в поддержку рискованной идеи, которая получила финансовую правительственную поддержку, как не помню случая, когда бы я выступал против из-за риска зря потратить на нее деньги.

Стоит заметить, что у всякого, сознающего рискованность своей идеи и понимающего то, о чем говорилось выше, не остается другого выбора, кроме обращения в организацию, выдающую государственные субсидии на проведение исследований. Если субсидия гарантирует провал, а отказ гарантирует успех, единственной эффективной стратегией остается рекомендация поступать в противовес складывающимся мнениям, хотя такая стратегия тоже незащитима. Но если попробовать ею руководствоваться, то будет оказана сильная поддержка существующему механизму выдачи государственных субсидий, при котором он будет значительно больше застрахован от нерискованных, т. е. неинтересных, предложений. Существующая дилемма может быть решена по-другому, но не при помощи возмущенного индивида, а обычным кибернетическим путем — *структурно*. До тех пор, пока некоторая часть средств не будет израсходована напрасно, нет способа доказать, каким должна быть ее процентная доля. Здесь мы встречаемся с *физиологическим пределом гомеостаза*, который регулирует расходы на исследовательские работы... К сожалению, эта терминология опережает объяснения, предлагаемые настоящей книгой, а надежда создать настоящее регулирование общественных средств на научные исследования обгоняет даже попытку ее реализации.

Однако вернемся к утверждению, что "старые идеи преобладают". В данном примере предсказуемо, что приведенный выше анализ будет характеризоваться как "упрощенчество". Таков уж всегдашний первый тактический прием доказательства, тут ничего не поделаешь. Относительно других доказательств предсказуемо предполагать заявление о "типичном преувеличении" — все это типичные человеческие уловки. Серьезные критики сошлутся на факты Британского совета по социальным наукам, если такие факты еще есть.



Как говорилось ранее, два объяснения причин провала рискованных идей показали, в чем их фундаментальное различие: первая в нашей покладистости, вторая в нашей зловредности. Но, как уже упоминалось, это различие видно лишь с первого взгляда. У этих двух объяснений общий корень — неумение разобраться в проблеме как симптоме организационного порока и при этом либо считать, что пороки проникли в систему и могут быть устранены, либо принимать их за технические таинственные враждебные силы, которые могут наносить тяжелые удары. Общее решение такой задачи — научный и управленческий подход к системным последствиям. В несложном случае не стоит обращать внимания на то, как система отреагирует на предлагаемое нововведение, рассматривая его просто как возмущение на входе. В тяжелом случае это означает оценку того, как система вероятнее всего отреагирует на угрозу — угрозу исказить ее собственное единство. В большинстве случаев рискованная идея даст и хорошие, и плохие последствия. Неумение инициатора новой идеи видеть и то, и другое может обратить его в бесплодного стратега. В конце концов он может стать психически больным человеком.

Однако как бы ни проявляли себя эти тонкости, "старая идея возобладала" и поэтому "давайте подумаем еще и еще раз".

Вторая вставка в первую редакцию этой главы книги касалась микропроцессоров. Это совсем свежее нововведение — действительно рискованная идея, но и концептуальный факт. Нужно указать на ее особенности. Здесь, как мне кажется, нет философских расхождений между ценностью новой идеи и изделием, которое работает, а если и есть, то, конечно, эта ценная идея стала совершенной конкретностью для тех, кто сумел ее понять, хотя никакое число таких изделий не обладает потенциалом без соответствующего программного их обеспечения. Различие можно усмотреть, принимая за исходную другую позицию — *количество денег*. Если идея изложена в книге, то по закону ее нельзя запатентовать, нельзя получить вознаграждение за фотокопию страниц, на которых она изложена. Но вполне законно получить крупное денежное вознаграждение за образец изделия, поскольку он может патентоваться, что и сделали производители вычислительной техники. Все это прекрасно при нашем социальном строе. Но далеко не прекрасно то, что сила денег, которая четверть века управляла производством компьютеров, тотально блокировала эту рискованную идею из плохих и добрых побуждений одновременно. Однако есть твердые основания полагать, что применительно к компьютеризации сила денежного мешка преодолена даже в обществе, подобном нашему.

По поводу второго добавления заметим, что главное в микропроцессорах — это их *дешевизна*. "Она вырвала компьютер из рук большого бизнеса, и это был шаг вперед". Так оно и произошло. В прошлом блестящие молодые люди, желающие поработать на компьютере, должны были стоять в очереди — в очереди, созданной со злым умыслом теми, кто делал на этом деньги. Общий результат этого ясно виден, но больше об этом будет сказано в последующих главах. Вызов, брошенный компьютером управлению, брошен вновь спустя двадцать пять лет...

В данной главе перечислялись четыре фазы реакции управленцев на появление электронного компьютера на управленческой сцене:

"Первая фаза — удивление".

"На втором этапе... он обнаружил, что ЭВМ — умственно отсталый инструмент".

"... на третьей фазе остановилось большинство предпринимателей. Довольно распространенным стало использование компьютера в роли новой лампы вместо старой".

"... фаза четвертая — информация для управления. И тут магическая аббревиатура ЭОД стала заменяться не менее магической ИСУ — информационные системы управления".

После объяснения, почему такой подход к делу не сработает (а он и не сработал), аналитик задался вопросом, *каким ныне после того, как компьютер стал ему доступен, стало предприятие.*

Микропроцессор, как следует из этого второго дополнения, "приведет к значительно более глубокой революции, чем изобретение самого компьютера". Когда это писалось, реакцией управляющих на это достижение было *удивление*. Тут мы вновь четверть века спустя вернулись к первой фазе. Другие фазы не могут повториться в прежнем виде, поскольку сила денег скажется теперь совсем иначе. В этой второй электронной революции всплывут на поверхность управляющие, которые поддержат блестящую молодежь, поскольку ее обучение сопряжено с мизерными затратами. Ассигнования на эти цели не станут предметом совета директоров корпорации, не будут постоянно неверно истолковываться и не будут урезаться в угоду алчным хозяевам. Более того, некоторые владельцы фирм окажутся выходцами из числа блестящих молодых людей, да и сами блестящие молодые люди станут управляющими и станут содействовать тому, чтобы не блестящая молодежь овладела новой техникой, хотя они будут по-разному озабочены будущим всего мира — некоторые с добрыми, а некоторые и с дурными намерениями.

Больше я не стану нарушать последовательность изложения этой книги добавлениями или специальными вставками, как это было сделано в данной главе, а просто исправлю текст с учетом опыта последних лет.

Но призыв остается: давайте задумаемся еще и еще раз!

## Глава 2

### Общие понятия и терминология

Чтобы понять сущность кибернетики больших систем управления, нам неизбежно придется порвать с общим стилем мышления, использованным в гл.1. Если существуют принципы управления, то следует начать с их точного определения. Это будет сделано исходя из того, что общие понятия и терминология, известные в классической науке управления, мало чем нам помогут. Следовательно, в этой главе начнется обсуждение систем и управления ими на новом языке, без особых ссылок на деятельность фирм. Идея сводится к тому, чтобы сесть и подумать всерьез. Что такое, собственно говоря, управление?

Первый принцип управления сводится к тому, что управляющий является частью управляемой им системы. Управляющий не является человеком, посаженным над системой высшей властью, который в дальнейшем реализует свои полномочия. В любой системе, говорим ли мы о популяции животных или внутренних функциях живого организма, функции управления распределены по всей ее архитектуре. Управление совершенно невозможно отделить от организма, но его существование вытекает из поведения самой системы. Более того, управление совершенствуется с ростом

системы, и если оглянуться на историю, то станет видно, что и управляющий развивался вместе с системой.

По этой причине лучше спрашивать о том, как система узнает о себе и своем состоянии, чем спрашивать, как то же самое узнает управляющий. Я полагаю, что нам не следует рисковать, отождествляя систему с *личностью* или с чем-то другим, лучше принять за систему те границы, в которых ее различает обозреватель. Будем далее определять состояние системы по ее поведению, т.е. выделять в поведении то, что можно считать типичным для любой действующей системы. Примем систему как данное. Определим набор частей как систему, поскольку все ее части выступают как действующие в единстве. Примем обычную деятельность системы за примерное отображение ее естественной динамики. Иначе говоря, рассмотрим тот случай, когда части системы действуют типичным образом. Далее посмотрим, что произойдет, если мы вмешаемся — воткнем палку в систему, прикрикнем на нее или изменим температуру ее окружающей среды. Если система как-то ответит на эти стимулы, то можно сказать, что это действующая система. Заметьте, нам не нужно говорить, что система реагирует на стимулы, поскольку это требует целенаправленных действий по отношению к окружающему миру. Все, что мы узнали из этого эксперимента, сводится к тому, что система чувствует вмешательство в нее. Это различие очень важно.

Подобное объяснение вызывает новый вопрос: что считать ответом на стимулы? Если мы вмешаемся в работу автомобильного двигателя, выключив зажигание, то будет ли верным заявить, что система реагировала остановом? Нет, поскольку мы разрушили динамическую систему, изучаемую нами, а не внесли в нее стимулы. Если мы выстрелом ранили животное, оно умрет по той же причине. В равной мере если мы бросили спичку на блок цилиндров автомобильного мотора или на спину слону, то ничего не произойдет. На этот раз потому, что наше вмешательство нельзя признать стимулом.

Нетрудно уловить смысл сказанного. Ясно, что за стимул следует принимать такое вмешательство, которое так или иначе отразится на действиях системы, будучи не слишком незначительным, чтобы не отразиться на ее деятельности, и не слишком сильным, чтобы ее разрушить. За реакцию системы примем некоторое ее изменение, имеющее смысл только результата воздействия использованного стимула. Если система изменится произвольно при введении в нее того, что мы приняли за стимул, то, вероятно, какие-то изменения последуют. Кот, не покинувший комнату после того как он увидел плакат "Поди прочь", не отреагировал на содержание надписи, и, следовательно, по нашему определению, для него такой плакат не является стимулом. Но мы вполне можем натренировать кота покидать комнату всякий раз, когда он увидит этот плакат. Если он станет всякий раз убегать из комнаты, то нам придется оставить идею о случайном совпадении и говорить о его реакции на стимул, т.е. о коте как о действующей системе.

Из этого рассуждения вытекает несколько важных принципов управления. Стимулом является то, что изменяет работу системы. Реакция системы есть ее действие, которое должно интерпретироваться в качестве следствия стимулов. В общем, это означает, что система избегает стимулов или как-то по-другому противодействует стимулам, нарушающим ее деятельность, и воспринимает или стремится усилить стимулы, способствующие ее деятельности. Заметим, что мы считаем очевидным, что наблюдаемые нами действия системы не являются случайными. Такое суждение зависит от того, насколько сильно влияет вмешательство на качественные показатели системы (что может ввести в заблуждение) или на высоконадежные показатели их

повторяемости (это является научным критерием). Система, подтверждающая такое ее поведение, является действенной, по крайней мере до известной степени. Если она подтверждает такое свое поведение при всех обстоятельствах, мы будем называть ее действующей без всякого сомнения или оговорок. Это не будет безнадежно антинаучным суждением, поскольку вселенная подчиняется вероятностным, а не абсолютным законам. В физике, генетике, общественных науках мы полагаемся на описания и даже на законы, которые основаны на равной вероятности случайностей. Только в специальных или искусственно созданных областях, таких как теоретическая механика, эффект следует за причиной детерминированно и считается совершенно неизбежным. Но даже здесь бывают исключения.

В общем, мы утверждаем, что реакция действующих систем на стимулы бывает либо негативной, либо позитивной. В первом случае система склонна избегать враждебных ей стимулов, во втором — усиливать благоприятные. Из этого следует, что действующая система в известном смысле обладает возможностью судить о том, что к чему. Необходимо с осторожностью подходить к пониманию этого вывода. Действенность по-прежнему не эквивалентна самосознанию; система не обязана судить о важности стимулов. Все, что ей нужно, так это механизм, регистрирующий полезность или вредность стимулов, но эти термины в данном случае не несут этической нагрузки. Если система обладает критерием устойчивой работы, она может быть организована для работы по благоприятному для нее критерию. Мы с самого начала заявляли: "Возьмите некоторое обычное действие в качестве типичного для естественной динамики системы" — в этом и заключается ключ к пониманию управления. Системы *существуют*, и они *работают*; если нет, то они не системы. Управление есть то, что способствует существованию и работе систем.

Мы говорили и раньше, что быть действующей и воспринимать стимулы — две разные вещи. Посмотрим теперь, почему. Так происходит потому, что критерием хорошей работы является критерий, основанный на *внутренней* стабильности. Можно предположить, что стимулы появляются из внешней среды, окружающей систему; неразумные системы этого не знают, разумные системы либо сами делают такое заключение, либо предчувствуют подобный факт. Но даже в таком случае для обеих систем управляющее действие является ответом на внутреннее изменение, после того как система так или иначе его зарегистрировала. Мы отстраняемся от боли — это психологический факт, как и съезживаемся при виде шприца или приближения горячей сигареты — интеллектуальная конструкция. В действительности мы съезживаемся от предчувствия боли, от предчувствия, существующего внутри нас, поскольку боль может испортить наше внутреннее состояние. Мы съезживаемся до того, как почувствовали боль, поскольку видим приближающуюся опасность и просто понимаем последствия такой опасности как прогноз внутренних событий. Так происходит потому, что мы — (усовершенствованная) обучающаяся система. Если бы мы не научились связывать события с их внутренними для нас последствиями, то мы бы не съезживались заранее. Типично, что наши представления об управлении довольно путаны, поскольку мы сами — системы весьма совершенные и знаем о себе очень много. Мы научились различать стимулы, классифицировать их, поэтому мы, как и следовало ожидать, реагируем на стимулы скорее, чем на стимулирование.

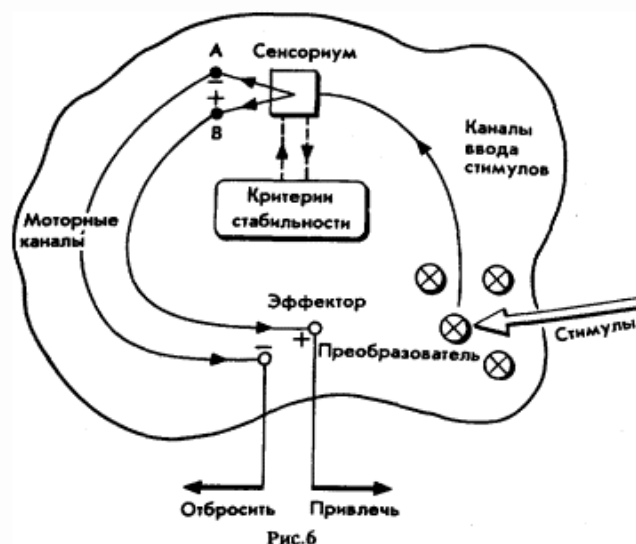
Так мы пришли к совершенно неверному заключению: системы могут знать, как отвечать только на те стимулы, о которых они знают заранее, и их классифицировать. Конечно, нам возразят, что инженер не может создать машину или какую-либо конструкцию, защищенную от неизвестных, непредвиденных помех, но может создать защищенную только от тех, которые указаны заранее. Нам говорят, что мы должны

определить, что считается стабильной работой машины, а затем перечислить по порядку помехи, которые считаются нарушающими стабильность ее работы. Тогда и только тогда мы будем в состоянии создать или запрограммировать систему, которая "правильно" воспримет помеху в ее работе. Все это неверно. То, в чем действительно нуждается система, и это все, в чем она нуждается, так это в способе измерения ее собственной внутренней тенденции отклоняться от стабильного состояния, а также в наборе правил проведения экспериментальной проверки ее реакций, которые возвращают ее к внутреннему равновесию. Следовательно, нет нужды знать наперед, что вызовет нарушение работы системы, как нет нужды знать, что ее нарушило. Вполне достаточно быть уверенным в том, что что-то случилось, классифицировать это нарушение и быть в состоянии изменить внутреннее состояние так, чтобы нарушение исчезло.

Система, которая может выполнить это, которая может справиться со случайным и непредвиденным вмешательством, известна в кибернетике как *сверхстабильная* система (по классификации Эшби). Например, можно представить себе устойчиво работающий компьютер, который в случае пожара в здании будет продолжать отщелкивать цифры, даже когда начнут плавиться его части. Можно подумать, что для защиты от подобного риска конструктор должен установить температурные датчики. Ничего подобного. Любой ультраустойчивый компьютер должен обнаруживать не пожар (обходиться без термометров), а "нарушение работы", поскольку внутреннее контрольное устройство должно показывать, что счет стал неверен. Компьютеру тогда следовало бы привести в движение свои колеса и просто покинуть горящее здание. В таком случае люди могут подумать, что компьютер в состоянии "почувствовать" пожар, и вновь ошибутся. Разумное поведение часто основывается на простых механизмах, вроде только что упомянутого, которые вводят нас в заблуждение, заставляя думать, что они основаны на более глубоком понимании обстоятельств. Простейшая версия управляющего устройства, управляющей функции системы, которую можно себе представить, выглядит тогда так, как показано на рис.б.

Сенсорное устройство (прямоугольник на рис.б.), входящее в систему, может регистрировать наличие стимулов и классифицировать их. Управляющее устройство в нем должно либо усиливать (+), либо уменьшать (-) действие стимулов в зависимости от того, помогают они деятельности системы в целом или нарушают ее. Для этого они включают и заставляют срабатывать точки А или В, которые далее предпринимают действия в зависимости от характера стимулов.

Чтобы выбрать положение переключателя (точку А или В), управляющее устройство должно сравнить ожидаемый результат эффекта своего выбора по критерию стабильности системы. Его простейшая стратегия для этого заключается в том, чтобы двинуться *немного* в сторону уменьшения, а затем немного в сторону усиления стимула, сопоставить получаемые результаты по своим критериям и затем твердо установить переключатель. Если система будет экспериментировать слишком долго, то она начнет раскачиваться. В технике это называется рысканием, в психологии — атаксией. Все системы подвержены этой болезни. Если таково простейшее устройство управления, то теперь следует убедиться в том, что мы достаточно глубоко понимаем это, и овладеть основной терминологией, обходимой для ее изучения.



Стимулы, как было показано, возникают вне системы. Стимул может возникнуть и по внутренним причинам, но наше утверждение сохраняет силу — должно быть устройство, регистрирующее, что что-то произошло, и переводить происшедшее, каким бы оно ни было, в термины, имеющие смысл для управляющего устройства. Такое устройство есть часть системы — оно является не стимулом, а тем, что его обнаруживает. Оно называется *преобразователем*, т.е. устройством, которое следит за стимулами для всей системы (оно помечено на рис.6 в круге крестом). В систему, вероятно, входит один сенсорнум, одно сенсорное устройство, но много преобразователей. Фактически, основная классификация стимулов происходит в самом начале и сводится к тому, чтобы разобраться, какой из преобразователей стимулировался.

Когда преобразователь сработал, сообщение о стимуле поступило в систему. Канал, по которому сообщение о стимулах поступает в систему, называется *сенсорным каналом ввода*. Эти сообщения являются сенсорными входными данными. Другая половина цепи управления, ее замыкающая, является *моторным каналом выхода* (МОС). Соответствующий "мотор" связан с выходом, потому что выходные данные имеют смысл постольку, поскольку выходной сигнал вызывает действия. Например, в психологии нервы, представляющие выходные каналы, как говорят, передают "эффекторные" импульсы [которые могут быть стимулирующими либо ингибиторными (подавляющими): или +, или -], тогда как сенсорный выход является "аффекторным". Таким образом, моторный выход ведет к эффектам (пустая цепь на рис.6), способности действовать в зависимости от стимулов. В простом случае один из них побуждает систему действовать согласно стимулам, другой — избавляться от них. Тогда, заметьте, пожалуйста, системе безразлично, что собственно вмешивается в нее.

Действующие в реальной жизни системы управления, конечно, намного богаче; масса импульсов пробегает через огромное число входных и выходных каналов. Это справедливо как в отношении организма человека, так и в отношении управленческих ситуаций. Этот факт не меняет базовой структуры сенсорных и моторных узлов в цепи управления; однако при рассмотрении операций переключения, которые подготавливают решения, мы должны принимать во внимание то, что в больших комплексных системах этот процесс никогда не сводится к столь простому переключению, как в нашей схеме (рис.6.).

В частном случае управления техническими средствами такая процедура переключения вполне понятна. Закономерность, отображающая такую процедуру, известна как *функция преобразования*, поскольку она математически указывает, какого сорта преобразования происходят между сенсорными и моторными узлами в цепи управления. Функция преобразования математически описывается дифференциальным уравнением и может быть весьма сложной. Сложность возникает потому, что характер реакции системы часто определяется диапазоном стимулирования, вызванного данным стимулом или частотой, с которой происходит стимулирование. В живых системах управления самым наглядным примером осуществления функции преобразования является деятельность нейрона или отдельной нервной клетки. Как утверждает Маккулох, функция преобразования в этом случае будет весьма сложной и описывается нелинейным дифференциальным уравнением восьмого порядка. Мозг человека состоит, вероятно, из 10 000 000 000 нейронов, и, насколько мы знаем, нет двух из них, функции преобразования которых были бы одинаковы. Мы столкнемся с проблемой именно такого порядка при обсуждении функции преобразования руководителя. Решение, принимаемое в деловом мире, может касаться десятка руководителей, но это просто в сравнении с несколькими тысячами нейронов, функцию преобразования, управляющую нейронами, совершенно невозможно составить (если бы в этом было дело), поскольку она есть некоторая сумма взаимодействующих нейронов мозга. И нам это известно.

Дальнейшее еще сложнее. При рассмотрении управления системой в целом, что является нашей конечной целью, мы вполне можем столкнуться с тем, что не удастся даже опознать отдельные входные и выходные каналы, а удастся идентифицировать лишь их целые связки. Еще меньше наши возможности в отношении идентификации индивидуальных переключателей, преобразующие функции которых по этой причине не могут быть исследованы и еще менее могут быть измерены. Тому есть существенные причины, обусловленные физиологическими структурами, такими как нервная система, и в социальных структурах, таких как корпорации и фирмы. В подобных случаях сенсорные входные данные поступают в сенсориум распределенно, а триггеры моторных действий тоже распределены широко и достаточно плотно не только по всей периферии системы, но и между точками А и В, о которых мы ранее упомянули. Проблема переключения, следовательно, охватывает весь набор входящих и весь набор выходящих импульсов. Следовательно, вместо одного переключателя между ними необходимо иметь сложную соединительную сеть. Такая сеть называется по латыни *reticulum* (сеточка, сетчатое образование), а ее кибернетический вариант называется *anastomotic*. Это указывает на тот факт, что множество ветвей такой сети взаимодействуют целесообразно, но невозможно разобраться в том, как поступает сигнал в ретикулум. Этот термин просто означает что каналы вывода заканчиваются как дельта реки — множество потоков вливается в море и такие потоки, кроме того, часто переплетаются один с другим. Нет никакой возможности проследить, каким путем данная пригоршня воды попадает в море, как нет способа указать на то, из какого протока или источника она туда поступает.

Весьма важно усвоить это замечание об анастомотик ретикулум, поскольку процесс принятия решения как в организме человека, так и в сообществе руководителей осуществляется именно так. Мы видим информацию, которая была получена, видим предпринятые действия, эффекторные и аффекторные каналы, через которые эти меры осуществлялись, и только.

В этих условиях разумно перейти к электрической модели и попытаться построить систему переключателей, лежащую в основе цепи принятия решений. Более того, при

рассмотрении рис.6 казалось разумным представить эти соединения как переключатели (А и В). Так можно было поступить, поскольку мы рассматривали простейший случай. Без сомнения, бывают простые случаи и в управлении, когда управляющий, отвечая по телефону, говорит, что следует взять курс А или В — решение принято, и он кладет трубку. В подобных случаях функция преобразования может быть выражена через минимизацию стоимости решения. Но это тривиальный случай. Обычно также трудно сказать, какие внутренние причины повлияют на группу руководителей, принимающих решение о том, как проследить путь воды в дельте реки. Поэтому, чтобы сделать модель более реальной, мы должны видоизменить главную цепь (рис.6) и представить ее, как показано на рис.7.

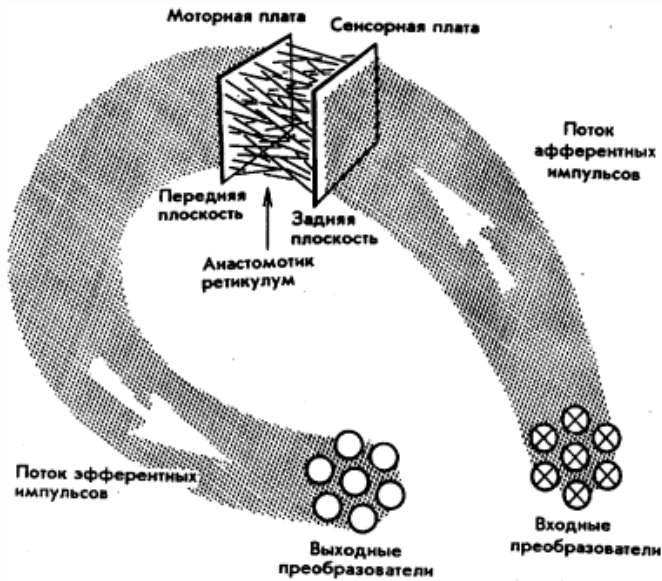


Рис.7

Применительно к этому новому варианту модели важно подчеркнуть следующее: стимулы возбуждают целую колонию входных преобразователей или сенсоров, а реакция системы осуществляется через целую колонию выходных преобразователей (или эфферекторов). Оба этих набора преобразователей служат передатчиками импульсов через множество каналов. Сенсориум и связанный с ним переключатель заменены своего рода коробкой, имеющей сенсорную панель сзади и моторную панель спереди. Эти панели соединены своеобразной сетью переключающей системы, которую мы назвали анастомотик ретикулум.

Все сказанное в этой главе до сих пор касалось управления большими комплексными системами исходя из первых принципов, хотя введенные термины имели явно биологический оттенок. Был упомянут также инженер-автоматчик, но в основном с тем, чтобы сказать, что он не в состоянии чем-то помочь нам! Однако теперь он снова выступает на авансцену, чтобы ввести новый термин — важнейшую концепцию из всех — *обратную связь*. Прежде всего заметим, что было бы ошибкой принять связь между стимулом и ответной реакцией за систему обратной связи. Этот термин стал настолько вольно использоваться в ряде мест, что почти всякая реакция на любое действие принимается за обратную связь. Содержание этого термина следует вскрыть с известной осторожностью, поскольку он относится к фундаментальным понятиям кибернетики. Для его объяснения нам придется привести небольшое математическое описание в самой общей форме в надежде на то, что это поможет правильно понять термин даже читателям, далеким от математики.



В системе есть входные и выходные сигналы. То, что происходит внутри системы и превращает первое во второе, уже было названо преобразованием и описывается функцией преобразования. В технике управления, как говорилось, функция преобразования описывается дифференциальным уравнением, которое определяет скорость преобразования во времени входных величин в выходные. Оператор в этом преобразовании обычно обозначается буквой "р". Нет необходимости детализировать это уравнение, достаточно упомянуть, что оно в общем является функцией оператора  $p$ . Как говорилось ранее, функция преобразования нейрона может быть достаточно хорошо описана нелинейным дифференциальным уравнением восьмого порядка, однако ее тоже можно записать как  $f(p)$ . Беда в том, конечно, что хотя и можно ее так записать, в действительности мы ее не знаем. Трудность здесь точно такая же, как в заявлении "пусть  $x$  есть число жителей в данном городе". Далее мы свободно пользуемся параметром  $x$  в наших расчетах, и, по-видимому, можно было бы подсчитать число семей в городе как функцию от  $x$ , но рано или поздно нам придется выяснить, что же стоит за числом  $x$ .

В технике управления существуют методы точного определения дифференциального уравнения функции  $f(p)$ . Прежде всего она устанавливает связь между входной и выходной величинами. Это означает, что мы можем определить  $f(p) = o/i$ , где  $i$  — входная переменная;  $o$  — выходная переменная величина. Когда дело идет об электрических цепях управления, входная и выходная величины поддаются непосредственному измерению. Более того, если можно построить график зависимости выходной величины от входной во всем диапазоне их изменений, то можно с уверенностью считать наличие зависимости между ними. Функция преобразования и есть уравнение, описывающее такую зависимость. Она может быть очень сложной, но ее можно найти, особенно потому, что мы обычно располагаем множеством доступной информации относительно переключателей и цепей, из которых состоит изучаемая система. Знание структуры системы позволяет математикам предсказывать вид требуемого в данном случае уравнения. Найти значение  $f(p)$  в типичной кибернетической ситуации может оказаться невозможным. Как мы уже видели, трудно и отчасти, может быть, лишено смысла принимать что-то за входную или за выходную величину в физиологических, социальных и управленческих ситуациях. Может оказаться невозможным выделить, и тем более измерить, интересующие нас переменные. Тогда нам никак не удастся получить зависимость переменных на выходе от переменных на входе. А если структура цепи, как говорилось, представляет собой анастомотик ретикулум, то трудно сформировать какую-либо математическую гипотезу относительно формы, соответствующей данной функции преобразования.

Однако мы должны вернуться к инженеру-автоматчику и его *сервомеханизму*, как называется его прибор управления. Инженер знает входную, выходную переменные и функцию преобразования для своей системы. Стоящая перед ним задача сводится к следующему: выходной результат системы может не полностью соответствовать тому, который ему нужен. Предположим, например, что при устойчивой входной переменной функция преобразования дает устойчивую выходную переменную, которая точно соответствует желаемой. Пусть теперь входная переменная начнет регулярно изменяться — что произойдет с выходной величиной? Она может следовать за входной, поскольку предполагалось, что выходная величина должна быть постоянной. Хуже того, выходная величина, будучи поданной на вход, может усиливать колебания в системе и дать сильное раскачивание, опасное для следующей системы, выходная величина данной системы для которой является ее входной величиной. Что бы ни случилось, во всяком случае, можно измерить текущие изменения значений переменной на выходе и сравнить **их** с ожидаемыми. Полученные при таком

измерении результаты выявят отклонения системы от нормы. Именно такие измеренные величины, которые могут быть несколько видоизменены, *подаются обратно* с целью регулировки входной величины так, чтобы при существующей функции преобразования была сформирована правильная выходная величина.

Представим себе такой простой цифровой пример: пусть функция преобразования удваивает входную величину. Пусть в данный момент значение на входе равно 3, тогда на входе будет 6, а 6 и есть то, что мы хотим. Представим теперь, что по неизвестной нам заранее причине значение на выходе внезапно стало равным 8. Тогда отклонение на 2 будет воспринято как изменение значения на выходе, а отсюда следует, что значение на входе по той или иной причине по своему *эффекту* стало равно 4. Цепь обратной связи воспримет как свою входную величину отклонение выходной величины (на 2 единицы) и теперь должна сработать при таком его значении. Если она просто направит обратно отклонение в 2 единицы как поправку на вход в систему, то теперь при его, как мы помним, значении, равном 4, на входе останется только 2. Функция преобразования его удвоит, и новое значение на выходе станет равным 4 вместо 6. Ясно, что цепь обратной связи нуждается в своей собственной функции преобразования, которая снизит первичное отклонение выходной величины с 2 до 1 и заставит первичное отклонение на входе снизиться на это значение. Тогда выходное значение системы возвратится к требуемой цифре 6, поскольку входная величина теперь исправлена на 3.

Этот пример хорошо демонстрирует механизм действия отрицательной обратной связи, исправляющей ошибку, но он с дефектом.

Мы заморозили систему, чтобы рассмотреть фактические показатели, а затем позволили ей работать снова на конечном интервале времени, необходимом для срабатывания обратной связи. Однако причиной всех неприятностей является неожиданное изменение входного сигнала, и, вероятнее всего, он изменится снова к моменту проведения корректирующих действий. Тогда то, что произойдет за время отклонения и введения в систему обратной связи, сложнее, чем просто изменение на обратное значение первичной функции преобразования. Если бы это была единичная операция, то легко было бы видеть, что систематическое изменение входной величины, которое происходит в фазе с временным циклом обратной связи, будет не подавлено, а усилено. Наш механизм обратной связи обнаружит первичное отклонение + 2, и снижение входной величины на единицу последует точно в момент, когда на входе будет импульс, приводящий в результате к отклонению на -2. Иначе говоря, на входе останется величина 2, что генерирует 4 скорее, чем 6. Тут начнет действовать обратная связь, считывающая первое (положительное) отклонение, и снизит входное значение с 2 до 1. Теперь на выходе останется 2 вместо 6, что еще хуже.

Из этого следует, что в цепи обратной связи должна быть обеспечена своя собственная функция преобразования, которая может быть записана как  $F(p)$ , и она должна быть умно реализована, чтобы скорее подавлять, чем усиливать флуктуации на входе. Допустим, что так или иначе это может быть сделано и мы получим тот впечатляющий результат, которого добиваемся — саморегулирующийся механизм, в основе действия которого лежит не *причина* нарушения, а производимый ею *эффект*. Дело в том, что причиной отклонения может быть или изменение температуры (а в системе не предусмотрено ее обнаружение), или нарушение соединения (которое не предполагалось), или отказ в другой системе, генерирующей входную величину для данной системы (о которой система "ничего не знает"). Для нас важно, чтобы управление осуществлялось независимо от причины нарушения.

Чтобы уяснить различие между первичной функцией преобразования  $f(p)$  и новой функцией  $F(p)$ , мы должны обратиться к первичной сети и сети обратной связи, которые управляются этими двумя функциями соответственно. "Сеть" — по-прежнему подходящий для нас термин, поскольку реальные системы значительно сложнее простых из числа здесь рассмотренных, в которых можно разглядеть единичные линии и цепи. "Сеть" на простом русском языке звучит лучше, чем латинское "ретикулум", как упоминалось ранее, поскольку теперь мы создаем систему со специально приспособленными соединениями. К названию ретикулум будем прибегать, ссылаясь на общие и, возможно, специальные случаи внутренних соединений в том контексте, в каком это слово первоначально было введено.

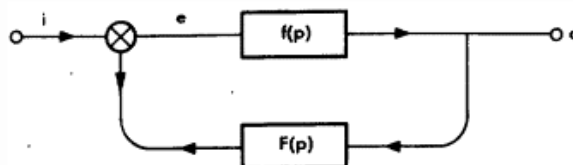


Рис.8

Теперь обратимся к схеме простого сервомеханизма (рис.8) — нам предстоит исследовать характеристики обратной связи на основе их математического описания. Это не означает, что мы будем изучать конкретные дифференциальные уравнения — вся дискуссия ограничится элементарными алгебраическими уравнениями, но это надо преодолеть. На вход системы обратной связи подается выходная величина основной системы —  $o$ . Выходная величина системы обратной связи есть результат воздействия на величину  $o$  функции преобразования системы обратной связи, т.е.  $oF(p)$ . На входе предыдущей системы в результате воздействия обратной связи вместо величины  $i$  будет величина  $e = i + oF(p)$ .

Если это так, то форма функции преобразования первичной системы изменится. Первоначально мы ее записали как  $f(p) = o/i$ , но теперь это неверно. На входе основной системы (прямоугольник  $f(p)$ ) теперь уже величина не  $i$ , а  $e$ , представляющая суммарный эффект входной величины  $i$  и величины, обусловленной действием обратной связи,  $oF(p)$ .

Поскольку на входе блока  $f(p)$  величина  $e$ , а на выходе  $o$ , то  $f(p) = o/e$ . Чтобы получить функцию преобразования всей системы, мы должны вернуться к основному определению, в котором выходная величина сравнивалась с входной, и записать новую функцию  $\gamma(p)$ , которая устанавливает правильное соотношение между функциями  $f(p)$  и  $F(p)$ . Конечно, просто записать  $\gamma(p) = o/i$ . Но чтобы сделать то, что нам нужно, перепишем уравнение для первой системы  $f(p)$  и уравнение для  $e$ . Тогда получим

$$o(p) = o/i = f(p) / [1 - f(p)F(p)]$$

Из данного уравнения следует несколько выводов. Во-первых, видно, что обратная связь может стать либо положительной, либо отрицательной.

Рассмотрим произведение функций обратной связи первичной цепи и цепи обратной связи, а именно  $f(p)F(p)$ . Предположим, что система не требует коррекции, т.е. функция обратной связи не оказывает никакого влияния. Тогда перемножение функций даст нуль и общая функция преобразования  $o(p)$  будет правильно работать как  $f(p)$

сама по себе. Если произведение функций будет больше нуля, то знаменатель станет меньше единицы, а общее значение функции больше значения функции преобразования первичной цепи — в итоге получится *положительная обратная связь*. Если произведение функций станет меньше нуля, то знаменатель станет больше единицы и значение результирующей функции станет меньше значения функции преобразования первичной цепи — получим *отрицательную обратную связь*. Очевидно, что в одной и той же системе может быть как положительная обратная связь, так и отрицательная, в зависимости от формы переменной, действующей на входе, и сдвига по фазе во взаимодействии этих двух цепей.

Во-вторых, весьма интересен результат действия отрицательной обратной связи. Корректирующая обратная связь по необходимости должна быть отрицательной, если любое отклонение от заданной нормы считается по его абсолютному значению положительным. Тогда уравнение для  $e$  должно быть переписано как  $e = i - oF(p)$ , поскольку нам известно, что абсолютное значение функции преобразования погрешности должно вычитаться из первичного значения входной величины. Тогда уравнение для общей функции преобразования следует переписать в виде

$$o(p) = f(p) / [1 + f(p)F(p)].$$

Анализируя это уравнение, можно определить, что происходит, если значение функции преобразования первичной цепи становится очень большой величиной. При значении  $f(p)$ , существенно превышающем единицу, единицей в знаменателе можно пренебречь и сократить числитель и знаменатель на  $f(p)$ . В таком случае в схеме с обратной связью определяющей станет функция преобразования цепи обратной связи. Формально это можно записать так:

$$\text{если } |f(p)| \gg 1, \text{ то } o(p) \approx 1 / F(p).$$

Результат поразителен. У нас может быть очень слабый сигнал на входе, как это часто случается в биологических и управляющих ситуациях. Мы можем сильно усиливать этот сигнал в первичной цепи, и это часто случается. Тогда можно предположить, что любой "шум" на входе, т.е. по смыслу любая неверная информация на входе, станет также сильно усиливаться. Но поскольку в системе в целом преобладает влияние не первичной цепи, не первичной системы, а системы обратной связи, то именно она обеспечит на выходе сигнал, значительно "чище", чем можно было ожидать.

Таким образом, мы оказываемся на пути к достижению желаемого качества системы — ее сверхустойчивости. Отрицательная обратная связь во всех случаях корректирует величину на выходе в соответствии с флуктуациями на входе. Неважно, какого сорта шум действует на систему, как он велик по сравнению с входным сигналом, насколько он хаотичен и почему возник. Система стремится подавить его влияние.

Примечание. Результат решения последнего уравнения интересен и важен для понимания сверхустойчивости. Используемая здесь математика проста несмотря на введение уравнений, а аргументация понятна каждому, знакомому со школьной алгеброй. Тем не менее некоторые читатели не понимают, ни как получено уравнение для  $y(p)$ , ни как исчезло значение  $e$ . Поскольку под последним подразумевается "ошибка", его исчезновение особенно примечательно. Поэтому здесь в соответствии с рис.8, осуществим все промежуточные алгебраические выкладки, демонстрирующие доказательства. По определению,

$$f(p) = o / e, \quad (1)$$

$$e = i + oF(p). \quad (2)$$

Из (1) следует, что

$$o = ef(p). \quad (3)$$

Подстановка в (2) дает

$$i = e - oF(p). \quad (4)$$

Используя результат (3) и (4), получаем общую функцию преобразования

$$o(p) = o/i = ef(p)/(e - oF(p)). \quad (5)$$

Подставляя значение  $o$  согласно (3) в знаменатель (5), получаем

$$o(p) = o/i = ef(p)/(e - ef(p)F(p)). \quad (6)$$

Сократив  $e$  в числителе и знаменателе (6), имеем

$$o(p) = o/i = f(p)/(1 - f(p)F(p)), \quad (7)$$

### Глава 3

#### Масштабы проблемы

Всякая система управления состоит из трех основных частей: входного устройства, выходного устройства и сети связи, которая соединяет их. Эта сеть в самом общем случае является анастомотик ретикулум. Теперь попытаемся найти численное выражение, количественно характеризующее такую систему. Многое можно сказать о масштабах проблемы исходя из уже перечисленных первых принципов.

Прежде всего должен быть организован вход, начиная с набора рецепторов, которые передают информацию о некоторых аспектах состояния внешнего мира в эффективно действующие каналы, и кончая сенсорным регистратором (или сенсориумом), в котором эта информация собирается. Принципиально такое сенсорное устройство можно встретить везде, как в живых, так и в искусственно созданных системах. Телефония использует различные способы вибрации диафрагмы в телефонной трубке в качестве набора рецепторов, с помощью которых голос направляется во входной канал — телефонный провод. Диафрагма на другом — слуховом — конце трубки принимает колебания, переданные по каналу связи, и работает как сенсорное устройство. Несколько по-другому осуществляется телевидение: передающим каналом в нем служит не провод, а радиоизлучение. Но и здесь сканирующая система телекамеры представляет собой набор рецепторов, передающих элементы изображения; они собираются вместе на внешней поверхности телевизионной трубки, которая представляет собой хороший пример сенсорного регистратора-сенсориума.

Совершенно очевидно, что способности различать детали на каждом конце входного устройства (рецептора и сенсориума) должны быть равными для обеспечения эффективной работы системы. Так, если сенсориум обладает большей возможностью различать детали, чем рецептор, то эта его способность будет потеряна, поскольку приниматься будет лишь часть сигналов, генерируемых передающим устройством. Если же, наоборот, рецептор будет более мощным в смысле различения деталей и эта детальная информация будет передана сенсориуму с худшей разрешающей

способностью, то некоторые детали будут просто утрачены. Другое очевидное заключение сводится к тому, что пропускная способность любых каналов, используемых для передачи информации между рецепторами и сенсориумом, должна быть достаточной, чтобы передать ее всю. Это особенно ясно, когда передающий канал — механический.

Возьмем, к примеру, в качестве входного устройства системы пишущую машинку. (Ее можно рассматривать в качестве самостоятельной системы, поскольку то, что считается системой, определяется исследователем, и он определяет ее границы исходя из своих целей.) Клавиши пишущей машинки представляют собой рецепторы с разрешающей способностью, скажем, 92 различных символа. Тогда у нас будет 46 клавиш и устройство, позволяющее работать на двух регистрах. Клавиши сделаны для того, чтобы машинистка могла ввести текст в систему, которая собирает его на сенсориуме — бумаге. Если у нас 46 клавиш, то должно быть 46 рычагов, способных донести металлические символы до бумаги, и устройство для переключения регистра, выступающее в виде своеобразного усилителя, поскольку с его помощью удваивается число символов (сколько бы их ни было), представленное числом клавиш. Важно также, чтобы канал передачи обладал соответствующей емкостью не только в смысле способности различать сигналы, но и в смысле скорости действия. Опытная машинистка, пытающаяся использовать старую машинку, столкнется с тем, что рычаги, несущие знаки, недостаточно быстро сменяются, в результате чего два из них могут сцепиться и помешать друг другу.

Но то, что справедливо в отношении входа, справедливо и в отношении выхода — второго компонента любой системы управления. Возьмем моторную плату, которая передает команды набору эффекторов. Здесь мы вновь столкнемся с тем, что нет смысла располагать большей разрешающей способностью на одном конце, чем на другом. Какими бы ни были наши порывы действовать, но если их нельзя ни передать дальше по имеющимся каналам, ни превратить затем в соответствующие действия, они бесполезны в любом случае. Если кто-то кричит, пытаясь дать полезные советы яхтсмену, испытывающему трудности при входе в гавань, а звуки сносятся ветром, то это бессмысленно — у него нет эффективного канала связи. Опытный музыкант, играющий этюд Шопена на рояле, прекрасно знает, какую клавишу нажимать, поскольку он обладает обычным человеческим телом и располагает достаточной емкостью каналов, чтобы преобразовать требуемую ноту в движение мускулов. Но если человек никогда не учился игре на рояле, то он бессилён произвести требуемые действия. Он не обладает эффекторами (выходными преобразователями).

Третья часть системы управления — анастомотик ретикулум, который соединяет сенсоры с моторной платой, о нем нам еще предстоит поговорить подробнее. А сейчас попытаемся оценить масштаб проблемы, перед которой стоит система управления любой сложной организацией, такой как человек или промышленная фирма в смысле требований к ее входным и выходным параметрам. И уж поскольку эти части системы вновь упомянуты, вместе, отметим один любопытный факт. Мы говорили о способности частей системы управления различать детали. На стороне входа необходима пропускная способность, равная числу рецепторов на сенсорной плате; на стороне выхода та же разрешающая способность должна быть на моторной плате с ее эффекторами действия. Рассматривая систему управления в целом, мы видим, что необходимые мощности на входе и выходе должны быть равными. Основания для этого все те же, если мы по-прежнему исходим из того, что критерием является эффективность системы. Обычная ситуация, когда, например, в каналах передачи информации из-за их физических свойств информация искажается, должна

рассматриваться по-другому. В таком случае потребуется большее, чем должно было бы быть, количество входных данных, а избыток будет использован для компенсации ухудшения каналов связи. Например, если посыльный, которого мы направляем с письмом, с вероятностью 0,5 будет по дороге убит, то мы обязаны посылать по крайней мере двух человек с письмом одинакового содержания, хотя, конечно, на другом конце необходимо только одно письмо.

В кибернетике число различаемых объектов (или различаемых состояний того же объекта) называется "разнообразием". Тогда, подводя итог вышесказанному, можно считать, что разнообразие на входе должно (по крайней мере) соответствовать разнообразию на выходе для системы в целом, но для входного и выходного устройства оно решается самостоятельно. Это существенно важное следствие закона Эшби о разнообразии систем, которое гласит, что управление может быть обеспечено только в том случае, если разнообразие средств управляющего (в данном случае всей системы управления) по крайней мере не меньше, чем разнообразие управляемой им ситуации. Этот закон, как и любой другой важный закон природы, совершенно очевиден после того, как он открыт. Нетрудно, однако, обнаружить примеры систем управления, поведение которых в значительной степени не соответствует этому закону и, следовательно, неудовлетворительных. Начиная с управления уличным движением и кончая национальной экономикой — ошибки очевидны, и, конечно, это одна из ключевых проблем управления промышленным предприятием. Руководители всегда надеются создать простую и дешевую систему управления, но часто заканчивают потерей крупных денежных сумм на то, чтобы обеспечить с запозданием требуемое разнообразие, которое должно было бы создаваться прежде всего.

Важно определить меру разнообразия промышленного предприятия. Чтобы понять в чем тут дело, мы постепенно подойдем к пониманию того, как растет разнообразие и каким путем оно может быть воспринято, т. е. к тому, что собственно и есть управление. Рассмотрим для начала проблему чтения через ее основную составляющую — распознавание букв. Мы хотим получить возможность различать 26 букв английского алфавита, оставляя в стороне такие сложности, как строчные и прописные, тип шрифта и т. п. Представим тогда себе 26 различных карточек, на каждой из которых напечатана одна буква алфавита, и создадим рецептор, который их рассматривает по отдельности.

Пусть единичный визуальный рецептор представляет собой простое устройство, отличающее светлое от темного. Им может быть, например, фотоэлемент, который можно отрегулировать так, чтобы он "чувствовал" границу между светлым и темным. Фотоэлемент, таким образом, будет обладать двумя состояниями, которые мы назовем 0 и 1. Если перед таким единичным рецептором окажется карточка с буквой А, то он зарегистрирует меру ее серости как определенную смесь черного и белого на этой карточке. Он не определит форму, которой для нас соответствует буква А, а определит нечто уникальное в букве А из серии наших карточек. Далее буква В может дать другую смесь белого и черного, другую градацию серости. Поскольку мы можем изменять порог чувствительности фотоэлемента, чтобы он регистрировал либо 0, либо 1, то появляется возможность менять порог его чувствительности (по крайней мере теоретически) так, чтобы он отличал букву А от В. Когда мы дойдем до С, то разнообразие нашего фотоэлемента, увы, уже исчерпается, т. е. мы уже ничего не можем сделать с последующими буквами от С до Z. Ясно, что одного рецептора недостаточно. Более того, как нам кажется, нужно 26 рецепторов, каждый тщательно отрегулированный на свою букву. Если это так, то мы удовлетворим закон о требуемом разнообразии: число фотоэлементов, присоединенных к входным рецепторам и

сенсориуму, станет соответствовать 26 состояниям рассматриваемого нами любого слова.

Однако если у нас есть только один первичный рецептор, то мы можем проделать с ним трюк другого сорта. Можно разделить весь набор карточек с буквами на две части так, чтобы в одной половине оказались более светлые, а в другой темные буквы. (При этом предполагается, что можно создать такой шрифт, у каждой буквы которого будет свое особое соотношение черного и белого.) Такая их организация позволит относить карточку только к одной из двух групп, поскольку такова возможность рецептора оценивать разнообразие. Но этот элемент будет обследовать все карточки и рассортировывать их на две пачки — на более светлые (которые рецептор принимает за 0) и более темные (которые принимаются за 1). Если мы достаточно точно установим границу чувствительности, то в каждой пачке у нас будет по 13 карточек. Рецептор, таким образом, в состоянии считывать все 26 карточек и давать 26 сигналов, один за другим, как серию нулей и единиц и распределять каждую карточку в соответствующую пачку.

Преимущество всего этого в том, что здесь один рецептор с разнообразием два (а именно, 0 или 1) способен уменьшить, в два раза размерность решения проблемы соотнесения любой из 26 букв. Мы, таким образом, получили 13 разнообразных вариантов за счет двух. Может показаться, что пользы в этом мало, однако это весьма важно. Вообще, двоичный классификатор (рецептор 0 или 1) при эффективном использовании в два раза уменьшает неопределенность, с которой он встретился. Все проблемы, относятся ли они к распознаванию, классификации или к самому решению, — проблемы неопределенности. Если нет неопределенности в отношении промышленной ситуации, то руководителю не нужно принимать решения. Если нет неопределенности в начертании буквы, то мы можем ее прочесть. Ситуациями с большей неопределенностью трудно управлять именно потому, что мера их разнообразия и есть мера их неопределенности.

Именно поэтому так важен трюк, который мы только что продемонстрировали. Как бы ни была велика проблема, ее разнообразие, в принципе, может быть уменьшено в два раза с помощью одного решающего элемента. Приведем другой пример. Вы ищете кого-либо в танцевальном зале, где танцуют 500 пар. Разнообразие тогда составляет 1000; фактор неопределенности составляет 1: 1000, а вероятность правильного решения при случайной выборке равна 0, 001. Таков масштаб проблемы. Но если вы знаете, ищете вы мужчину или женщину, то масштаб проблемы сразу уменьшается в два раза.

Вернемся теперь к проблеме чтения всего алфавита. Мы показали, что 13 более светлых букв могут отличаться от 13 более темных букв с помощью одного избирательного рецептора, способного определять среднюю границу их серости. Взяв теперь пачку карточек из 13 букв и второй рецептор, получим возможность отделить 6 одних букв от 7 других, используя такое же устройство — фотоэлемент, порог чувствительности которого соответствовал бы середине между самыми темными и самыми светлыми буквами. Конечно, такой же рецептор можно использовать для сортировки и второй пачки букв, когда до них дойдет очередь. Для сортировки шести (или семи) карточек используем третий рецептор, который сведет проблему к двум новым половинам (из 3 или 4 карточек). С помощью четвертого рецептора мы сможем разобраться и с этими пачками, поскольку знаем, что каждая буква уже проверена и является одной из двух. Тогда пятый рецептор различит и эти оставшиеся две буквы. Неопределенность, с которой мы начали — определить любую из 26 букв, исчезла:



теперь мы знаем, какая буква какая, и достигнуто это использованием пяти фотоэлементов.

Таким образом, в принципе необходимо только 5 рецепторов, чтобы прочесть буквы английского алфавита, поскольку их достаточно, чтобы различать  $2^5 = 32$  буквы, полагая, что у каждой буквы свое соотношение белого с черным, своя мера серости, которая уникальна. В общем,  $n$  является минимальным числом рецепторов, способных различать  $2^n$  возможностей. Заметьте, что таким образом по мере увеличения числа возможностей получается впечатляющая экономия числа рецепторов. Десять рецепторов могут различать  $2^{10} = 1024$  буквы или чего-то другого. Сорок рецепторов смогут различать  $2^{40}$ , что больше миллиона миллионов. Такое число — чистая теория. Мы должны заметить, что на практике такое множество букв (или состояний, или картин нашего мира) не может быть точно различимым. Частично так происходит, поскольку пороги различия их серости становятся слишком близкими друг другу, чтобы использовать практически полезный инструмент их различения, а частично из-за того, что буквы невозможно напечатать с такой аккуратностью. Другими словами, нечеткость их контуров дает такую меру серости для одной буквы, которая точно соответствует тому, что есть у другой, которую нужно от нее отличить. Так мы подошли к проблеме разнообразия в пропускной способности канала связи как отличающейся от разнообразия на входе.

Мы можем начать обсуждение проблемы снижения разнообразия с другого конца. Сканирующая система телевидения располагает сотнями линий, и сотни разной яркости черных и белых точек передаются по каждой линии. В конечном счете для создания картинки на экране трубки должны использоваться десятки тысяч двоичных рецепторов. Подобно этому в каждом человеческом глазу содержится около миллиона двоичных рецепторов. Неудивительно тогда, что глаз или телевизионная трубка может различать 26 букв алфавита, поскольку, как было показано, для этого достаточно и пяти рецепторов. Из этого вытекает важное заключение: используя значительно большее число рецепторов, чем теоретически необходимо, мы фактически можем разобраться с невероятно большим числом неточностей на входе. Это аналогично нашему примеру о необходимости в двух посыльных для передачи единственного сообщения, хотя на этот раз речь идет о рецепторах, а не о каналах связи. Благодаря этому люди смотрят телевизионные передачи сравнительно спокойно и, конечно, с пониманием происходящего, когда изображение сильно искажено электрическими помехами. Аналогично и глаз спокойно читает исключительно плохой почерк. Так происходит потому, что у глаза достаточно рецепторов, чтобы различать миллионы букв, а не каких-нибудь 26, но если учесть все возможные алфавиты, включая буквы, написанные от руки, то, вероятно, и нам необходимо большинство этих рецепторов.

Разница между "да" и "нет", между 0 и 1 является элементом решения. Руководители могут уклониться от ответственности, давая двусмысленные или расплывчатые решения: если захотят, могут пробормотать что-то, чтобы отмахнуться, но когда дело доходит до серьезного, ответ всегда двоичен, фактически руководители всегда используют процесс дихотомической классификации (который был только что нами описан), но используют его совсем не формально. Проблема управления может решаться сотнями возможных способов, и руководитель может отказаться ее решать, сказав только, что, по его мнению, решение лежит на том, а не на этом конце шкалы возможных решений. Это звучит весьма неопределенно, но фактически он здесь разделит возможные решения на две группы, которые вполне могут быть неравными, оставляя границу между группами весьма не четкой. Подчиненные будут разбираться в этих группах в течение некоторого времени, производя действия, которые толкают

ситуацию скорее в одном направлении, чем в обратном, пытаюсь также избежать зоны перекрытия. Рано или поздно они достигнут такого положения, когда не будут знать, что делать дальше, но представят руководителю значительно суженный круг возможных решений.

Этот процесс будет продолжаться как успешное разделение спектра возможных решений на все новые половины, пока в один прекрасный день руководителю представится возможность сказать "да" или "нет" относительно заключительного предложения. Можно математически показать, что наиболее эффективный путь преодоления последовательности решений такого рода заключается в том, чтобы разделять возможности на две части, причем совершенно не важно, равны ли эти части. Можно, конечно, использовать дополнительный рецептор (что предполагает принятие дополнительного решения) сверх тех, которые минимально необходимы, но это не меняет общего порядка процедуры.

В компьютерах, как все прекрасно знают, любые сообщения записываются нулями и единицами, в нашем теле нервная клетка либо возбуждена для передачи импульсов, либо нет. В естественных системах, таких как только что упомянутая социальная система управления или такая, как наше живое тело, граница между 0 и 1 вместо того, чтобы быть четко выраженной, обычно смазана. Поэтому необходимо отличать аналоговый счет от цифрового (двоичного). Компьютеры, работающие с перфорированных карт или магнитной ленты, формально двоичны, как и обычные счеты. Костяшка счетов передвигается либо в одну, либо в другую сторону, но не занимает неопределенного положения. Но логарифмическая линейка — это аналоговое устройство, поскольку не всегда можно точно сказать, на какой цифре вы остановились, тут есть зона неопределенности. Нервная клетка человека тоже обладает аналоговыми характеристиками, так как нельзя быть полностью уверенным в том, какова граница возникновения импульса. Но она получает двоичный импульс, поскольку электрические импульсы, проходящие по нервам, прибывают группами, интенсивность которых варьируется по частоте их поступления, а не по амплитуде. Так, например, боль становится острее вследствие увеличения числа поступающих по нерву импульсов в единицу времени, а не потому (как думают многие интуитивно), что увеличивается их электрический потенциал. Совершенно также нервная клетка либо посылает импульс, либо нет, но нет вопроса о выдаче ею большого или малого импульса. Преобразование нервной клеткой входящего импульса в выходящий (так сказать, ее функция преобразования) — значительно более трудная проблема.

Большинство систем управления, которые интересуют кибернетиков, представляют собой смесь систем аналогового и дискретного счета. Важность этого утверждения в том, что в любом из этих случаев по-прежнему разнообразие их состояний можно измерять через двоичное решение. Неопределенность границ — в конце концов другого сорта неясность, которая рано или поздно будет решена. Теперь выяснилось, что элементарное решение как выбор между "да" и "нет", между 0 и 1 является исходным в теории управления. Оно называется двоичной единицей, или сокращенно битом. В дальнейшем будем широко пользоваться этим термином, так что не ошибетесь, полагая, что биты — это понятия, которым пользуются только специалисты по вычислительной технике, а для всех остальных они интереса не представляют. Измеряя масштабы проблем, при обсуждении их сложности удобно использовать биты как единицу измерения, поскольку они для этого и предназначены. Если ситуация характеризуется 1024 разнообразными состояниями, то единственное достоинство в знании этого числа заключается в возможности сказать, что нужно принять 10 решений, чтобы рассеять неопределенность, заключенную в этом разнообразии,

поскольку  $1024 = 2^{10}$ . Это просто означает, что для получения одного-единственного ответа мы можем разделять проблему пополам 10 раз. Другими словами, бит является мерой экспоненты в нашей формуле  $2^n$ ; он точно равен числу  $n$ .

Такова таким образом природа фундаментального механизма, позволяющего нам как жителям этого мира или как руководителям предприятий справляться с огромным разнообразием, встречающимся в жизни. Мы можем распознать или выбрать, или принять решение на основе триллиона вариантов, используя только 40 хорошо продуманных рецепторов или классификаторов. Даже если мы неэффективно разрабатываем свою систему, планируем ее процедуры, результат весьма впечатляет. Мы также открыли меру, которую уместно использовать, размышляя о проблемах управления и при разработке инструментов управления. Тогда что же произойдет с законом о требуемом разнообразии? Ответ таков: мы можем создать генератор разнообразия в механизме управления, подобный тому, которым располагает природа для роста разнообразия как средства преодоления проблем управления.

Пока все хорошо, но теперь природа берет свой реванш. Если мы, управляющие, можем создавать очень большие множества из небольшого числа элементов, то то же может делать и природа. Посмотрите: мы заявляем, что нам необходимо 5 рецепторов для чтения 26 букв латинского алфавита. Представим себе тогда пять лампочек, которые могут зажигаться в любом порядке. (Первая горит, остальные выключены, две горят, три не горят и т. д.) Тот факт, что 5 рецепторов могут различать 26 букв, означает, что эти 5 лампочек могут создавать 32 комбинации, и, конечно, если мы хотим представить себе, что означает наше окружение, то должны понимать то, чем оно располагает. Тогда если ваш внешний мир располагает всего 40 лампочками, то из предыдущего мы знаем, что можем встретиться с триллионом разных состояний. Верно, что нам, чтобы разобраться в них, необходимо всего 40 информационных попыток — ситуация совершенно симметричная. Но мир состоит не из сорока лампочек, а из миллиардов вещей и событий.

Если вас фактически интересует  $n$  вещей и событий, каждое из которых в данный момент либо "вспыхнуло", либо нет, то такой мир предстает перед нами в одном из  $2^n$  возможных состояний  $n$  вещей. Поняв, сколь стремительно нарастает такая функция, начинаешь осознавать, что создается весьма незавидная перспектива. Но если мы хорошо умеем создавать управляющие механизмы, то такая перспектива нас не очень пугает, поскольку это означает, что необходимо такое число рецепторов, сколько насчитывается событий или вещей. Эти  $n$  рецепторов создадут  $2^n$  разнообразий на сенсориуме. Моторная система сведет  $2^n$  состояний к возможным конкретным действиям. Мы, таким образом, сохранили требуемое разнообразие. Однако вспомним приведенный ранее аргумент: если вещей или событий больше, чем рецепторов, которые их распознают и сообщают о них системе управления, то мы не можем все их определить. И здесь мы вновь сталкиваемся с законом о требуемом разнообразии. В любой данный момент нас будет касаться лишь то, о чем мы знаем, и не больше, а его разнообразие равно  $n$ . Разнообразие  $n$  создает  $2^n$  состояний, но наши процедуры выбора позволяют нам с этим справиться с помощью  $n$  процедур распознавания или  $n$  процедур выбора, т. е. именно с тем их числом, которым мы располагали по определению. Но беда начинается, когда необходимо предпринимать какие-то действия.

Мы уже упоминали, что входные и выходные устройства симметричны и подчиняются закону о требуемом разнообразии. Это требование в равной мере распространяется как на входы, так и на выходы устройства. Реальная проблема управления, которую

необходимо решать мозгу, сводится к проблеме сопоставления положения на входе с положением на выходе, с помощью анастомотик ретикулума. Если разнообразие возникающей перед нами ситуации равно  $n$ , то разнообразие на сенсориуме равно  $2^n$ . А если по закону о требуемом разнообразии необходимое число действий составляет  $n$ , то разнообразие на моторной плате будет также  $2^n$ . Каково же тогда разнообразие *внутри* сети, соединяющей сенсорную и моторную платы? Оно равно числу возможных комбинаций  $2^n$  из  $2^n$ , т. е.  $(2^n)^{2^n}$ . Это утверждение проясняет рис. 9.

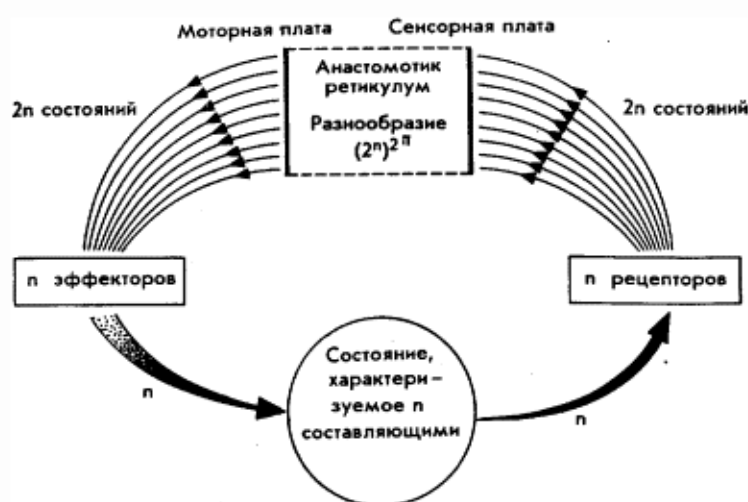


Рис.9

Если до этого мы рассуждали спокойно, то теперь пришло время поднять настоящую тревогу. Дело в том, что числа такого вида немыслимо велики. Следует понимать, как это получается. Уже объяснялось, почему  $n$  разнообразий создают  $2^n$  состояний на сенсориуме. Объяснение достигалось по мере демонстрации того, как с целью поиска решения разнообразие разделялось пополам. Каждый доступный нам вариант выбора удваивает разнообразие. Начав с единственной возможности, мы позволяем создавать альтернативу: 0 или 1. При повторении этой процедуры 0 создает снова либо 0, либо 1, а единица — тоже 0 или 1 и т. д.

Рассмотрим черный ящик всего с двумя входными и двумя выходными величинами. На обеих его сторонах — сенсорной и моторной — при  $n=2$  генерируется  $2^n = 2^2=4$  состояния: 00, 01, 10, 11. Сколько же будет соединений? Ответ таков — моторное разнообразие (4) увеличивает мощность сенсорного разнообразия (4) в  $4^4$  раза, а именно в 256 раз.

Как может показаться, в это трудно поверить, поскольку мы начали всего с двух двоичных входных и двух двоичных выходных величин. Но рассмотрим одно из четырех возможных выходных состояний, скажем 00. Оно может быть, а может и не быть зарегистрировано как одно из четырех выходных состояний. Обозначим одно из несостоявшихся соединений 0, а действующее 1. Следующая таблица демонстрирует возможные состояния системы:

	0000	0000	1111	1111	— 00
00	0000	1111	0000	1111	— 01 состояния
выход	0011	0011	0011	0011	— 10 на входе
	0101	0101	0101	0101	— 11

16 различных состояний

В этой системе вполне различимы 16 состояний, хотя рассматривалось лишь одно выходное состояние. Однако мы располагаем *четырьмя* выходными состояниями, в равной мере способными вызывать шестнадцать других состояний внутри системы. Общее взаимодействие входных и выходных состояний дает общее разнообразие системы  $16 \times 16 = 256$ . Как говорилось, используемая здесь формула  $4^4$ , а поскольку каждая из этих четверок есть  $2^n$ , где  $n = 2$ , то ясно, почему мы ранее записывали наш результат как  $(2n)^{2n}$

Почему же нам пришлось так подробно в этом разбираться и почему мы заговорили об этом с тревогой? Ответ состоит в том, что любая система управления генерирует столь большое разнообразие, используя этот механизм, что буквально нет никакой возможности его проанализировать и, следовательно, нет способа (как кажется) соединения анастомотик ретикулума. "Буквально" здесь сказано точно — задача кажется научно неразрешимой, не говоря уже о ее бесконечно большой размерности. Если это так, то не следует и надеяться, что в один прекрасный день появятся достаточно мощные и быстродействующие компьютеры, позволяющие решать задачи, которые решить нельзя. Факты надо признавать, они таковы.

Рассмотрим наименьший "мозг", которым стоило бы располагать, чтобы справиться с управлением сложной ситуацией в реальной жизни любой фирмы. Окружающая ее среда характеризуется числом разнообразия ее состояний, не так ли? Если представить себя или нашу фирму в окружающей среде с разнообразием, равным  $n = 300$ , то это, конечно, не так уж и много. Такая оценка весьма консервативна. На многих фирмах больше 300 работающих, более 300 станков, более 300 наименований выпускаемой продукции, более 300 клиентов. Для обстановки с разнообразием всего в 300 разнообразие на сенсорной и моторной платах составит  $2^{300}$ . Анастомотик ретикулум, необходимый для соединения этих плат должен обладать разнообразием  $(2^n)^{2^n} = (2^{300})^{2^{300}}$ . Измеряя его в битах (поскольку это самая естественная мера для использования в случаях принятия решения), получаем  $300 \times 2^{300}$  бит, что примерно равно  $3 \times 10^{92}$  бит. Такова мера неопределенности в выбранной нами ситуации на фирме, которой не более 300 входных и 300 выходных величин, каждая из которых находится всего в двух состояниях.

Следующий довод, которому мы обязаны Бремерманну<sup>1</sup>, вытекает из физики. Как следует из квантовой механики, есть нижний предел точности, с которой может быть измерена энергия. Это означает наличие постоянной и предельной степени неопределенности материи. Согласно принципу Гейзенберга любая попытка улучшить точность измерения приводит к тому, что погоня за точностью изменяет состояние вещества. Количества здесь малы, но они сильно сказываются на свойствах вещества. Бремерманн приложил этот принцип к 1 г вещества в 1 с и показал, что нижний предел точности измерения материи определяет верхний предел ее информационных возможностей. Ниже этого предела нули будут приниматься за единицы и счет станет произвольным. В течение 1 с, пишет он, 1 г типичного вещества не сможет справиться

более чем с  $2 \times 10^{47}$  битами информации. Конечно, никто не использовал грамм вещества для передачи столь огромного количества данных — микроминиатюризации еще далеко до этого. Как он утверждает, даже в конце технологического прогресса нельзя будет, используя 1 г вещества, передать более  $2 \times 10^{47}$  бит информации в 1 с, поскольку они начнут искажаться согласно принципу неопределенности Гейзенберга. Так Бремерманн приложил закон о требуемом разнообразии к самой материи.

Такое число выглядит огромным, и действительно мы приступаем к определению мощности растущего с огромной скоростью числа  $2^n$ , где  $n$  представляет собой 10 с 47 нулями. Более того, мы можем построить компьютер массой более 1 г и использовать его дольше чем 1 с. Но даже люди, привыкшие иметь дело с экспоненциальными процессами, могут изумиться следующему доводу. Предположим, мы используем всю массу нашей планеты Земля для постройки компьютера и заставим его работать в течение всей ее истории. Каким разнообразием будет располагать такая фантастическая машина? Что же, заявляет Бремерманн, в году, примерно,  $3 \times 10^7$  с, возраст Земли примерно  $10^9$  лет. Ее масса около  $6 \times 10^{27}$  г. Тогда такой сделанный из всей Земли компьютер за всю историю нашей планеты обработает  $(2 \times 10^{47})(3 \times 10^7)(10^9)(6 \times 10^{27})$  бит. А это составит около  $10^{92}$  бит.

Теперь ясно, почему я выбрал разнообразие  $n = 300$  для примера о мозге фирмы. За несколько абзацев до этого было показано, что ретикулярное разнообразие, которое может быть генерировано таким умом, при весьма консервативной оценке разнообразия такой фирмы составляет  $3 \times 10^{92}$  бит. Выяснилось также, что компьютер с массой нашей планеты за все время существования Земли при идеальном его состоянии и техническом совершенстве необходим для расчета состояний совсем небольшой фирмы.

Состояние фирменной среды, как и состояние всего человеческого организма, располагает разнообразием, значительно превышающим 300. Даже при самой ориентировочной оценке (исходя из того, что разнообразие на моторной плате должно быть равным на сенсорной) разнообразие живого мозга составит примерно

$$(2^{106})^{2 \cdot 10^7},$$

что с полным основанием считается самым большим числом среди серьезно обоснованных чисел. Если мы хотим действительно разобраться с разнообразием состояний фирмы, то, конечно, у нас нет никаких оснований полагать, что мозг фирмы нуждается в возможности справляться с разнообразием, меньшим, чем это. Мозг фирмы, как и мозг человека, потенциально может быть в стольких состояниях, что их никогда не удастся проанализировать или исследовать с учетом всех факторов — их немыслимо большое число. Информация должна тогда выдаваться постоянно миллиардами битов и серьезно контролироваться. Здесь уместно отметить и особо подчеркнуть, что не может и возникнуть вопроса о нахождении абсолютного оптимума поведения как для человека, так и для фирмы, поскольку нельзя проверить все альтернативы. Из законов природы следует, что это невозможно в принципе.

Отсюда сам по себе анастомотик ретикулум бесполезен. Нужно что-то предпринимать, чтобы управлять всей системой. Должен быть представлен рост разнообразия, его потенциал должен быть уменьшен и становиться все меньше и меньше, хотя нам неизвестен лучший способ его уменьшения. Нет даже разумного пути фиксирования и поиска информации в системе такого масштаба, не говоря уже о ее обработке на компьютере. Гейнц фон Форестер предложил графическую иллюстрацию проблемы подобного "запоминания". Он подсчитал размер таблицы, которая получится, если

перемножить все возможные цифры (всего только) до десяти на все другие возможные их комбинации (всего только до десяти). Он предложил также опубликовать результат в справочнике с размером страницы 21x28 см на бумаге нормальной толщины. Получится книга толщиной  $10^{15}$  см. И снова не математику трудно привыкнуть к такого вида экспоненте. Книжная полка, на которую можно было бы поставить такой справочник, была бы в 100 раз длиннее расстояния от Земли до Солнца. Как утверждает фон Форестер, библиотекарь, который бы бегал вдоль этой полки со скоростью света тратил бы полдня, чтобы достать нужный том.

Полное управление растущим разнообразием совершенно невозможно для человеческого ума или мозга фирмы. Однако как человек, так и фирма фактически работают. Для этого они уменьшают, они *должны* уменьшать разнообразие их бесчисленных состояний. Для этого мало веры в электронный компьютер. Вопрос в том, как такие системы спокойно и эффективно справляются с подобной задачей? Ответ таков: путем организации.

## Глава 4

### Организация немислимых систем

Исследуем в данной книге системы, немислимы в том отношении, что они слишком велики для анализа. Как только что было показано, наша планета — слишком малый компьютер для оценки всего разнообразия состояний даже относительно небольшой системы. Однако в природе полным-полно систем не меньшей сложности и активности, но природа живет и действует.

Так же, как лучшая географическая карта страны — сама страна, так и лучший компьютер естественных систем — сама такая система. Представьте себе море — оно уравновешено. Проходят приливы и бури, вся вода поднимается дыбом. Можно ли себе представить математическую программу для компьютера с релевантным входом для всех этих ситуаций, который бы подсчитал, что получится на выходе как функция волнения на море? Задача безнадежной сложности. Но ответ есть — волны, течение, воронки и брызги.

Посмотрим на биосферу — тонкую оболочку жизни, покрывающую нашу землю (или геосферу). От микроба до слона — здесь взаимодействуют все формы живого. В частности, они кормят друг друга. Мы, люди, не можем потреблять столько растительной пищи, чтобы поддерживать наши физиологические нужды, — слишком мал для этого наш химзавод по производству белка. И тогда мы поедаем животных, используя их как продукт питания. Но как велико разнообразие живого? Как поддерживается численность живого, чтобы хватило всем членам данной системы? Частичный ответ в самой разнообразии. Было подсчитано, что единственная пара растительной тли — капустный *arhis*, весящая 1 мг, при неограниченном питании и без помех ее размножению даст  $822 \times 10^6$  т ее массы за один сезон. Это в 5 раз больше массы всего человечества. Почему же мир не наводнен тлей, червяками и им подобными?

Все дело в том, что экологическая система — система самоорганизующаяся. Она *сама* — огромная счетная машина, дающая правильные ответы (или почти правильные, если учесть эпидемии, голод и т. п. бедствия). Но у нее нет программы, планового отдела, разрешения на размножение, бюрократии. Она только работает. Мы, разумные люди, вмешиваемся в эту систему, нарушаем ее равновесие в собственных интересах. Так, например, мы увеличиваем урожайность или продуктивность скота. Мы

обращаемся с ней на "нижнем уровне" ее жизни, как боги, стоящие над системой, забывая о том, что мы сами часть ее целого. В результате мы можем весьма эффективно управлять плодородием, размножением *Pasteurella pestis* — бациллами, которые вызывают бубонную чуму, но не управляем ростом собственного вида — *Homo sapiens*. Мы видим, что наши коровы сыты, но не наши братья — почти половина человечества.

По-видимому, в естественных системах есть способность к самоорганизации, есть тот огромный "разум", действующий методами, которых мы до сих пор толком не понимаем. Можно считать, что природные системы не оптимальны в математическом смысле. И дело тут не в мощности счета, поскольку нельзя считать с такой скоростью, чтобы оценить все возможные результаты и выбрать "наилучший" вариант исходя из какого-то критерия. Вместо этого тут действует механизм, подбирающий подходящие модели организации в смысле способности выживания.

Здесь мы должны ввести два термина и дать **их** определение, чтобы разобраться в только что поднятой проблеме. Первый из них — *алгоритм*. Алгоритм — это метод (или механизм), который предписывает, каким образом достичь поставленной цели. Типичный план полета самолета — это алгоритм. Инструкция: "Повернуть на перекрестке налево, повернуть направо на следующем, выехать на улицу Красного льва и мой дом будет в 120 метрах справа" — тоже алгоритм. Метод извлечения квадратного корня — тоже алгоритм, как и программа работы ЭВМ. Последнее очень важно, поскольку нам предстоит разобраться в некоторой путанице относительно возможностей компьютера. Компьютер может делать лишь то, что ему точно указано. Программист, следовательно, должен точно написать алгоритм, который бы точно определил работу компьютера в наборе имеющихся в нем данных и команд.

Другой термин, который нам понадобится, — *эвристический*. Это не столь часто употребляемое имя прилагательное означает "обеспечивающий открытие", нередко превращается в имя существительное при переходе от эвристического метода к "эвристике". Эвристика определяет метод поведения, помогающий достижению цели, но который не может быть четко охарактеризован, поскольку мы знаем, чего хотим, но не знаем, *как* этого достичь, *где* лежит решение. Предположим, Вы хотите достичь конусообразной вершины горы, закрытой облаками. У нее есть высшая точка, но у Вас нет точного маршрута. Указание "продолжайте подъем" приведет Вас к вершине, где бы она ни была. Это эвристика. "Смотри за пенсами, а фунты сами о себе позаботятся" — эвристическое указание "как стать богатым".

Эвристика предписывает общие правила для достижения общих целей и в типичных случаях не предписывает точного маршрута к обозначенной цели, как это делается в случае алгоритма. Прежде всего число маршрутов к вершине горы огромно и не столь уж важно, какой из них использован (хотя, может быть, другой и короче, чем все остальные).

Эти два термина — весьма важные понятия в кибернетике, поскольку когда дело идет о немых системах, то, как правило, невозможно составить полную спецификацию всех целей, а тогда нельзя и написать алгоритм. Но обычно не так уж трудно составить классификацию целей, так чтобы двигаясь в общем направлении, улучшить свое положение (по определенному критерию) по сравнению с первоначальным. Отдавать предпочтение эвристическим методам перед алгоритмическими — это средство справиться с растущим разнообразием. Вместо того, чтобы пытаться организовать все детально, вы организуете лишь часть, после чего динамика системы вынесет вас туда, куда Вы стремились.



Эти два способа организации управления системой большого разнообразия в жизни весьма различны. Удивительно то, что мы склонны жить каждодневно эвристически, а проверять и управлять своими действиями — алгоритмически. Наше главное предназначение — выжить, сохранить себя, однако мы точны в деталях ("выезжайте поездом в 8.45", "требуйте повышения"), когда дело идет об общих и неясно выраженных целях. Конечно, нам нужен алгоритм, чтобы жить в нашем синхронизированном мире; и нам необходима также эвристика, но мы редко отдаем себе в этом отчет. Происходит это потому, что наше образование организовано вокруг анализа деталей; мы не понимаем суть вещей (так обучены), пока не уточним их *инфраструктуру*. Об этом уже говорилось при обсуждении функций преобразования, а теперь вновь на этом нужно останавливаться в связи с рассмотрением целей. "Знай, к чему стремишься, и организуйся так, чтобы этого достичь" — таков должен быть наш лозунг, как и лозунг фирмы. Однако мы не знаем нашего будущего и весьма приблизительно представляем себе то, к чему стремимся сами, как и наша фирма, и мы недостаточно глубоко понимаем наше окружение, чтобы уверенно манипулировать событиями. Предполагается что птицы возникли из рептилий. Почему, к примеру, ящерица решила научиться летать? Если так, то каким образом она поменяла свой генетический код, чтобы у нее выросли крылья? Стоит только сказать такое, чтобы признать его несерьезность. Но птицы в этот вечер летят и летят мимо моего окна. Так случилось потому, что сработала эвристика, пока мы, как всегда, кусали карандаш, намереваясь написать алгоритмы.

Недопонимание роли эвристики в больших системах заставляет глубже задуматься о компьютере. Сам компьютер можно анализировать, можно понять в деталях, мы же его сами сконструировали к концу концов. Мы уже заявили, что компьютерная программа у принципе — алгоритм. Надо, следовательно, понять, где эвристика вступает в область компьютера. Необходимость в этом возникает. во-первых, как только компьютер начинает воспринимать поступающую в него информацию. Если мы знаем, что делать с входными данными, например подсчитать средние значения ряда цифр, чтобы получился результат на выходе, то здесь нет никаких затруднений. Это означает, что система нам понятна, а алгоритм  $x/n$  (который означает: сложи все цифры и раздели их на их число) решает задачу. Все очень просто, поскольку мы точно обозначили цель, систему и алгоритмы и тем самым сдерживаем рост разнообразия. Но когда дело идет о том, чтобы связать многомерный вход с многомерным выходом, то у нас появляются все основания прибегнуть к анастомотик ретикулум. Теперь компьютер должен быть запрограммирован так (т. е. должен быть обеспечен алгоритмом), чтобы был соответственно организован ретикулум, но это можно сделать, только зная конечную цель.

Здесь и возникает очень деликатная проблема: если цель нельзя представить во всех деталях, то нужно прибегнуть к эвристике, и тогда компьютер должен быть снабжен алгоритмом эвристической природы. Трудность тут принципиальная. Допустим, мы заявляли: "Компьютер должен обучаться на собственном опыте, как учатся люди". Обучаться чему? Мы не знаем ответа, мы просто считаем, что компьютер через некоторое время должен найти методом проб и ошибок такой курс действий, который даст лучший результат управления. Но *мы должны* сказать, какой результат лучше и какой хуже, а компьютер должен определить лучшую, чем уже известна, стратегию, лучшую систему управления. Конечно, он может это сделать, поскольку его алгоритм (то, что запрограммировано) эвристический, по определению. Немного измените решение, которое Вы ранее использовали, — подсказывает алгоритм, — и сравните результат с предыдущим. Если этот алгоритм обеспечивает большую прибыль или удешевляет производство, или чем-то иным устраивает нас, то принимайте его. Так и

продолжайте, пока не достигнете такого положения, при котором любой вариант даст худший результат, чем раньше. Тогда придерживайтесь этой стратегии до тех пор, пока ситуация не изменится, после чего Вы сможете вновь искать лучшую стратегию, рассмотрев ее новые варианты.

В этом простом, бесхитростном примере, который и ребенку понятен, и заключается секрет этого, по существу биологического, процесса. Мы прорвались через барьер, который был создан консервативным мнением 2000 лет тому назад между живыми и механическими системами управления. В этом суть барьера между алгоритмическими и эвристическими моделями управления. Если воздержаться от мистически-сентиментального подхода к природе ("неправда ли, как она умна!"), то станет видно, что природа всего лишь использует свои алгоритмы, чтобы подчеркнуть эвристическое начало. Генетический материал является алгоритмическим: молекулы ДНК — хранители сложного определенного кода. Так потомство строится по заданным "чертежам". Но в этом коде записаны вариации и мутации, и поэтому потомки располагают рядом возможных чертежей. Тогда, говоря другим языком — языком экологии, выносится приговор относительно "преимуществ" данного потомка. Вариант, достойный сохранения, выживает, при этом вариации и мутации, которые определяют его преимущества, закрепляются, а мутации, обуславливающие недостатки, истребляются. Генетическая эвристика работает в направлении к неизвестной цели — созданию форм жизни, способных выживать в обстоятельствах, которые слишком сложны для анализа, используя приемы, для оптимизации которых еще не создан компьютер.

Существует несколько важных постулатов относительно эвристических методов управления. Их стоит тщательно рассмотреть и оценить. Поэтому с риском испортить их краткостью, я сформулировал 13 следующих постулатов для тщательного их усвоения.

1. Эвристика ведет нас к цели, которую мы не в состоянии ясно выразить и, возможно, узнать, сумев ее достигнуть. Алгоритм (типа "чтобы достичь высшей точки, попытайтесь сделать по одному шагу во всех направлениях и передвиньтесь к следующей более высокой точке") определяет эвристическое условие выработки правильной стратегии. А суть стратегии такова: "лучшее — подниматься из данного места, пока есть куда, затем переместиться выше". Но такой маршрут нельзя выработать заранее.

2. Если мы обеспечим компьютер эвристическим алгоритмом и подождем, пока он выработает стратегию, то обнаружим, что компьютер создал стратегию, превышающую наше понимание. Такое вполне возможно, поскольку компьютер осуществляет свои пробные шаги значительно быстрее, систематичнее и точнее, чем можем мы с Вами, без остановки на развлечения и отдых и не забывает результатов. Это похоже на человека, постоянно играющего в шахматы и запоминающего все, чему он научился в каждой партии. Можно предполагать, что он обыграет такого любителя, как мы с Вами.

3. Но если так, то пришло время признать смысл, в силу которого человек изобрел машину, "более умную", чем он сам. Такая мысль неприятна, даже, тревожна и кажется самоудовлетворенному человеку несерьезной на том основании, что "мы указали машине, что ей делать". Но поразмышляйте над этим. Если машина вырабатывает стратегию, лучшую, чем можем сообразить мы, и если мы не можем понять, почему она лучше, хотя и признаем это, то слабым утешением служит то, что мы научили ее эвристическим трюкам с помощью алгоритма. Учитель Эйнштейна в начальной школе

был точно в таком же положении. (Над последними двумя фразами стоит поразмыслить.)

4. Утверждение, что "компьютер может делать только то, что мы ему приказали", верно, но весьма обманчиво. Этим предполагается, что мы должны оставаться слабоумными рабами наших изобретений. Верно, мы приказали компьютерам учиться, предоставляя им тренировочный алгоритм, но они учатся быстрее, эффективнее нас и должны превзойти наши возможности в создании эвристического управления.

5. Заявление, что результат деятельности компьютера настолько хорош, насколько хорош ввод, суммирован в поговорке *garbage in, garbage out* — мусор на входе — мусор на выходе, и справедливо для алгоритмов, определяющих алгоритм, но не для алгоритмов, определяющих эвристику. Дело в том, что легче указать (алгоритмически) компьютеру поставить под *сомнение* (эвристически) результат его работы — проверить логичность результата. Покажем, как это делается. Если одна линия на входе вводит данные, которые не корректируются со всеми остальными введенными в систему, то, вероятнее всего, это скорее случайный сбой — шум, чем информация. Тогда эвристика может начать ослаблять влияние таких данных, действуя по стратегии управления входными данными. Если, например, на входе путается 0,9, то подозрительная часть такого ввода будет сверена со всеми другими данными на входе, в результате контроль улучшится, поскольку будет испытана подстановка 0,8 и т.д., пока весь этот "неверный" ввод не будет исключен совершенно. Обратите внимание: мы не обязаны понимать, как это делается, поскольку у человека слабая интуиция систематической корреляции, — мы можем вполне *уверенно считать*, что введение этой неверной цифры очень важно. А система исключила ввод этих данных как ложную информацию вполне самостоятельно.

6. Механизм, который мы используем в таком случае, представляет собой давно известный сервомеханизм, о котором говорилось раньше. Здесь цепь обратной связи корректирует ошибку с помощью сравнения действительного положения с идеальным. Эта разница измерима, но не в смысле выходных данных, преобразованных с помощью функции преобразования, а в смысле способности системы в целом улучшить результат ее деятельности, измеряемый на другом языке. Это язык, на котором мы указываем на необходимость увеличить или уменьшить значение результата, чего замкнутая система сама не может знать. Например, если результатом измерения системы является уровень прибыли, а система включает эвристический элемент, который допускает колебания прибыли, и она обучена тому, как ее уменьшить или увеличить, то, значит, ей необходимо "сказать", что большая прибыль лучше, а меньшая хуже. Сама по себе она может научиться лишь узнавать, какие жизненные события увеличивают прибыль, а какие ее уменьшают.

7. Кроме того, обратная связь сервомеханизма осуществляется не по заранее заданной функции преобразования. Она осуществляется благодаря *организации* черного ящика, в котором содержится функция преобразования. Иными словами, она экспериментирует соединениями в анастомотик ретикулуме. Возникает эффективная структура, которая уменьшает возможное разнообразие состояний системы.

8. Хотя пп. 6 и 7 позволяют лучше понять роль сервомеханизма, но они не меняют математических зависимостей, определяющих его устойчивость. Поэтому сохраняет силу вывод (см. гл. 2), что обратная связь становится главным фактором работы системы. Все зависит от критерия на другом языке (см. выше п. 6), позволяющем системе решить, чему ей учиться, а чему нет.

9. Теперь предположим, что система управления становится настолько эффективной и обучилась настолько хорошо, что стала умнее нас с Вами. Возможно, мы не стали теперь достаточно умными, чтобы обозначить на другом языке критерии, которыми она должна руководствоваться теперь. Мы уже не в состоянии понимать, в чем суть этих критериев. В таком случае должна присутствовать *вторая* система управления, использующая результат (выходную величину) первой Системы как величину на своем входе и работающая иначе: Эта высшего порядка, другого языка, система станет экспериментировать с колеблющейся выходной величиной первой системы и давать новую выходную величину (результат) по иному критерию. Ее сигнал обратной связи (сравненный с иным критерием) определит смысл того, что вкладывается в слова "лучше" или "хуже" для первой системы. Например, первая система могла бы управлять производством всего предприятия, выпускающего большее или меньшее количество разной продукции. Вторая система стала бы оценивать ее деятельность исходя из спроса рынка, подсчитывать результат (на ее выходе) как прибыль и сообщила бы первой системе, обучаться ли ей стратегии увеличения или уменьшения производства каждого из выпускаемых товаров.

10. Но критерий прибыльности, в свою очередь, может быть не очень ясным. Человеческий ум склонен отказываться от эфемерной попытки сравнивать краткосрочную и долгосрочную прибыльности. Краткосрочная, максимально прибыльная стратегия может подорвать репутацию фирмы и привести ее к банкротству. Ясно тогда, что вторая система нуждается в *третьей* системе, которая бы оценивала систему на языке еще более высокого порядка и сообщала бы о том, что считать большей или меньшей прибылью. Эта третья система проводила бы эвристические эксперименты с экономическими оценками второй системы.

11. Этот довод остается справедливым до тех пор, пока иерархия систем и уровни их языков не достигнет некоторого, предельного критерия. Что же это за критерий? Им может быть только *выживаемость*. Фирма (как и человек) поступает так, чтобы получить вознаграждение, прибыль, чтобы был стимул действовать дальше и дальше, чтобы по возможности расширить область своей деятельности, чтобы ... продолжить свое существование.

12. И то, что справедливо для фирмы и современного поколения управляющих, что справедливо для данного человека (сына своего отца), становится верным для фирмы, как ее непрерывное вечное движение, как и движение всех людей, отцов и их сыновей. Иначе говоря, современный процесс подготовки кадров есть процесс эволюционной их подготовки к будущим технологическим эпохам.

13. Тогда, если мы говорим, что эвристика организует систему так, чтобы она *училась* путем проверки новых вариантов стратегий управления ее деятельностью, то в равной мере можно сказать, что эвристика организует целое семейство *развивающихся* систем путем испытаний новых мутаций в своей генетической стратегии<sup>1</sup>. Цель всего этого процесса — *приспособляемость* — одна для всех систем.

Все это может звучать слишком общо, но это не так. Мы, возможно, должны привыкнуть мыслить по-новому. Это не так уж трудно, если понять, в чем отсталость нашего сегодняшнего мышления. Фактически мы должны мыслить свободно, иначе компьютеры не смогут управлять событиями; мы должны мыслить широко, иначе нам не справиться даже с вредителями растений. Короче говоря, механизмы природы просты, но нужны подходящие способы их объяснения. Главное, в случае систем управления природой мы должны чувствовать себя совершенно свободно при обращении с общими понятиями метаязыка. Греческая приставка *meta* означает

"высший", тогда и метаязык есть язык более высокого уровня, чем используемый для обсуждения тех предложений, которые записаны языком низшего уровня.

В логике основание для существования метаязыков глубже. Можно показать, что фактически любой логический язык должен содержать утверждения, справедливость или ложность которых не может быть разрешена в рамках того же языка. Логические парадоксы — тому известные примеры<sup>1</sup>. Поэтому подобные утверждения должны обсуждаться на метаязыке такого уровня, который позволяет понять, что в них парадоксального. Но в нашем случае нет нужды разбираться в логических обоснованиях. Достаточно понять, что если мы строим машину или пишем программу для компьютера, то в данной системе используется язык, на котором нельзя объяснить все.

Это похоже на разговор с маленьким ребенком, язык которого ограничен. Есть вещи, которые нельзя ему объяснить на его собственном языке, и не только из-за ограниченности его словарного запаса — ведь можно объяснить ему значение нового слова, а потому, что ему также не хватает структуры речи, т. е. *синтаксиса* — правил построения фразы. Мы пытаемся убедить его в том, что следует и чего не следует делать. "Почему?" — спрашивает он, и после нашего первого ответа вновь "почему?". Мы стараемся объяснить ему это на его собственном языке. Можно видеть, что это не всегда удается только потому, что его язык неадекватен, тогда мы заявляем "потому, что я так сказал" — мы перешли на метаязыковое заявление. (Кстати, верно ли утверждение, что мы можем определить значение новых слов на существующем языке? А если нет, то в случае, когда мы должны показать вещь как часть определения, не означает ли это, что мы исчерпали обычный язык и таким образом заменили его метаязыком? Размышление над подобными вопросами весьма полезно для овладения новыми концепциями.)

После такой преамбулы давайте изобретем теперь простую машину, выполняющую эвристические функции. Сенсорная сторона ее состоит из деревянного бруса, на котором укреплены две медные пластины А и В. Как видно на рис. 10, они изолированы друг от друга.

<sup>1</sup> О причинах возникновения парадоксальных ситуаций см. и списке литературы мою книгу *Cybernetics anil Managemrnt* , гл.8-

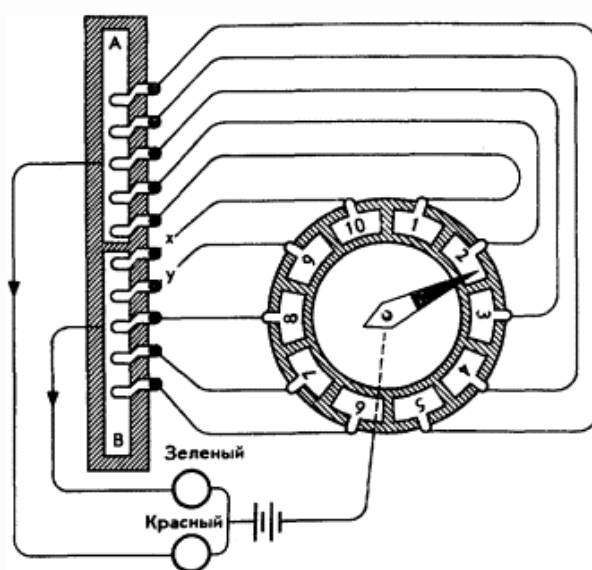


Рис.10

Приемная (рецепторная) часть прибора состоит из десяти постоянных оконечных устройств (черные точки), которые зажимами соединены с медными пластинами — по пять на каждую. Внешний импульс (входной) поступает по десяти проводам, идущим от рулетки с десятью делениями, которая представляет внешний мир. Если раскрутить рулетку, то рецепторная система узнает, что внешний мир принял одно из десяти значений — от 1 до 10. Теперь вступает в действие двигательная (эфферентная) часть прибора. У нее два эффектора (исполнителя) — провода, идущие от А и В к двум лампам — красной и зеленой. Одна из них должна загореться, но какая, нам неизвестно. Если мы будем вращать рулетку, то, очевидно, в среднем каждая из них загорится в половине случаев.

Такое описание прибора дано на машинном языке. Все утверждаемое проверяется через структуру самого прибора. Мы можем использовать этот язык, чтобы заявить, что у красной лампочки вероятность загорания составляет 50% и у зеленой тоже 50%. Прибор может "понять" такое заявление, поскольку оно вытекает из его собственной структуры. Но нет способа утверждать на этом языке, что красный цвет чем-то предпочтительнее зеленого или наоборот. Поскольку дело идет о приборе, такое заявление ни верно, ни ложно. Оно не проверяется ничем. Оно совершенно бессмысленно. Этого нельзя сказать на языке самого прибора.

Тут кстати будет ввести оператора, говорящего на метаязыке один, назовем его Мета-1. Это язык, созданный для того, чтобы говорить о цвете и эмоциях, вызываемых цветом. Оператор заявляет: "Мне нравится красный, но не нравится зеленый". Он не понимает, как действует наглухо закрытый прибор, он не может вмешиваться в природу, т. е. во вращение рулетки. Он считает, что хотел бы научить прибор зажигать красную лампочку, а это похоже на дрессировку собаки выполнять его команду. Он не может объясняться на языке прибора, а прибор не понимает его языка. Тогда он объясняется с прибором с помощью *алгедонической цепи*. Это еще один новый термин, требующий объяснения.

Дрессировщик и его собака в том же положении, что и оператор, говорящий с прибором на языке Мета-1. Дрессировщик собаки не понимает, "как работает собака", а собака не понимает человеческой речи. Дрессировщик, следовательно, как-то стимулирует собаку и наблюдает за ее реакцией. Реакцию собаки можно менять наказанием или наградой. Это влечет за собой изменения порядка соединения в анастомотик ретикулум. Конечно, здесь речь не идет о внесении переключателей нервных окончаний в мозг собаки. Это означает только, что новый порядок выходной реакции как-то ассоциируется с заданным порядком на входе.

Поначалу собака произвольно реагирует на стимулы. Но дрессировщик тогда пытается исключить ненужную ему реакцию резким выражением ее нежелательности (????? — *algos* означает «страдание») или подкрепить реакцию, которую он одобряет, путем награды (????? — *hedos* означает «радость»). Такая деятельность создает алгедонический режим связи между двумя системами, которые не говорят на языке друг друга. Дрессировщик использует алгедоническую цепь, которая переводит Мета-1 в язык прибора. В дело включается новый рецептор прибора, алгедонический рецептор, который изменяет все внутреннее состояние прибора.

Следовательно, в предлагаемой нами модели прибора необходимо предусмотреть алгедонический рецептор, с помощью которого оператор, говорящий на языке Мета—1, может общаться с прибором. Он состоит из двух переключателей, которые могут двигать деревянный брус вверх или вниз вертикально, как показано на рис. 10. Пусть теперь он двигается вместе с пластинами А и В, но контакты, идущие от рулетки,

остаются на месте. Красный свет, который нравится нашему оператору, зажигается от пластины А. Чтобы заставить прибор светить красным светом, мы должны сказать оператору, чтобы он нажал переключатель с надписью "награда". При этом брус с пластинами передвинется на 1 шаг, а контакт, помеченный буквой х, переместится на пластину А. (Напомним, что контакты остаются неподвижными). Тогда 50%-ная вероятность нарушится и изменится, скажем, в соотношении 60: 40 в пользу красного света. Если тем не менее зажжется зеленый свет, прибор должен быть наказан. Оператору в этом случае говорят, чтобы он нажал на переключатель "Наказание". (Оба переключателя сдвигают брус на 1 шаг вниз, но никто, кроме нас, этого не знает.) Теперь контакт у тоже попадет на пластину А, а вероятность загорания красной лампочки составит 70%. Очевидно, что алгедоническая цепь заставляет прибор адаптировать его поведение в пользу красного света, поскольку таково было решение на языке Мета-1. Прибор не знает, чем обусловлено такое его поведение, а оператор также не знает, каким способом это достигается. А мы знаем, поскольку нам известно все о складывающейся ситуации. Если бы мы этого не знали, то тоже бы удивились, как и большинство людей, фактически наблюдавших работу прибора.

Однако прервемся на время. Почему оператор, говорящий на языке Мета-1, предпочитает красное зеленому? Это, конечно, его психологическая особенность. Теперь предположим, что появляется другой человек, который оказывается начальником оператора. Этот человек смотрит на получаемый эффект зажигания ламп двух цветов по-другому. Он считает, что когда загорается зеленый свет, то некто выдает ему 10 фунтов; а когда загорается красный, он должен заплатить 10 фунтов штрафа. Поначалу он пытается объяснить это оператору, говорившему на языке Мета-1: "Изменяйте Ваше предпочтение на зеленый. Я знаю, как заработать на этом, и я поделюсь с Вами". Но оператор этого не понимает. Он говорит на Мета-1, эстетическом языке, он ничего не слышал и не хочет знать о деньгах. Но его начальник говорит на языке Мета-2. Как **ему** донести свое пожелание, выраженное на Мета-2, оператору, говорящему на Мета-1? Ему также понадобится алгедоническая цепь, соединяющая его с оператором, если он не располагает временем работать за оператора.

Соответственно человек N 2 говорит человеку N 1: "Вы отвечаете за прибор. Я уезжаю за границу; но я фиксирую все загорания ламп красного и зеленого цветов. Если по возвращении я обнаружу, что красный цвет преобладает, то будете заменены другим человеком и потеряете хлеб и кров". Заметьте бесполезность попытки говорить о деньгах с оператором на Мета-1, на эстетическом языке, как и о прибыли, поскольку смысл этого понятия известен только среди говорящих на языке Мета-2. Эта вторая алгедоническая цепь переводит язык Мета-2 в Мета-1, а Мета-1 может быть переведен на язык прибора с помощью первой алгедонической цепи.

Если все это так и произойдет и оператор подчинится, то процедура операции станет обратной. Оператор по-прежнему не знает, как работает прибор, и еще меньше теперь. Он также не знает, в чем преимущество зеленого света, поскольку это противоречит его "вкусу". Все, что он знает, выражено на одном языке, который он понимает, на Мета-1, а именно: что будет лучше, если в конце концов для его цветовосприятия начать тренировать прибор зажигать зеленую лампочку. Чтобы этого добиться, он должен нажимать кнопку "награда" всякий раз, когда загорается зеленая лампочка, а алгедонический рецептор организован так (как и переключатель "Наказание" в случае зажигания красной лампочки), чтобы при зеленом свете деревянный брус двигался *вверх*.

Здесь вспоминается старая история. Давным давно два философа обсуждали человеческую жадность. Они посчитали, что человека можно убедить заниматься совершенно бесполезным делом за подходящую награду. Для проверки они позвали одного из своих учеников и сказали ему, что в соседней комнате находится ящик с управляющим устройством и что назначение этого ящика в том, чтобы зажигать красную или зеленую лампочку. "Мы будем давать тебе 10 фунтов, — сказали они, — всякий раз, как загорится зеленый свет, но ты нам вернешь столько же, если загорится красная лампочка". Они говорили с ним, конечно, на языке Мета-2, поскольку это был его язык, но в действительности они использовали алгедоническую цепь. Ученик, конечно, не знал, что испытывается его собственная жадность, он не говорил языком, на котором жадность обсуждалась философами, назовем его Мета-3.

Подобные примеры можно приводить до бесконечности. Дело тут в том, что эвристические методы определены в рамках определенного режима, устанавливающего пределы и критерии поиска. А если эти рамки сами эвристические, то и они требуют рамок и т. д. до бесконечности. В некоторой точке будут достигнуты те рамки, которые с точки зрения самой системы должны быть объявлены абсолютными. Это нельзя доказать строго логично, но во всех практических случаях так оно и делается. Следовательно, все конечные системы ограничены и некомплектны. Мы сами, наша фирма, наша экономика — все страдают от такого ограничения. Согласно этому мы должны и обязаны понимать, что лучшая возможность перемены, направленной на достижение более успешной адаптации, лежит в реорганизации иерархии команд. Мы не можем побороть подобное ограничение, но можем менять его форму, о чем подробнее будет сказано в следующей главе.

Тем временем давайте вернемся к нашему адаптивному прибору. Мы уже знаем, как должна меняться вероятность функции преобразования за счет алгедонической цепи обратной связи, чтобы одна из цветных лампочек зажигалась чаще другой. Если внешняя среда системы, находящаяся на более высоком уровне, меняет свое намерение относительно полезности красного или зеленого результата, то и прибор будет следовать такому изменению. Но если рассматривать предельный случай, когда окружающая среда требует только красного цвета, то и прибор неизбежно к этому адаптируется, как только все десять его контактов переместятся на одну пластину. Это аналогично сверхспециализации в ситуациях биологической эволюции. Система настолько хороша, насколько полно приспособилась к окружению, но в случае его внезапного и грубого изменения система теряет свою гибкость, необходимую для адаптации. Мы можем, конечно, перестать поощрять ее и попытаться "наказывать", но контакты уже "прикипели".

Такое состояние дел высвечивает необходимость в постоянной заботе о наличии *ошибки* (как мы ее обычно называем) в любой обучающейся, адаптивной, эволюционной системе. В экспериментальном варианте прибора, который я сам построил, два из десяти контактов не исполняли команд — один всегда зажигал красный, а другой — всегда зеленый свет. Тогда, в случае полной адаптации к красному, прибор ошибался в 10% случаев, зажигая зеленый свет. Ошибка, конечно, велика, но если мы располагали бы 100 контактами, то ошибка свелась бы к 1%. Важный вывод заключается в том, что мутации в получаемом результате всегда должны позволяться. Ошибка, контролируемая на разумном уровне, не есть абсолютный порок, как нам внушают. Наоборот, она является предварительным условием выживаемости. Немедленно вслед за сменой окружающей обстановки в сторону предпочтения зеленого света вступает в действие шанс, обуславливающий



появление зеленого результата, и начинается движение в сторону адаптации к новому требованию. Импульс, вызванный ошибкой, заставляет цепь алгедонической обратной связи подстроиться и быть готовой признать необходимость перемены.

Хотя это наше утверждение возникло явно из рассмотрения биологических фактов для живых систем и хорошо иллюстрируется нашим прибором, его не понимают многие управляющие. В фирме любая ошибка предается анафеме. Этим не утверждается, что ошибку нельзя допускать. Но она встречается враждебно, без учета того, что и она имеет цену сама по себе. Проницательный управляющий должен рассматривать любую ошибку, сделанную его подчиненными, как мутацию и поставить себя в положение восприимчивого к алгедоническому сигналу обратной связи, который порожден ошибкой. Однако в поведении управляющих наблюдается тенденция полностью сконцентрироваться на исправлении недостатка. Тогда ошибка системы потеряна как стимул к перемене, а сама перемена редко признается в этом духе. Прославляются всякие усилия управляющего, направленные на исправление ошибки, а не на извлечение из нее урока. В свою очередь, сами ошибки рассматриваются в основном как недостаток. Соответственно этому к моменту, когда необходимость в перемене действительно понята (по тем или иным причинам), люди ей сопротивляются, поскольку попытки ввести изменения автоматически увеличивают число ошибок на время, пока эта "мутация" проходит испытание.

## Глава 5

### Иерархия управления

Дискуссия, начатая в предыдущей главе, нуждается в продолжении. Она касалась эвристических методов, которые, как представляется, единственно способны организовать системы, названные нами немислимыми. Был показан принцип работы устройства управления ими. Это алгедоническая цепь, содержащая алгоритм, порождающий эвристику. Вместе с тем было показано, что необходимый для этого алгоритм можно составить только на метаязыке. Это означает, что необходимо наличие системы второго порядка, связанной и соединенной с первой своей алгедонической цепью. Процесс продолжается до тех пор, пока не образуется командная иерархия, а он может продолжаться бесконечно. Логически можно строго доказать, что вся система в целом требует бесконечного числа метаязыков; и нельзя завершить их создание. Тогда, следовательно, нам рано или поздно придется остановиться — без всякого логического основания — на наивысшей метасистеме как ее вершине.

Такой неутешительный вывод не представляет, однако, ничего большего, чем параллель с обычными фактами существования любой организации. В деловом мире отделы координируются подразделениями, подразделения координируются отделениями, а отделения — гигантскими корпорациями. Различные уровни такого управления в значительной степени автономны, а управление ими в основном осуществляется алгедонически. (Об этом подробнее будет сказано в ч. II.) Глава корпорации сам смотрит вверх, на метасистему, называемую отраслью промышленности, и выше, на метасистему, называемую правительством. Обе они связаны с его корпорацией алгедонической цепью. И хотя довольно просто предвидеть остальную иерархию вплоть до системы космического масштаба, на практике мы удовлетворяемся вышестоящим уровнем управления как конечным судьей наших дел. Никто из нас не в состоянии влиять более чем на одну или две системы выше нашей, и поэтому обычно мы принимаем алгедонический результат деятельности вышестоящего уровня как говорящий на языке "приказа".

Интересно начать анализ структур иерархического управления, задавшись вопросом о базисных решающих элементах, которые в общем случае формируют и отдают команды. Если рассматривать самую совершенную систему управления в природе — головной мозг человека, то элементарную ячейку управления можно представить в виде отдельной нервной клетки — нейрона. В промышленности или в правительстве, фактически в любой тесно связанной социальной группе, таким элементом является любой начальник, любой руководитель.

Как нейрон, так и руководитель призваны выполнять одну единственную фундаментальную роль — решать. В случае нейрона импульс может либо задействовать выходящий из него нерв (аксон), либо нет. Для управляющего фундаментальная задача тоже сводится к тому, чтобы сказать да или нет. Верно, что руководители не тратят всю свою жизнь на произнесение только этих двух слов; они могут вообще никогда их не произносить. Тем не менее в этом их роль, а замены, нюансы типа "могу посоветовать", "вероятно, Вам бы лучше ..." — принятые в обществе формы вежливо сказать да или нет.

Чтобы выбрать между да и нет, между 0 и 1, решающий элемент вынужден установить порог принятия решения. Можно представить, что он выдает сообщение 0 до тех пор, пока обстоятельства не заставят его сообщить о скачке в 1. Это будет разрешающий тип управления, при котором решающий элемент ничего не делает, пока обстоятельства не заставят его действовать. Он и не должен реагировать на всякий случайный импульс или шум, и это обстоятельство предопределяет необходимость в таком пороге. Сверхчувствительный нейрон быстро сведет с ума как человека, так и фирму. Когда что-то реально начинает происходить, решающий элемент накапливает тому свидетельства. Когда он убедится, что действительно произошло событие, требующее его действия, т. е. иными словами, когда сумма внешних импульсов достигла порога, он срабатывает.

Сказанное здесь может показаться мелочью. Но я искал описание, которое было бы общим и для руководителя, и для нейрона. И если все ранее сказанное имеет смысл, то можно перейти к общей теории систем, с тем чтобы описать порог чувствительности как функцию преобразования. Дан набор импульсов, которые, подчиняясь определенному критерию, преобразуются в 0 или 1 на выходе. Поскольку, как было показано в двух предыдущих главах, организации не могут надеяться на детализированное управление событиями сверху, лучше всего рассматривать функцию преобразования как обеспечивающую скромную степень алгедонического одобрения при нормальном состоянии системы. Так, если мы располагаем 20 алгедоническими каналами ввода, то, возможно, в 15 из них установлен уровень 1, когда дела идут нормально. Пять, уровень которых установлен на 0, представляют меру, с которой вся алгедоническая система обратной связи подвержена возможному административному вмешательству. Если события выйдут из-под контроля в системе более низкого уровня, то уровень всех 20 алгедонических каналов может оказаться нулевым, но если дела пойдут весьма успешно, то некоторые из первоначальных нулей могут перейти в единицы.

Предположим, однако, что сама функция преобразования оказалась неверной, т.е. неверно учитывающей условия окружающей среды, в которой срабатывает или не срабатывает нейрон или руководитель. Конечно, такое суждение будет сделано метасистемой. Тогда, предположим, функция преобразования должна изменить свой знак, что никуда не годится; мы не можем позволить функции преобразования такого сальто-мортале на выходе, смены результата с 0 на 1 и обратно таким скачком просто

потому, что окружающая среда несколько неустойчива. Было бы лучше постепенно изменять порог чувствительности так, чтобы решающий элемент соответственно изменял свою реакцию. Лучше всего понять это, если рассматривать серию суждений, при которых очевидно значимый результат на выходе получается более или менее резко и наблюдаются его последствия. Иначе говоря, сформировать обратную связь, которая приведет к адаптации самой функции преобразования. Заметим, что некоторые условия окружающей среды могут потребовать большей чувствительности нейронов или руководителей, а другие ее условия — ее уменьшения.

Последнее относится к особому случаю теории управления, рассматриваемому в гл. 2. При этом на сенсорном входе и моторном выходе сохраняются афферентные и эфферентные импульсы соответственно. Сохраняется также анастомотик ретикулум, который мы не собираемся детально анализировать или подвергать управлению соответствующими для этого случая командами. Более того, его действия ясно продемонстрированы (пока что) на примере машины из дерева и меди в предыдущей главе.

Рассмотрим сенсорное устройство такой машины. У нее 10 контактов, которые собирают данные, передаваемые им из внешнего мира, представленного колесом рулетки. В свое время мы говорили, что таких контактов может быть хоть сотня. Конечно, может быть и любое произвольное число контактов, как угодно разбросанных по сенсориуму. Машина будет по-прежнему работать. Более того, предположим, что функция преобразования, представленная отношением числа контактов, находящихся на двух медных полосах А: В в любое данное время не является очень грубой. Можно представить себе в качестве примера химическую клетку, порог срабатывания которой представлен значением рН или какой-то электрической величиной, прочитанной от преобразователя на языке Мета-1 и усиленной или подавленной цепью связи.

В таком случае связь между входом и выходом проследить невозможно. Часть ее (периферийная) по характеру дискретная - поток двоичных импульсов поступает (и распространяется) в высшей степени запутанную сеть линий. Проследить все это достаточно трудно и фактически невозможно, если сеть будет непрерывно изменяться — линии могут атрофироваться или непостижимым образом включаться в работу или выключаться. Однако если их достаточно много, машина продолжит работу. Хуже того, внутриклеточная связь будет прослеживаться только на молекулярном уровне. Практически мы будем иметь дело со статистическим эффектом массы. Наиболее близкое описательное название, которое обозревателю может присвоить этой внутренней части нейрона, могло бы быть "аналоговое устройство", поскольку основной двоичный характер системы потерян. Как бы там ни было, в конечном счете вся система связи и взаимодействие в ней могли бы служить отличным примером анастомотик ретикулум.

Как представляется, реальный живой нейрон выглядит весьма на это похожим. Более того, наше его описание достаточно хорошо соответствует и управляющему. При рассмотрении сути этого замечания опасайтесь путаницы в оценке различий в их разрешающей способности (в оптическом смысле). Мы рассматриваем нейрон (как естественный, так и искусственный) и управляющего как простой элемент решения в сети нейронов (мозг) или как человека (в обществе управляющих). Тот факт, что в мозгу управляющего содержится 10 млрд. нейронов, не имеет значения для нашего сравнения. Тем не менее это интересное замечание, когда мы приступаем также к рассмотрению иерархии команд. Во всем этом наблюдается удивительная

гомогенность, а собственный язык управляющего, очевидно, является метаязыком  $n$ -го порядка по отношению к машинному языку его собственных нейронов.

Кстати, если сенсориум изобретенной нами машины может быть представлен большим, возможно неизвестным, числом входов вместо первичных десяти, алгедоническая цепь сможет успешно работать и на менее точной основе. Мы говорили, что срабатывание цепи алгедонической обратной связи вызовет движение деревянного бруса, при котором контакт, один из десяти, переместится с пластины А на пластину В. Однако если число произвольно разбросанных контактов весьма велико, то это правило становится бессмысленным. Во всяком случае, нет никаких оснований, в силу которых алгедоническое движение должно быть дискретным, осуществляемым небольшими скачками. Давайте представим этот обусловленный процесс как своеобразное давление, под действием которого очень незначительно перемещается деревянный брус, при этом плавно исправляя ошибки. Теперь мы знаем, что алгедоническая функция сама определена метаязыковым решением, чем-то таким, что ценится высшим руководством. Какой бы ни была система, определяющая сигнал, алгедоническая цепь различает не только верен ли выданный зажегшейся лампочкой сигнал, но и *насколько* он верен или неверен. Давайте зафиксируем этот результат и используем его применительно к силе,двигающей деревянный брус. Обычно его перемещение невелико: вероятность А:В может измениться с 50:50 на 51:49. Если "неверный" ответ внезапно (металингвистически) становится опасным, давление будет продолжаться; отношение 50:50 может сразу же измениться на 99:1 (однако не на 100:0, поскольку это исключает возможность изменения соотношений). И вновь совершенно ясной становится аналогия действий управляющего и движения, с которым связано решение о поощрении или наказании.

Прежде чем переходить к рассмотрению действующих ступеней иерархий, уместно сделать общее замечание. Нас всегда учили представлять командные сети как специально созданные, располагающие узловыми пунктами, действующими в качестве переключателей, зависящими от обратной связи в инженерном смысле (см. гл. 2). Однако, во-первых, жизнеспособные системы фактически демонстрируют наличие в них скорее анастомотик ретикулум, чем надлежащим образом разработанной сети, элементы которой формируются и переформируются самостоятельно в соответствующие структуры. Во-вторых, элементы, являющиеся узловыми пунктами, управляются меняющимися функциями преобразования; они лучше всего описываются как непрерывно модифицирующиеся условные вероятности, а не неизменные операторы, которые в представлении стандартной теории управления являются дифференциальными уравнениями. В-третьих, цепи обратной связи не просто устройства коррекции ошибок, которые приводят выходной результат в соответствие с "правильным" значением. Они являются алгедоническими цепями, идущими от систем высшего порядка, влияющими на первые два вида изменений. Но и в такой роли согласно стандартной теории управления главной функцией этих систем остается обратная связь.

Из того, что было до сих пор изложено, вытекает, что нейрофизиологическую и управляющую системы (если взять две жизнеспособные системы, которые, как оказалось, имеют много общего) легче всего понять, представляя именно с учетом сказанного, а их основные элементы — нейрон и управляющего — как работающих в соответствии с моделью, представленной в ее самой простой форме деревянно-медной машины. Для облегчения дальнейших ссылок надо ее назвать, и я выбрал в качестве имени *алгедонод*. Я знаю, насколько утомительно продолжать вводить новые для читателя названия, в особенности (как в данном случае) если я вынужден сам их

изобретать. Однако словарь, представляемый управляющим, поразительно ограничен. А здесь вводится понятие, определенное с той степенью глубины, с которой мне удалось это сделать. Решающий элемент в системе управления состоит в принципе из входящей (или афферентной) и выходной (или эфферентной) подсистемы информации, соединенной с помощью анастомотик ретикулум. Все эти три части системы управления были достаточно подробно определены ранее. Этот решающий элемент является *узлом* в сети решающих элементов, образующих систему управления. Но этот узел как решающий элемент обусловлен (в смысле путей его изучения) метасистемой, использующей эвристический метод поощрения и наказания, который мы назвали алгедоническим. Все это вместе является алгедонодом. Наша деревянно-медная машина — грубый его пример, но и нейрон мозга, и отдельный руководитель в числе членов правления — тоже алгедоноды.

Нашим следующим шагом будет попытка распространить принцип машины, представленной на рис. 10, на всю командную иерархию и посмотреть, как подобная машина работает. Пусть следующий вариант деревянно-медной машины состоит из 32 элементов, каждый из которых сам является алгедонодом. Если наши ряды из восьми алгедонодов представить так, как показано на рис. 11, то получится устройство, способное принимать восемь двоичных решений вместо одного.

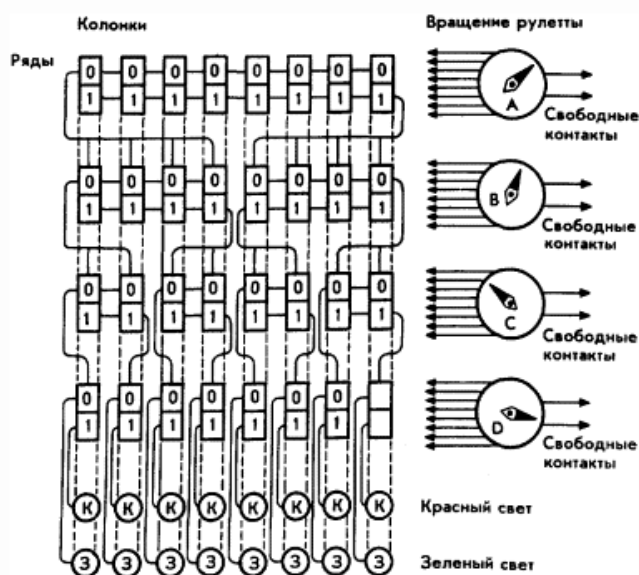


Рис.11

(Никакой мистики в этих числах нет — они выбраны просто для удобства.) Нижний ряд выглядит как восемь отдельных алгедонодов, на их выходе остается знакомая нам пара красного и зеленого света. Результат зажигания (выход) теперь кроется в первых трех рядах, а двоичный выходной результат каждого алгедонода служит для выбора следующей группы элементов, которые тогда будут задействованы. На правой стороне рисунка показаны четыре рулетки в произвольных положениях, каждое из которых представляет неизвестный входной сигнал из внешнего мира.

Вращение четырех рулеток отражает "состояние внешнего мира". Легко видеть, что если каждое колесо рулетки располагает числами положений от 0 до 9, то общее число выходных состояний составит 10 000. (Представьте себе результат деятельности банка игральных костей, который фиксирует любую цифру между 0000 и 9999.) Имеется восемь контактов, связанных с входом А, на восьми колонках медных полос, и

они поочередно находятся в состоянии 0 или 1 своего ряда. (Их соединения не показаны на рисунке, поскольку они слишком усложнили бы его, однако позднее они будут приведены на рис. 12.) Два контакта из десяти на колесе рулетки оставлены свободными в соответствии с законами мутации, исследованными нами ранее (как обходящие логику системы). Первый ряд алгедонодов тогда выбирает либо правую, либо левую группу из четырех алгедонодов второго ряда. Один из свободных контактов направлен *прямо* к каждой из этих групп. Таково начальное условие игры, при котором точно соблюдается вероятность 50: 50, что первый ряд задействует либо правую, либо левую группу из четырех алгедонодов во втором ряду.

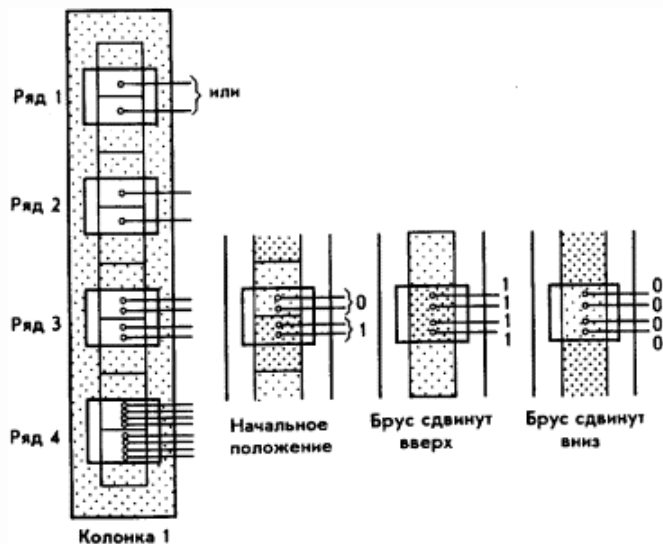


Рис.12

Во втором ряду тоже восемь контактов, представляющих случайный вход В. Они организованы так, что состояния как 0, так и 1 отражены каждым алгедонодом в каждой группе из четырех алгедонодов. Это значит, что у нас всего 16 контактов и любой вход В задействует два из них — один в левой и один в правой группе. Однако решение 1-го ряда уже исключило одну из групп. Тогда ряд 2 задействует *пару* алгедонодов в ряду 3 либо через эту систему, либо (как и прежде) напрямую через два свободных входа. Для выбора остаются две пары либо из правой, либо из левой двойной группы в зависимости от решения ряда 2. Какая из этих пар будет задействована, зависит от положения рулетки С. В ряду 3 у нас четыре контакта к каждому из алгедонодов — два в положении 0 и два в положении 1, снова организованных в параллель. Таким образом, к ряду 3 сработают 32 контакта и только восемь из них (плюс два свободных для входа С) имеют отношение к третьему решению, поскольку три из четырех пар ряда 3 уже исключены. Ряд 3 теперь определит, какой из алгедонодов в ряду 4 будет задействован.

Ряд 4 принимает окончательное решение, основанное на положении рулетки D. На этот раз все восемь контактов организованы в параллель на каждом алгедоноде (к этому моменту, следовательно, состоится 64 соединения), четыре из которых в положении 0 и четыре в положении 1. Ряд 3 решает, какую колонку задействовать, а ряд 4 решает, будет ли зажжен зеленый или красный свет. Повторим, что два резервных импульса, на этот раз от рулетки D, будут проходить прямо к той или другой лампочке.

Поскольку согласно исходным условиям весь наш ретикулум основан на 32 алгедонодах, предлагающих равное число значений 0 и 1, так сказать, на медных полосах, то результат игры полностью непредсказуем. Запустим все четыре рулетки. Они случайно задействуют контакт в своем ряду и каждый из рядов наполовину тоже случайно сокращает разнообразие следующего ряда. Любой из восьми парных контактов может сработать при равных вероятностях загорания зеленой или красной лампочки. Таким образом, мы располагаем двумя возможными двоичными решениями в физическом смысле: у нас имеется четыре ряда алгедонодов, которые, следовательно, способны принимать решения, осуществляя выбор из  $2^4 = 16$  результатов на выходе, т. е. из 16 вариантов зажигания лампочек. Теория, описывающая такой процесс, была изложена в гл. 3.

Чтобы заставить такую машину работать как электромеханическое устройство, потребуются "принимающие решения" реле, а эти реле будут срабатывать при совпадении поступления входного импульса данного ряда с выходным импульсом, определенным в предыдущем ряду. Одно реле необходимо как выходное для ряда 1; оно будет осуществлять подключение к одной из двух групп алгедонодов в ряду 2. Выходной результат рядов 2 и 3, очевидно, требует двух и четырех реле соответственно. Ряду 4 не нужны никакие реле, поскольку он прямо зажигает лампочки. Из этого следует, что требуется  $2^{n-1}-1$  фактически решающих элементов (реле). В нашем случае когда  $n=4$ , число состояний на выходе  $2^4=16$  и число реле составляет  $2^3-1=7$ . Если степень неопределенности увеличить на 1, то получим  $n=5$ ,  $2^5=32$  состояния на выходе,  $2^4-1=15$  реле и, следовательно, 16 колонок. Но такая машина будет дополнительно воспринимать выходной сигнал E и может управлять 100 000 состояниями мира.

Хорошо сказать "может управлять", подразумевая, что ретикулум, связывающий вход и выход, не перегружен, что он может отличать один набор реакций от другого. Но выражение "может управлять" до сих пор означало "производить случайный результат", а для этого не стоило бы создавать такую машину. Следующим шагом будет соединение алгедонодов вместе по *колонок*. Одна вертикальная колонка такой машины приведена на рис. 12, чтобы можно было показать, как она работает. Заметим, что уже можно показать иерархические соединения, которые мы только что обсуждали. В каждой колонке восемь медных полос — все они смонтированы на одном деревянном бруске. Они изолированы одна от другой и меняют состояние 0 и 1 вдоль колонки. Фактически, конечно, здесь остается (в силу электрических соединений) четыре набора алгедонодов. Как показано на рис. 12, они помечены, поскольку некоторое число "свободных" медных шин 0 или 1 необходимо, когда деревянный брусок перемещается вверх или вниз.

Теперь становится возможной работа цепи алгедонической обратной связи. Для начала рассмотрим ее в самом общем виде. Если зажигается не та лампочка, которая нужна, наказание будет суровым. Вся медная полоса, которая обеспечила подобный результат в ряду 4, будет исключена и во всех остальных рядах, принадлежащих данной колонке. Но не будет изменений в соседних колонках, поскольку в них полосы не передвигали. Следовательно, баланс вероятностей состояний всей машины изменится весьма интересным образом. Рассмотрим только одну пару лампочек — ту, которая зажигается колонкой алгедонода ряда 4. Вероятность того, что, к примеру, загорится красная лампочка, составит теперь 9: 1. (Все восемь контактов находятся на *одной* медной пластине, один запасной канал ввода соединен непосредственно с красной лампочкой, а другой — с зеленой.)

Однако вероятность того, что этот полностью адаптировавшийся алгедонод (ряд 4 в колонке 1) будет вообще выбран, тоже изменилась. Его выбор производится алгедонодами ряда 3 из колонок 1 и 2. Тогда вероятность того, что именно эта пара выберет либо колонку 1, либо колонку 2 ряда 4, была 5: 5. Но, поскольку брус колонки 1 переместился на целый ряд, состояния двух из четырех выбранных нами зон (0 и 1, 0 и 1 в двух колонках) изменились на 0. Тогда три из них будут находиться в состоянии 0 и один в состоянии 1. При этом шесть из восьми контактов, находящихся на этой пластине, будут соединены с 0 и только два с 1. С учетом наличия двух свободных входов вероятность того, что ряд 3 выберет эту колонку в ряду 4, изменится с 5: 5 на 7: 3.

Продвигаясь в обратном порядке по дереву решений, подойдем к ряду 2, который содержит четверку алгедонодов. Здесь первично решение принималось с помощью восьми контактов, соединенных с восемью зонами (четыре нуля и четыре единицы), но теперь баланс нарушен так, что там, где были нули, и там, где были единицы, в колонке 1 считываются только нули. Теперь у нас пять нулевых и три единичных зоны. С учетом свободных каналов вероятность выбора в этом случае станет равной 6: 4. Переходя к ряду 1 и рассматривая вероятность, с которой будет выбрана эта четверка в ряду 2, мы столкнемся с 16 медными зонами, из которых только восемь касаются контактов. Такое положение формально эквивалентно тому, что было в ряду 2.

Теперь становится понятным, каковы вероятности всего дерева решений, определяющих включение лампочек колонки 1. В начальном положении каждый ряд обуславливает вероятность 0,5 того что загорится в конечном счете красная лампочка. Вероятность того что это *так и будет*, составляет, следовательно,  $0,5^4 = 0,0625$  или одну шестнадцатую. Поскольку у нас всего 16 лампочек и исходное состояние машины равно вероятно, именно этого следовало ожидать. Но после того, как мы произвели грубую алгедоническую настройку в колонке 1, вероятности стали равными: 0,6 для ряда 1, 0,6 для ряда 2, 0,7 для ряда 3 и 0,9 для ряда 4. Общая вероятность составит 0,2268 — между одной пятой и четвертой. Вероятность того, что загорится зеленая лампочка в колонке 1, составит  $0,6 \times 0,6 \times 0,7 \times 0,9$  (поскольку порядок выбора в первых трех рядах одинаков)  $\times 0,1$ . Тогда результат будет 0,0252, т.е. нужная лампочка загорится однажды при сорока попытках.

Дальнейшее понимание того, что происходит, становится довольно затруднительным. Грубая алгедоническая обратная связь в колонке 2 на втором туре игры даст вероятность 9:1 зажигания нужной лампочки в ряду 4. Но, поскольку ряд 2 выбрал левую пару алгедонода в ряду 3, мы получим вероятность 0,9 правильного ответа в *общем* так как неважно, выберет ли ряд 3 колонку 1 или 2 в ряду 4. Более того, поскольку алгедоническая обратная связь приводит к усилению (или ослаблению) ее эффекта по всей иерархии, ряд 1 наиболее вероятно выберет левую четверку в ряду 2, а он наиболее вероятно выберет левую пару в ряду 3.

Не имеет смысла дальше описывать теоретическое изменение вероятностей в этой машине, поскольку мы уже слишком упростили это и без того простое устройство. Если алгедоническая обратная связь *не* очень груба (а к чему ей быть такой?), то число вариантов перемещения медных пластин может быть весьма большим. Все это существенно усложнит теорию. Более того, мы не намерены в действительности ограничиваться восемью контактами в ряду: *их* может быть довольно много и как угодно произвольно- расположенных. Это еще более усложнит расчет вероятностей, но это не должно нас смущать. Важно другое: математический инструмент становится довольно произвольным. Точнее, вероятностная функция преобразования *для любого*



состояния множества этих 32 элементов в высшей степени сложна и не стоит того, чтобы в ней здесь разбираться. Достаточно небольшого развития, небольшого уточнения конструкции и наша машина становится настоящим анастомотик ретикулумом. Самое странное, что она выполняет эту роль. Она сводит 10 000 комбинаций состояний на входе к 16 состояниям на выходе, так что наблюдатель, говорящий на языке Мета—1, считает результат ее работы полезным. Таким образом, машина обучается правильному поведению. Если окружающая среда изменяется (исходя из метасистемных критериев успеха), машина быстро приспосабливается к этим переменам. Но именно этого мы и хотели.

Если это понятно, то возникает следующий вопрос: как такая машина может стать полезной? Во-первых, наш искусственный пример чисто, иллюстративен, и даже в таком случае он довольно труден для понимания. Я реализовал его на картоне так, чтобы можно было подсчитывать результаты игры. Он достаточно хорошо соответствовал своему назначению, но его демонстрация занимала слишком много времени. Я пытался также сделать электрический вариант машины на тех же принципах, но здесь возникла масса трудностей механического и электрического характера. В частности, электрические цепи, как оказалось, требуют множества соединений, а для логического управления переключениями — использования диодов. Но и тогда эта простая машина, работу которой, как я по-прежнему считаю, легче понять концептуально, выглядела страшно сложной, а это губит весь ее иллюстративный смысл, хотя и дает представление о возможности управления разнообразием реакции алгедонода. Полноразмерная демонстрационная модель, весьма впечатляющая, была в конце концов построена фирмой Masparaga Ltd и Н. Гриффином из Экстерского университета. Последнему я выражаю свою благодарность.

Таково то, о чем мы должны подумать в терминах значительно более совершенной техники. Перед нами две альтернативы, и выбор между ними, как увидим позже, весьма важен. Первая связана с программированием универсальной ЭВМ, обеспечивающим именно такое ее поведение. Вторая связана с созданием специальной системы, использующей физику твердого тела. Но значительно важнее, чем все эти технические средства, признание существования алгедонодов, поскольку именно такого рода сложные перестановки производятся внутри групп управляющих — с использованием людей в качестве элементов.