

Донелла Медоуз

Азбука системного мышления

Классическая
книга о работе
систем



Эту книгу хорошо дополняют:

Системность во всем

Сэм Карпентер

Преломление

Бо Лотто

Путеводитель по лжи

Дэниел Левитин

Искусство объяснять

Ли ЛеФевер

Как не ошибаться

Джордан Элленберг

Donella H. Meadows

Thinking in Systems

A Primer

Chelsea Green Publishing
White River Junction, Vermont

Донелла Медоуз

Азбука системного мышления

Перевод с английского Даниила Романовского

Москва
«Манн, Иванов и Фербер»
2018

УДК 159.955
ББК 88.251.311.9
М42

Издано с разрешения Chelsea Green Publishing

Научный редактор Альвина Савкина

Медоуз, Донелла

М42 Азбука системного мышления / Донелла Медоуз ; пер. с англ. Д. Романовского ; [науч. ред. А. Савкина]. — М. : Манн, Иванов и Фербер, 2018. — 272 с.

ISBN 978-5-00117-352-6

Простая и доступная книга о системном мышлении и его роли в современном мире. Донелла Медоуз знакомит читателя с понятием систем, особенностями их поведения, причинами экономических, социальных, политических проблем и способами их решения. Системный подход позволит лучше ориентироваться в сложных условиях, видеть взаимосвязи, меняться самим и менять к лучшему окружающую среду.

УДК 159.955
ББК 88.251.311.9

Все права защищены.
Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-00117-352-6

© 2008 by Sustainability Institute.
All rights reserved
Translation © 2018 by Mann, Ivanov and Ferber
All rights reserved.
© Перевод на русский язык, издание на русском языке, оформление. ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие автора	10
Предисловие редактора английского издания	12
Введение. Взгляд сквозь объектив теории систем	18

Часть I. Структуры и поведение систем

Глава 1. Основные положения	29
Глава 2. Краткая экскурсия по «системному зоопарку»	56

Часть II. Системы и мы

Глава 3. Почему системы так хорошо работают	103
Глава 4. Почему системы удивляют нас?	117
Глава 5. Системные ловушки... и возможности	147

Часть III. Меняем системы и свой взгляд на мир

Глава 6. Точки влияния. Способы воздействия на систему	187
Глава 7. Жизнь в мире систем	214

Приложение	238
Примечания	259
Благодарности	268
Об авторе	269

*Для Даны (1941–2001)
и для всех, кто у нее учился*

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

В основе этой книги — квинтэссенция мудрости, здравого смысла, глубоких научных знаний и опыта множества людей, посвятивших более тридцати лет преподавательской деятельности и моделированию систем. Многие из них работали в исследовательской группе системной динамики Массачусетского технологического института. Прежде всего это Джей Форрестер, именно он создал эту группу. Моими учителями (и учениками, ставшими моими учителями) были Эд Робертс, Джек Пью, Деннис Медоуз, Хартмут Боссель, Барри Ричмонд, Питер Сенге, Джон Стерман и Питер Аллен. В книге приведены мысли, примеры, цитаты и сведения из книг многих представителей интеллектуального сообщества. Я выражаю свое восхищение и благодарность всем его членам.

Я многому научилась у выдающихся ученых и мыслителей. Насколько мне известно, они никогда не занимались компьютерным моделированием, но все обладали естественным, настоящим системным мышлением. Это Грегори Бейтсон, Кеннет Боулдинг, Герман Дейли, Альберт Эйнштейн, Гарретт Хардин, Вацлав Гавел, Льюис Мамфорд, Гуннар Мюрдаль, Э. Ф. Шумахер, ряд современных корпоративных руководителей и многие безымянные древние мудрецы — от коренных американских индейцев до суфиев Ближнего Востока. Странная компания, не так ли? Но системное мышление выходит за рамки дисциплин, культур и исторических эпох.

Системные аналитики используют всеобъемлющие междисциплинарные концепции, но так как все исследователи — люди со своими особенными чертами, появились разные научные школы и направления. В этой книге приводятся термины и обозначения, использующиеся в системной динамике — наиболее близкой мне области. Здесь

представлены основные положения теории систем, а не последние научные открытия. Я использую анализ только тогда, когда он помогает решать реальные проблемы, и не прибегаю к описанию абстрактных теорий. Но если когда-нибудь подобные теории можно будет применить с такой же целью, кто-то, возможно, напишет новую работу.

Должна предупредить, что эта книга, впрочем, как и все остальные, не может быть беспристрастной и исчерпывающей. В области системного мышления известно гораздо больше, чем представлено здесь, но моя главная цель — заинтересовать вас. А еще мне хотелось бы, чтобы вы поняли, что собой представляют сложные системы, с которыми мы все постоянно сталкиваемся, даже если ваше знакомство с системами и обучение начнется и закончится этой книгой.

Донелла Медоуз, 1993

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА АНГЛИЙСКОГО ИЗДАНИЯ

В 1993 году Донелла (Дана) Медоуз завершила работу над черновым вариантом книги, которую вы сейчас держите в руках. Рукопись тогда не опубликовали, но много лет распространяли неофициально. Дана неожиданно умерла в 2001 году, не закончив книгу. За прошедшие с тех пор годы стало ясно, что ее работа по-прежнему может быть полезна и интересна широкому кругу читателей. Дана была ученым, писателем и одним из лучших проводников в мир системного моделирования.

В 1972 году вышел бестселлер *The Limits to Growth*^{*}, переведенный на множество языков, одним из основных соавторов которого была Дана.

Его авторы предупреждали, какой ущерб всему миру могут нанести неоптимальные сценарии развития человечества, если их вовремя не остановить. Они показали, что постоянный рост населения и потребления нарушает экологические и социальные системы, поддерживающие жизнь человека на Земле, объяснили, почему стремление к неограниченному экономическому росту в итоге разрушит многие локальные, региональные и глобальные системы. Предостережение авторов признали обоснованным, прогноз — одним из самых точных. Выводы, сделанные в этой книге и ее продолжениях, встречаются на первых полосах газет всякий раз, когда повышаются цены на нефть, резко изменяется климат или когда мы сталкиваемся с какими-либо другими проблемами, которые 6,6 млрд человек создают сами себе.

^{*} Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Беренс В. Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991.

Дана помогла осознать, почему надо серьезно пересмотреть принципы и методы изучения мира и его систем и начать действовать по-другому. Сегодня многие признают, что системное мышление — очень важный инструмент в решении экологических, политических, социальных и экономических проблем, которые постоянно возникают перед обществом. Системы, большие или малые, могут вести себя очень похоже. Понимание их поведения — наша единственная надежда на то, что мы сможем изменять их на разных уровнях в долгосрочной перспективе. Дана написала эту книгу, надеясь донести свою концепцию до более широкой аудитории, и именно поэтому я и мои коллеги из Института устойчивого развития решили, что пришло время опубликовать ее рукопись посмертно.

Способна ли эта книга действительно помочь и нашему миру, и каждому читателю? Я думаю, да. Возможно, вы сотрудник компании (или ее владелец) и стремитесь найти способ улучшить мир с помощью бизнеса или своей организации. Или вы политик, которому не удастся воплотить в жизнь хорошие идеи и добрые намерения. Возможно, вы менеджер, занятый решением важных вопросов в компании и постоянно сталкивающийся с проблемами. Если вы ратуете за изменения в таких системах, как общество или семья, с точки зрения того, какие моральные ценности они защищают, то знаете, что всего пара необдуманных действий способна перечеркнуть долгие годы последовательных улучшений. Возможно, вас удручает, насколько сложно изменить наше общество к лучшему.

Если вы находитесь в ситуации, хотя бы отчасти напоминающей вышеперечисленные, думаю, что эта книга вам поможет. Хотя есть и другие работы по системному моделированию и системному мышлению. У многих есть потребность в доступной и вдохновляющей книге о системах и о нас. О том, почему мы находим их порой столь непонятными и как научиться лучше управлять ими и изменять их.

Незадолго до написания первой версии этой книги Дана завершила двадцатилетнюю работу над продолжением книги *The Limits to Growth*, которая вышла под названием *Beyond the Limits**. Дана входила

* *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й.* За пределами роста. М.: Прогресс; Пангея, 1994.

в состав исследовательской группы в области охраны природы и окружающей среды, работала в Комитете по научным исследованиям при Национальном географическом обществе, преподавала системную динамику, этику и читала лекции об окружающей среде в Дартмутском колледже. Она всегда погружалась в события сегодняшнего дня и рассматривала их как результат поведения зачастую достаточно сложных систем.

Оригинальная рукопись Даны несколько раз редактировалась, и структура ее изменялась, но многие из примеров, приведенных в этой книге, взяты из первого чернового варианта 1993 года. Они могут показаться вам немного несовременными, но, работая над редактурой, я решила их сохранить, потому что они по-прежнему актуальны и поучительны. Начало 1990-х годов — это время распада Советского Союза и серьезных изменений в других социалистических странах. Тогда же было подписано Североамериканское соглашение о свободной торговле. Иракская армия вторглась в Кувейт, а затем отступила, сжигая по пути нефтяные месторождения. Нельсона Манделу освободили из тюрьмы, в Южной Африке был отменен апартеид. Профсоюзный лидер Лех Валенса был избран президентом Польши, а писатель Вацлав Гавел — президентом Чехословакии. Межправительственная группа экспертов по изменению климата опубликовала свой первый доклад, в котором сообщалось о том, что «выбросы в результате человеческой деятельности существенно повышают концентрацию „парниковых газов“ в атмосфере, что приводит к усилению парникового эффекта, то есть глобальному росту температуры на поверхности Земли». В Рио-де-Жанейро прошла конференция ООН по вопросам окружающей среды и развития.

Во время одной из поездок на конференцию Дана читала выпуск газеты *International Herald Tribune*. В материалах, опубликованных в течение одной недели, она нашла много примеров систем, которым необходимы или более грамотное управление, или полная реорганизация. Она прочитала о них в обычной газете, потому что такие системы — повсюду. Начав относиться к ежедневным событиям как к части общих тенденций, в которых, в свою очередь, проявляется внутренняя структура системы, вы увидите новые способы, позволяющие

управлять своей жизнью. Я надеюсь, что это издание книги Донеллы подарит читателям способность понимать системы, рассуждать о них и изменять их в лучшую сторону.

Хотелось бы, чтобы этот небольшой и доступный рассказ стал для вас полезным инструментом в мире, так нуждающемся в изменениях. Это простая книга для сложного мира. Она для тех, кто хочет самостоятельно сформировать лучшее будущее.

Диана Райт, 2008

Если фабрика снесена до основания, но рациональность, породившая ее на свет, осталась, то эта рациональность просто создаст еще одну фабрику. Если революция уничтожает систематическое правительство, остаются нетронутыми систематические шаблоны мышления, создавшие это правительство, и эти шаблоны воспроизведут себя в последующем правительстве. Так много болтают о системе. И так мало понимают.

*Роберт Пирсиг,
«Дзен и искусство ухода за мотоциклом»*

Введение

ВЗГЛЯД СКВОЗЬ ОБЪЕКТИВ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Руководители сталкиваются не с независимыми друг от друга проблемами, а с непрерывно развивающимися ситуациями, которые состоят из сложной совокупности изменяющихся проблем, влияющих друг на друга. Я называю такие ситуации беспорядочными... Руководители не решают проблемы, они управляют беспорядком.

*Рассел Акофф¹,
специалист в области управления*

На одно из первых занятий по изучению систем я обычно приношу игрушку Слинки (Slinky). Если вы забыли, что это такое, напомню: Слинки — длинная, свободная пружина, которая может колебаться, сжимаясь и разжимаясь вверх и вниз, «перетекать» из одной руки в другую или «шагать» по ступенькам лестницы.

Я кладу Слинки на раскрытую ладонь. Верхнюю спираль пружинки зажимаю пальцами другой руки, а затем отдергиваю. Сначала пружинка растягивается, затем сжимается. Снова растягивается и снова сжимается. И так несколько раз.

«Почему Слинки так себя ведет?» — спрашиваю я у студентов.

«Из-за руки. Вы убрали руку», — говорят они.

Я беру коробку из-под игрушки, в которой она продавалась, и помещаю в нее спираль. Затем так же кладу коробку на ладонь, придерживая спираль сверху пальцами. И максимально драматичным жестом убираю руку.

Конечно же, ничего не происходит, коробка просто висит.

«Теперь еще раз: почему игрушка раскачивалась вверх-вниз?»

Очевидно, ответ надо искать в устройстве самой игрушки. Ей свойственно именно такое поведение, а руки лишь подавляют его или не мешают ему проявиться.

Это важно для понимания теории систем.

Если мы поймем, как взаимосвязаны структура и поведение системы, мы сможем предположить, как она работает, почему ее поведение приводит к тем или иным результатам, как использовать ее более эффективно. Поскольку мир продолжает быстро изменяться, становится все более сложным, системное мышление научит нас видеть весь спектр возможностей, управлять им и использовать его. Только такой подход позволяет выявлять первопричины проблем и находить новые варианты их решения.

Итак, что такое система? Система представляет собой набор некоторых элементов (элементы могут быть любыми: людьми, клетками, молекулами), связанных между собой таким образом, что с течением времени их взаимодействие начинает определять поведение системы. Система может испытывать потрясения, ограничения, воздействие факторов, служащих пусковым механизмом, равно как и любых других внешних сил. И реакция, которая в реальном мире никогда не бывает простой, и характеризует саму систему.

Чем вызвано и как проявляется поведение Слинки, осознать легко. Когда же речь о людях, компаниях, городах или странах, мысль о том, что система в значительной степени сама становится причиной собственного поведения, похожа на бред! Внешнее событие может спровоцировать определенное поведение системы, но при воздействии на другую систему то же самое событие, вероятнее всего, приведет к другому результату.

Задумайтесь о том, что из этого следует:

- Политические лидеры не влияют на спад или рост экономики страны. Колебания рынка заложены в саму структуру рыночной экономики.
- Компании теряют долю на рынке не из-за конкурентов. Естественно, конкуренты воспользуются преимуществом, но потери проигравшей стороны вызваны, по крайней мере частично, ее собственной бизнес-политикой.

- Страны — экспортеры нефти не несут исключительную ответственность за рост цен на нефть. Одни только их действия не смогли бы спровоцировать такое резкое изменение цен и хаос в экономике, если бы политика потребления нефти, ценообразования и инвестирования стран — импортеров нефти не привела к созданию экономики, столь чувствительной к задержкам поставок.
- Вас не атакует вирус гриппа, вы сами создаете для него благоприятные условия в организме.
- Причина наркотической зависимости не в слабости отдельно взятого человека. Ни он сам и никто другой, даже самый любящий, не способен помочь ему. Избавиться от зависимости можно, только осознав, что она — следствие целого комплекса явлений и социальных проблем.

Кого-то такие заявления приведут в замешательство, кому-то покажутся обычным проявлением здравого смысла. Я полагаю, что два разных типа реакции — нежелание принимать системные принципы или их признание — происходят из двух разных видов человеческого опыта и оба знакомы каждому.

С одной стороны, всех нас учили анализировать, использовать рациональные методы, отслеживать непосредственную связь между причиной и следствием, маленькими и понятными «порциями» постигать неизведанную область знаний, решать проблемы, воздействуя на мир вокруг себя. Но именно из-за такого подхода мы считаем президентов, конкурирующие компании, ОПЕК, грипп и наркотики виновными в своих проблемах.

С другой стороны, все мы сталкивались со сложными системами задолго до того, как научились рационально мыслить. Ведь мы сами — сложные системы. Наш организм — великолепный пример комплексных, взаимосвязанных, самоподдерживающихся систем. Каждый человек, каждая организация, каждое животное, дерево, сад или лес — сложные системы. Мы осознаём это интуитивно, не анализируя, не облекая в слова. По сути, это практическое понимание того, как функционируют системы и как с ними взаимодействовать.

Поскольку современная теория систем связана с использованием компьютеров и вычислениями, мы часто просто не замечаем, что ее

основные положения на определенном уровне понимает каждый человек. Многие постулаты теории систем почти всегда можно перевести на язык «народной мудрости».

Запаздывания обратной связи в сложных системах приводят к тому, что, когда проблема становится явной, ее часто уже трудно решить.

— *Дорога ложка к обеду.*

В соответствии с принципом конкурентного исключения, если за счет действия усиливающего цикла обратной связи вознаграждение, полученное победителем конкурса, становится средством для достижения побед в дальнейших соревнованиях, со временем почти все конкуренты устроятся из борьбы.

— *Ибо кто имеет, тому дано будет, а кто не имеет, у того отнимется и то, что имеет (Евангелие от Марка, 4:25).*

или

— *Деньги к деньгам льнут.*

Системы с большим разнообразием элементов, множеством сценариев развития и запасных путей более стабильны и менее уязвимы к внешним факторам, чем однородные системы с небольшим разнообразием.

— *Не кладите все яйца в одну корзину.*

Со времен промышленной революции западное общество ориентировалось на достижения науки, логику и редукционизм, пренебрегая интуицией и холистическим мировоззрением. Психологически нам удобнее видеть проблему вовне: винить что-то или кого-то, снимая с себя ответственность. В таком случае для устранения возникшей проблемы достаточно лишь найти рычаг управления, техническое решение, подходящую таблетку и так далее.

Сложные задачи — предотвращение оспы, увеличение производства продуктов питания, скорости перемещения тяжелых грузов и большого количества людей на огромные расстояния — обычно решались устранением внешних причин. Но поскольку все перечисленное касается составных частей более крупных систем, некоторые решения

лишь создали дополнительные проблемы. И те из них, что укоренились во внутренней структуре сложных систем, практически неразрешимы.

Голод, нищета, загрязнение окружающей среды, экономическая нестабильность, безработица, хронические заболевания, наркомания, войны. Все это безуспешно пытались искоренить с помощью аналитических и технических достижений. Никто не создает эти проблемы намеренно, никто не хочет, чтобы они оставались нерешенными, но они продолжают существовать. Потому что эти проблемы — системные. Причина нежелательного поведения системы часто кроется в ней самой. Проблемы могут быть разрешены только тогда, когда мы применим интуицию, перестанем обвинять всех вокруг, начнем рассматривать систему как источник своих проблем, найдем храбрость и мудрость, чтобы *реструктурировать* систему.

Это очевидно, но непривычно. Утешает, что решения находятся в наших руках. Хотя необходимость *действовать*, или хотя бы *смотреть* на вещи и *осмыслять* их иначе, не так, как мы привыкли, может вызвать тревогу.

В этой книге рассказывается о том, как научиться понимать разницу между тем, что вы *видите* и как это *осознаёте*. Она предназначена для тех, кто скептически относится к понятию «система» и системному анализу (хотя все мы применяем его в повседневной жизни). Я опустила множество технических деталей, потому что хочу показать, что к пониманию систем можно прийти, не обращаясь к математическим формулам и не прибегая к помощи компьютера.

Я часто использую в этой книге схемы и графики, поскольку одними словами рассказать о системах сложно. Слова и предложения должны следовать друг за другом в линейной логической последовательности. События в системах развиваются нелинейно, не в одном направлении, а во многих сразу. Чтобы правильно их описать и изучить, необходим язык, который обладает теми же свойствами, что и явления, которые мы изучаем.

Графики и схемы информативнее слов, потому что все части изображения можно видеть одновременно. Я начну с очень простых и буду постепенно наращивать сложность. Уверена, что вы легко поймете этот наглядный язык.

Сначала вы познакомитесь с основными понятиями: что такое система и из чего она состоит. Мы рассмотрим элементы не во взаимодействии — не с холистической, а с редукционистской позиции. Затем снова сведем их вместе, чтобы продемонстрировать основу саморегулирования и развития систем — цикл обратной связи.

После этого вы окажетесь в «системном зоопарке», где представлена коллекция распространенных и интересных типов систем. Вы увидите, как ведут себя некоторые из них, и познакомитесь с ареалом их обитания. Они повсюду и даже внутри вас.

На примере некоторых я расскажу, как системы могут прекрасно работать и в то же время удивлять нас и приводить в замешательство. Вы узнаете, почему в результате слаженных и рациональных действий отдельных или большинства элементов системы получается совсем не то, что ожидалось. Поймете, почему эти результаты могут проявляться намного раньше или позже намеченного срока, почему, сделав повторно что-то, что всегда давало результат, вы вдруг обнаруживаете, к своему великому разочарованию, что это больше не работает, почему поведение системы непредсказуемым образом изменилось.

Обсуждение этих «почему» позволит рассмотреть общие вопросы, с которыми снова и снова приходится сталкиваться специалистам в области системного мышления, решающим проблемы, возникающие в корпорациях, правительственных структурах, экономике, экосистемах, физиологии и психологии. Мы рассмотрим систему распределения водных ресурсов между общинами и финансовых средств между образовательными учреждениями и придем к выводу, что это частные случаи трагедии общин*. Изучим правила бизнеса и стимулы, которые помогают или препятствуют разработке новых технологий. Поразмыслим, почему возникает сопротивление решениям властей и традиционным отношениям в семье, сообществе или стране. Увидим, что причин

* Трагедия общин, или трагедия ресурсов общего пользования — род явлений, связанных с противоречием между личными интересами и общественным благом. Например, фермеры из одной общины пользуются общим пастбищем. Если несколько скотоводов увеличат поголовье скота, плодородие поля не изменится. Но если так сделают все, то пастбище оскудеет и члены общины будут терпеть убытки. Если каждый сократит количество скота, то плодородие поля увеличится. Но его личный выигрыш будет меньше, чем потерянный доход. Получается, в интересах отдельного фермера все время увеличивать стадо. *Прим. ред.*

зависимости от кофеина, алкоголя, никотина и наркотиков намного больше, чем кажется на первый взгляд.

Специалисты по системам называют такие общие структуры, проявляющиеся в характерном поведении, архетипами. В первых черновиках книги я назвала их «системные ловушки». Затем добавила: «...и возможности», потому что даже те архетипы, которые отвечают за возникновение на первый взгляд неразрешимых потенциально опасных проблем, можно преобразовать для получения желаемого результата. Достаточно лишь немного понимать принципы функционирования систем.

После этого я перейду к рассмотрению действий для реструктуризации систем, в которых мы живем. Мы попытаемся найти точки влияния на системы, воздействуя на которые, можно изменить поведение систем.

В заключительной части книги приведен ряд обобщающих умозаключений о системах, сделанных многими известными мне специалистами по системному моделированию. В приложении к книге вы найдете глоссарий, библиографический список, обзор основных системных принципов, уравнения для моделей из первой части, при помощи которых сможете глубже погрузиться в тему системного мышления.

Несколько лет назад наша небольшая исследовательская группа переехала из Массачусетского технологического института в Дартмутский колледж. Один из профессоров-инженеров в Дартмуте некоторое время наблюдал за нами на семинарах, а затем пришел к нам в кабинет. «Вы совсем другие, — сказал он. — Вы задаете другие вопросы. Вы видите вещи, которых не вижу я. Вы воспринимаете мир как-то иначе. Как? Почему?»

Ответы на эти вопросы я надеюсь дать в книге, особенно в ее заключительной части. Я не думаю, что системный способ мышления лучше редукционистского. Они прекрасно дополняют друг друга. Вы видите какие-то вещи собственными глазами, другие — через объектив микроскопа, третьи — через объектив телескопа, а четвертые — через объектив теории систем. Каждый способ позволяет узнать что-то новое о нашем удивительном мире.

Он становится все сложнее. Загрязнение окружающей среды, угроза перенаселения планеты, возросший темп жизни. Появляются новые взаимосвязи, а темп изменений стремительно возрастает. Взгляд через системный объектив поможет лучше ориентироваться, развивать интуицию и приобретать новые навыки.

Это позволит:

- оттачивать способность выявлять и понимать элементы систем;
- видеть взаимосвязи;
- задавать вопрос «что, если?..», изучая возможные будущие модели поведения систем;
- обрести смелость и готовность изменять структуру системы.

И тогда мы сможем измениться и изменить наш мир.

ИНТЕРЛЮДИЯ

Слепцы и слон — притча

За Эль-Гхора находился город, все жители которого были слепы. Однажды неподалеку от города разбил лагерь чужеземный правитель, прибывший со своей свитой и войском. У него был могучий слон, наводящий ужас на всех вокруг.

Горожанам захотелось узнать, что такое слон, и некоторые из них отправились в лагерь. Не зная, как выглядит животное, они стали ощупывать его, собирая информацию по маленьким крупицам, прикасаясь к какой-либо из его частей. Каждый из них ощупал что-то одно и считал, что теперь он знает, что такое слон.

Потрогавший ухо сказал: «Это что-то большое, грубое, широкое и шершавое, как ковер».

Коснувшийся хобота произнес: «На самом деле все иначе. Это прямая полая труба, ужасная и разрушительная».

Ощупавший ноги молвил: «Он могуч и тверд, как столп».

Каждый из них коснулся лишь одной части из многих. Каждый получил свое представление о слоне, и каждый был неправ².

В этой древней суфийской притче заключен простой урок, который мы часто игнорируем: нельзя понять поведение и структуру системы, имея представление только об отдельных элементах, из которых она состоит.

ЧАСТЬ I

**СТРУКТУРЫ
И ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМ**

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сколь бы сложной ни казалась проблема на первый взгляд, при правильном подходе она окажется еще более сложной.

Пол Андерсон¹

Больше, чем сумма частей

Система — это не просто набор вещей. **Система*** — это совокупность взаимосвязанных элементов, организованных определенным образом для достижения какой-либо цели. Из определения следует, что для описания любой системы необходимы три понятия: *элементы*, *взаимосвязи* и *функциональное назначение* (или *цель*).

Например, элементы пищеварительной системы — это жевательный аппарат, ферменты, желудок и кишечник. Взаимосвязи в ней осуществляются во время естественного процесса прохождения и переваривания пищи благодаря уникальной последовательности регулирующих химических сигналов. Функциональное назначение этой системы — выделить из пищи питательные вещества, передать их в кровь (другую систему), вывести из организма отходы.

Футбольная команда — это тоже система со своими элементами: игроками, тренером, полем и мячом. Взаимосвязями служат правила игры, тактика тренера, коммуникация игроков и законы физики, которым подчиняются движения мяча и игроков. Цель команды — выиграть, получить удовольствие или необходимую физическую нагрузку, заработать миллионы долларов. Или все сразу.

Школа — это тоже система. Как и город, завод, корпорация или народное хозяйство. Каждое животное и растение представляет собой систему, при этом лес — более крупная система, состоящая из подсистем

* Определения понятий, выделенных полужирным шрифтом, приведены в глоссарии.

растений и животных. Планета, Солнечная система, галактика — это тоже системы. Они могут быть встроены в другие, которые, в свою очередь, образуют более сложные системы.

Существует ли что-то, не являющееся системой? Да: любые скопления предметов или объектов без особых взаимосвязей и функционального назначения. Песок, разбросанный на дороге случайно, не образует систему. Можно насыпать еще или убрать немного песка, все равно это будет просто песок на дороге. Но если увеличивать или уменьшать количество игроков на футбольном поле или лишить пищеварительную систему какого-либо органа, система не будет прежней.

Со смертью живое существо теряет «системность». Многочисленные взаимосвязи, которые удерживали вместе все элементы, перестают функционировать, и система распадается. Продукты распада становятся частью более крупной системы — пищевой цепи. Считается, что старые районы города, где все друг друга знают, представляют собой социальные системы, а новостройка — нет. Во всяком случае, до тех пор, пока жильцы не перезнакомятся и не начнут общаться.

Система больше, чем сумма частей, из которых она состоит. Ее поведение может быть адаптивным, динамичным, целеустремленным, ориентированным на самосохранение, а иногда и эволюцию

Из приведенных примеров видно, что системам присуща целостность, для поддержания которой существует целый ряд механизмов. Системы могут изменяться, подстраиваться, реагировать на события, искать новые цели, залечивать раны и заботиться о своей безопасности, словно они живые существа, даже если они таковыми не являются и состоят из неживых элементов или содержат их. Системы могут самоорганизовываться и даже самовосстанавливаться, во всяком случае, в определенном диапазоне воздействий. Они устойчивы, и многие из них способны к эволюции. Из одной системы могут неожиданно возникнуть совершенно новые с характеристиками, которые невозможно было заранее представить.

Взгляд на правила со стороны

Вы думаете, что если понимаете, что такое «один», то сможете понять и что такое «два», потому что один и один — это два. Но вы забываете, что нужно также понимать, что такое «и».

Суфийская притча

Распознать элементы системы достаточно легко, потому что многие из них материальны и осязаемы. Элементы, из которых состоит дерево, — корни, ствол, ветви и листья. При дальнейшем приближении можно увидеть другие, более специализированные элементы: сосудисто-волокнистые пучки, по которым протекает жидкость, хлоропласты и так далее. Система, которую называют «университет», включает в себя такие элементы, как здания, студенты, профессора, администраторы, библиотеки, книги и компьютеры. Можно перечислить, из чего состоят все эти элементы. Они не обязательно должны быть материальными. Неосязаемые активы, например научная школа и академический дух, тоже элементы системы, причем очень важные. Перечислить все элементы какой-либо системы практически невозможно. Можно разделить элементы на подэлементы, а затем на субэлементы и так далее. Продолжая этот процесс, вы довольно скоро потеряете из виду саму систему. И не увидите леса за деревьями.

Прежде чем погрузиться в тему, следует отложить анализ деталей и заняться поиском *взаимосвязей*, которые удерживают элементы в системе.

ЗАДУМАЙТЕСЬ ОБ ЭТОМ

Чтобы узнать, что перед вами, — система или куча разных предметов, подумайте:

- А. Можно ли определить ее части?
- Б. Влияют ли они друг на друга?
- В. Дают ли они вместе эффект, отличный от эффекта каждой части в отдельности?
- Г. Сохраняется ли этот эффект и соответствующее поведение с течением времени и в других условиях?

В системе «дерево» взаимосвязями станут физические потоки и химические реакции, управляющие метаболическими процессами. Они выступают в качестве сигналов, дающих возможность одной части дерева

реагировать на то, что происходит в другой. Например, когда в солнечный день из листьев испаряется влага, перепад давления в сосудах, по которым к ним поступает вода, приведет к тому, что корни начнут потреблять больше воды. И наоборот, если почва вблизи корней пересыхает и воды, которую они впитывают, становится недостаточно, происходит снижение давления жидкости в сосудах, которое и служит сигналом листьям закрыть поры, чтобы вся система не теряла драгоценную влагу.

Когда в зоне умеренного климата дни становятся короче, в лиственных деревьях увеличивается количество химических сигналов, регулирующих перемещение питательных веществ из листьев в ствол и корни, и черешки листьев ослабевают, позволяя им опадать. Некоторые деревья укрепляют клеточные мембраны или выделяют запахи, отпугивающие насекомых, когда одна из частей растения подвергается их нападению. Никто до конца не понимает все внутренние процессы дерева. Это неудивительно. Легче понять, что представляют собой отдельные элементы системы, чем их взаимосвязи.

В такой системе, как университет, взаимосвязи включают в себя стандартные требования к приему студентов, к дипломам, экзаменам и выставлению оценок, бюджеты и финансовые потоки, слухи и даже сплетни. Но самое главное — передачу знаний, что, по-видимому, и является целью системы.

Некоторые взаимосвязи в системах проявляются в виде реальных физических явлений, например движение воды вдоль ствола дерева или перемещение студентов по коридорам университета. Другие представляют собой информационные потоки — сигналы, которые поступают к точкам принятия решений или точкам исполнения. Эти типы взаимосвязей увидеть сложнее, но система показывает их внимательному наблюдателю. Готовясь к экзаменам, студенты принимают во внимание неофициальные сведения о том, какой преподаватель чаще ставит хорошие оценки. Потребитель решает, что купить, учитывая свои доходы, накопления, кредитную историю, запас продуктов дома, цены и доступность товаров. Правительствам разных стран требуется информация об уровне загрязненности воды для принятия разумных мер по устранению этой проблемы. (Обратите внимание: информация о том, что существует проблема, необходима, но ее недостаточно для

инициирования действия — требуются также данные об имеющихся ресурсах, стимулах и последствиях.)

Многие взаимосвязи в системах осуществляются через потоки информации. Она удерживает элементы системы вместе и во многом определяет их дальнейшие действия

Взаимосвязи, основанные на передаче информации, выявить не просто, но еще сложнее определить *функциональное назначение* или *цели* системы. Их далеко не всегда обязательно проговаривают, прописывают или выражают как-то еще. Они проявляются через действия самой системы. Лучший способ выявить цель системы — это понаблюдать некоторое время за ее поведением.

Если лягушка поворачивается направо и ловит муху, потом поворачивается налево и ловит муху, а затем поворачивается назад и ловит муху, очевидно, что ее цель не вертеться в разные стороны, а ловить мух. Если правительство заявляет о заинтересованности в сфере экологии, но выделяет на это мало средств или прикладывает мало усилий, защита окружающей среды фактически не является его целью. Сделать вывод о том, какие цели стоят перед ним, можно, только основываясь на действиях, а не на декларациях.

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ НА ТЕРМИНЫ

Термин *функциональное назначение* (или *функция*) обычно используется для описания систем, не связанных с людьми, в отличие от термина *цель*. Однако различие между ними не критично, поскольку во многих системах есть элементы как включающие, так и не включающие людей.

Функциональное назначение централизованной системы отопления — поддержание определенной температуры в здании. Одна из функций растений — выращивать семена и воспроизводить новые растения, а национальной экономики — поддерживать свой дальнейший рост. Основная же цель почти каждой системы — в обеспечении условий для продолжения собственного существования.

Цели системы не обязательно должны совпадать с целями людей в целом и тем более с целями отдельного актора в системе. Один из самых неприятных моментов, связанных с функционированием системы, заключается в том, что иногда цели ее составляющих элементов могут так изменить поведение системы, что полученный результат не устроит никого. Никто не стремится создать общество с безудержным ростом наркомании и неконтролируемой преступностью, но посмотрите, как соотносятся цели и возможные последствия:

- отчаявшиеся люди хотят быстро избавиться от страданий;
- фермеры, наркоторговцы и банкиры хотят зарабатывать деньги;
- наркоторговцы заинтересованы в соблюдении законов меньше, чем полицейские;
- власти запрещают оборот определенных веществ и используют полицию, обязанность которой — обеспечить соблюдение запрета;
- богатые люди живут в непосредственной близости от бедных;
- тех, кто наркотики не употребляет, больше беспокоит собственная безопасность, чем лечение наркозависимых людей.

В результате формируется система, в которой чрезвычайно трудно искоренить наркоманию и преступность.

Системы могут входить в состав других систем. Поэтому одни цели могут включаться в другие, более крупные. Цель университета — делать научные открытия, сохранять знания и передавать их новым поколениям. Но в том же университете цель студента, возможно, — получение хороших оценок, цель профессора — быть зачисленным в штат, цель администрации — соблюдение бюджета. Любая из подцелей способна конфликтовать с общей целью: студент может списывать на экзаменах, профессор — использовать университет только для публикации научных работ, а не для обучения студентов, администрация — увольнять профессоров для сокращения расходов. Согласованность целей подсистем и общих целей системы — важная характеристика успешной системы. К этому вопросу мы вернемся позже, при рассмотрении иерархии.

Можно понять, насколько важную роль играют элементы, взаимосвязи и цели системы, если представить, как они по очереди изменяются. Изменение элементов обычно оказывает наименьшее влияние на систему. Если вы замените всех игроков в футбольной команде, она все равно

останется футбольной командой, как бы ни играла — значительно хуже или лучше (отдельные элементы могут быть и правда важными). Деревья постоянно обновляют свои клетки и каждый год сбрасывают листья, но остаются деревьями. В вашем теле большая часть клеток каждые несколько недель заменяется, но тело по-прежнему ваше. В университетах постоянно изменяется состав студентов, профессоров и руководителей, но они по-прежнему остаются университетами. Точно так же, например, удивительным образом сохраняют свою идентичность и крупные компании типа *General Motors*, несмотря на текучесть кадров, и конгресс США, члены которого регулярно переизбираются. Система, как правило, продолжает существовать даже при полной замене всех ее элементов, пока их взаимосвязи и цели остаются неизменными.

Функциональное назначение или цель системы, как правило, не выражены явно, но зачастую именно они становятся решающим фактором, определяющим поведение системы

Если изменить взаимосвязи, то система может существенно преобразиться, пусть даже действующие лица останутся прежними. Если изменить правила игры с футбольных на баскетбольные, вы получите совершенно новую игру с мячом. Представьте, что вы измените взаимосвязи в дереве. Вместо того чтобы поглощать углекислый газ и выделять кислород, дерево станет дышать кислородом и выделять углекислый газ. Разве это будет дерево? (Скорее животное.) Если бы в университете студенты оценивали профессоров, а аргументом в научных спорах служил кулак, а не разум, это была бы любопытная организация, но не университет.

Изменение взаимосвязей в системе, а также функционального назначения или цели грозит драматичными последствиями. Что произойдет, если игроки и правила игры останутся прежними, но изменится цель: вместо выигрыша — проигрыш, например? Или целью дерева станет не выживание и воспроизведение, а поглощение всех питательных веществ из почвы и бесконечный рост? Целями обучения и преподавания в университете могут быть не только получение и распространение знаний, но и зарабатывание денег, идеологическое воспитание, победы

в университетских спортивных состязаниях и так далее. Изменение цели существенно повлияет на всю систему, даже если элементы и взаимосвязи в ней останутся прежними.

Бессмысленно спрашивать, что именно — элементы, взаимосвязи или цели — имеет решающее значение. Важно все. Все находится во взаимодействии. У всех свои роли. Но наименее очевидная часть системы, ее функция или цель, часто становится фактором, определяющим поведение системы. Взаимосвязи тоже важны. Их изменение обычно сказывается на поведении всей системы. Элементы — части систем, которые мы обычно замечаем, часто (не всегда) оказываются наименее значимыми для определения уникальных характеристик системы, *если, конечно, замена элемента не приводит к изменению связей или цели.*

Замена одного лидера другим — Брежнева Горбачевым или Картера Рейганом — может изменить вектор развития страны, хотя и земли, и фабрики, и сотни миллионов людей останутся прежними. Или нет. Лидер способен ввести новые «правила игры» или поставить новую цель.

Но физические элементы системы (земли, заводы и люди) имеют длительный жизненный цикл и изменяются медленно, поэтому существует предел скорости, с которой любой лидер может изменить направление развития страны.

Поведение системы во времени

Информация, содержащаяся в природе, позволяет нам частично реконструировать прошлое... И изменение меандров* рек, и комплексное строение растительного покрова земной коры... такие же источники информации, как и генетические системы... Сохранение информации означает увеличение сложности механизма.

Рамон Маргалек²

Запасы — основа любой системы. Это элементы, которые в любой момент времени можно увидеть, пощупать, посчитать или измерить. Запасы

* Меандры — система петлеобразных изгибов (излучин) естественного происхождения, составляющих ложе реки. *Прим. ред.*

системы — все, что можно выразить количественно, все, что накапливается со временем, как в материальном плане, так и в нематериальном (информация): вода в ванне, население страны, книги в книжном магазине, объем древесины в дереве, деньги на счету в банке и даже ваша уверенность в себе. Запасы не обязательно должны проявляться физически. Например, доброжелательность по отношению к окружающим или надежда на то, что мир может стать лучше, тоже своего рода запасы.

**Запасы — это память об изменениях потоков
внутри системы**

Величина запасов со временем изменяется из-за непостоянства **потоков**. Потоки бывают входящими и исходящими: рождение и смерть, покупка и продажа, рост и загнивание, вложение и изъятие денег с банковских счетов, успехи и неудачи.

Таким образом, запас — текущая информация об изменениях потоков внутри системы.



Рис. 1. Как читать схемы с потоками. В этой книге для обозначения запасов используются прямоугольники, потоки показаны трубами со стрелками, направленными к запасам или от них. Вентиль на трубах показывает, что интенсивность потока можно регулировать или что поток можно полностью перекрывать. «Облака» — места, откуда выходят входящие и куда ведут исходящие потоки, то есть источник и сток, которые неважны для дальнейшего обсуждения

Месторождение полезных ископаемых — пример запаса, а добыча руды — исходящий поток из него. Существенный входящий поток руды в месторождения (восполнение ее запасов) занимает миллиарды лет, поэтому на рисунке 2 изображена упрощенная схема системы, в которой нет входящего потока. На самом деле *любые диаграммы и описания систем* — это упрощенные версии реальных объектов в мире.



Рис. 2. Истощение запасов полезных ископаемых в результате добычи

Вода в водохранилище — запас, пополняемый дождевыми и речными водами. Исходящие потоки водохранилища — испарение и сброс воды через плотину.

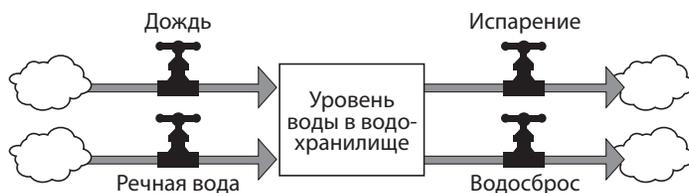


Рис. 3. Запас воды в водохранилище с несколькими входящими и исходящими потоками

Объем древесины в деревьях — еще один пример запаса. Его входящий поток — рост деревьев. Исходящий — естественная гибель деревьев и вырубка леса. Вырубленные деревья становятся новым видом запасов, например стройматериалами на складе лесопилки. Его исходящий поток — продажа пиломатериалов клиентам.

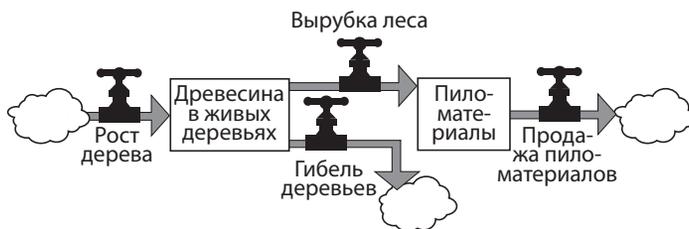


Рис. 4. Запас пиломатериалов непосредственно связан с запасом деревьев в лесу

Если вы понимаете динамику запасов и потоков, то есть их изменение с течением времени, то хорошо разбираетесь в поведении сложных систем. Если вам приходилось набирать воду в ванну, вы должны понимать эту динамику.



Рис. 5. Схема заполнения ванны: один запас с одним входящим и одним исходящим потоками

Представьте ванну, наполненную водой. Слив закрыт, краны выключены — неизменная, статичная, скучная система. Теперь представьте, что затычку вытащили. Очевидно, уровень воды в ванне будет падать до тех пор, пока она не станет пустой.



Рис. 6. Изменение уровня воды в ванне при открытом сливе

КАК ЧИТАТЬ ГРАФИКИ И СХЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ВО ВРЕМЕНИ

Чтобы понять, как изменяется система с течением времени, нет смысла фокусироваться на отдельных событиях. Для этого используются соответствующие графики поведения систем во времени, которые в том числе позволяют узнать, приближается ли система к цели или пределу, и если да, то как быстро.

Вертикальная ось на таких графиках отображает величину (или уровень) запаса или потока. При этом форма линии, равно как и точки, в которых она изменяет направление, обычно более информативны, чем конкретные значения.

Горизонтальная ось времени позволяет понять последовательность изменений и что может произойти в дальнейшем. Мы можем выбрать определенный временной диапазон, чтобы узнать поведение системы в заданный промежуток времени.

А теперь снова представьте, что перед вами полная ванна и вы опять открываете сливное отверстие, но на этот раз, когда ванна примерно наполовину опустела, включаете кран. Скорость поступающей в ванну воды из крана становится равной скорости вытекания воды в слив. Что произойдет? Количество воды остается постоянным. Такое состояние называется динамическим равновесием: уровень воды в ванне не изменяется, хотя вода непрерывно протекает через ванну.

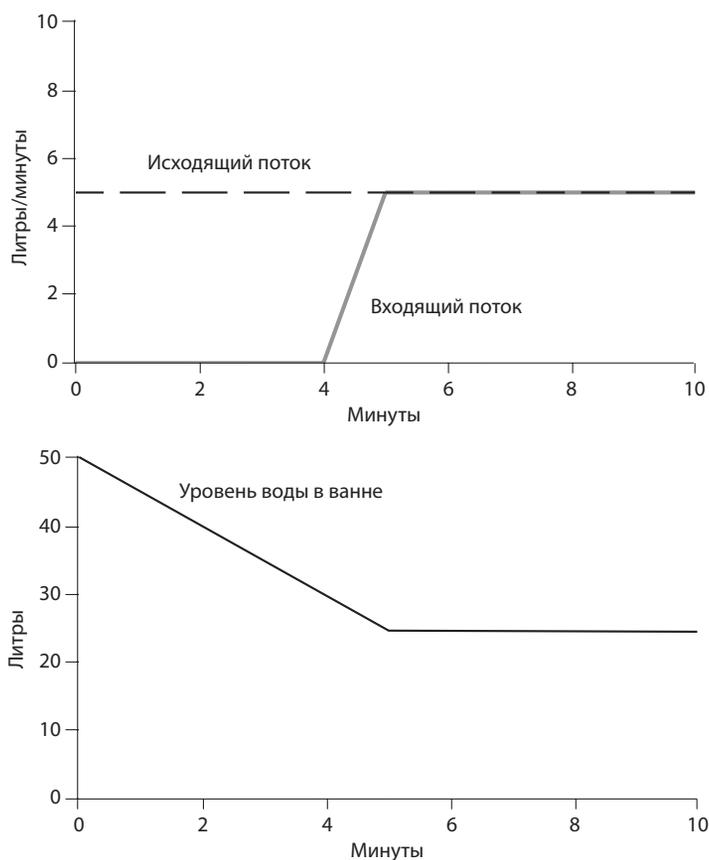


Рис. 7. Изменение уровня воды в ванне при постоянном исходящем потоке; входящий поток, по величине равный исходящему, включается на 5-й минуте. В результате объем воды в ванне стабилизируется

Представьте, что вы поворачиваете кран, постепенно увеличивая напор воды. В этом случае в ванну будет поступать больше воды, чем вытекать из нее, и уровень воды начнет медленно подниматься. Если

вы ослабите давление, уровень воды перестанет расти. Выключите кран — и уровень воды станет медленно падать.

Модель с наполнением ванны водой — описание очень простой системы с одним входящим и одним исходящим потоками. В ней было сделано допущение, что в течение краткого периода времени (минуты) испарение из ванны было незначительным, и поэтому оно не учитывалось как исходящий поток. Все модели — умозрительные или математические — это упрощения реального мира. Зная динамические возможности этой модели, вы выявите несколько важных принципов, которые распространяются и на более сложные системы:

- Если сумма величин всех входящих потоков превышает сумму исходящих, уровень запаса будет расти.
- Если суммарная величина всех исходящих потоков превышает суммарную величину всех входящих, уровень запаса будет падать.
- Если суммарная величина всех исходящих потоков равна суммарной величине всех входящих, уровень запаса не изменится; запас будет находиться в динамическом равновесии на том уровне, которого он достиг в тот момент, когда входящий и исходящий потоки стали равными.

Человеческий разум склонен в первую очередь обращать внимание на запасы, а не на потоки. При этом когда мы сосредоточиваемся на потоках, мы чаще присматриваемся к входящим потокам, а не к исходящим. Поэтому мы иногда забываем, что можно заполнить емкость не только за счет увеличения скорости входящего потока, но и за счет снижения скорости исходящего. Все понимают, что можно продлевать жизнедеятельность нефтяной отрасли, лишь открывая новые нефтяные месторождения. Сложнее осознать, что такой же результат можно получить, уменьшая расход нефти. Прорыв в области эффективного использования электроэнергии эквивалентен открытию нового нефтяного месторождения, хотя в этом случае выиграют совсем другие люди.

Запасы могут быть увеличены как за счет уменьшения скорости исходящих потоков, так и за счет увеличения скорости входящих. Существует несколько способов заполнить ванну!

Аналогично компания может удерживать численность персонала примерно на одном уровне и нанимая больше новых сотрудников, и стараясь сохранить старых. Эти две стратегии требуют совершенно разных затрат. Благополучие страны можно увеличить за счет инвестиций в строительство фабрик и производство оборудования. А можно (зачастую это дешевле) за счет снижения скорости износа оборудования и повышения его качества.

Наполняя ванну, можно перекрывать слив и открывать краны, то есть регулировать потоки. Гораздо труднее быстро изменить уровень воды — объем запаса. Вода не утечет в слив мгновенно, даже если вы полностью его откроете. Ванна не заполнится сразу, даже если вы повернете ручку крана до предела. *Чтобы уровень запасов изменился, входящим и исходящим потокам требуется время.* Это крайне важно. Это ключ к пониманию того, почему системы ведут себя так, а не иначе. Изменение запасов не происходит быстро. Это может выражаться в запаздывании, инертности системы. Запасы могут выступать в качестве смягчающего буфера по отношению к внешним воздействиям на систему.

Запасы обычно изменяются медленно, даже когда входящие и исходящие потоки меняются внезапно. **Происходит запаздывание изменения запаса, или он действует как смягчающий буфер по отношению к внешним воздействиям на систему**

Люди часто недооценивают инертность, внутренне присущую запасам. Чтобы численность населения, объем древесины или уровень воды в резервуаре увеличились, требуется время. Государство не построит много действующих заводов, автомагистралей и электростанций за одну ночь даже при наличии средств. Невозможно быстро переоборудовать большую часть заводов и автомобильных двигателей, работающих на нефтяном топливе, для использования топлива другого типа, даже если цена на нефть внезапно возрастет. Загрязнение стратосферы, сопровождающееся разрушением озонового слоя, длилось десятилетия. На устранение этой проблемы тоже потребуются десятилетия.

Изменения в запасах определяют динамичность систем. Индустриализация не осуществится быстрее скорости, с которой строятся фабрики, изготавливается оборудование, обучается персонал. Леса не вырастают в одночасье. Время на очистку грунтовых вод определяется скоростью их оборота, то есть на это могут уйти десятилетия или даже столетия.

Запаздывания по времени, вызываемые медленным изменением запасов, могут провоцировать проблемы в системах, но также могут быть источниками стабильности. Почвенные наносы, накапливавшиеся столетиями, не могут в одночасье подвергнуться эрозии. Специалисты, получившие профессиональную подготовку, не забывают всё мгновенно. Можно достаточно долго добывать грунтовые воды со скоростью, превышающей скорость пополнения запаса. Такие временные задержки позволяют маневрировать, экспериментировать и изменять неработающие стратегии.

Если вы мыслите здраво и способны понять, с какой скоростью изменяются запасы, то не станете ожидать, что события произойдут быстрее возможного. Вы не сдадитесь слишком рано, а извлечете пользу из инертности системы. Мастера дзюдо используют задержку в движении противника, чтобы одержать победу.

Существует еще один важный принцип поведения запасов в системах, — принцип, который приведет нас к понятию обратной связи. **Наличие запасов позволяет входящим и исходящим потокам не зависеть друг от друга и временно оставаться не сбалансированными**

Было бы сложно управлять нефтяной компанией, если бы требовалось производить бензина столько, сколько его расходуется в данный момент. Невозможно вырубать лес с такой же скоростью, с которой растут деревья. Бензин в резервуарах-хранилищах и древесина в лесу — это запасы, позволяющие жить с долей определенности и предсказуемости, даже если на короткое время потоки изменятся.

Благодаря запасам входящие и исходящие потоки могут быть независимыми друг от друга и не уравниваться в течение некоторого промежутка времени.

Чтобы входящие и исходящие потоки не зависели друг от друга и оставались устойчивыми, люди изобрели сотни устройств, позволяющих поддерживать запасы на определенном уровне. Водохранилища дают возможность населению и фермерам жить и работать, не опасаясь засухи и наводнений. Благодаря накоплениям на банковском счете мы иногда тратим больше, чем зарабатываем. Запасы продуктов на складах позволяют цепочке от дистрибьюторов к оптовикам и — далее — к розничным торговцам бесперебойно удовлетворять спрос потребителей, даже если темпы производства варьируются.

Большинство решений, принятых отдельными людьми или организациями, направлено на то, чтобы регулировать величину запасов. Если объем запасов становится слишком высоким, необходимо либо снижать цены, либо увеличивать рекламный бюджет. Тогда продажи возрастут, а запасы уменьшатся. Обнаружив, что дома практически не осталось продуктов, вы пойдете в магазин. В зависимости от происходящего с посевами на полях фермеры решают, применять ли пестициды и усиливать ли полив; зерновые компании рассчитывают, какое количество транспортировочных средств заказывать для перевозки урожая; перекупщики вычисляют будущие цены на урожай; скотоводы регулируют поголовье скота. Уровень воды в водохранилищах всегда находится под контролем, так как он не должен быть ни слишком высоким, ни слишком низким. И точно так же, как вы следите за количеством денег в своем кошельке, нефтяные компании следят за запасами нефти, фабрики, на которых производят бумагу, — за запасами древесины, а местные власти — за концентрацией загрязняющих веществ в озере.

Любые запасы находятся под постоянным контролем. В зависимости от величины прихода и расхода принимаются соответствующие решения, направленные на увеличение, уменьшение и поддержание уровня запасов в допустимых пределах. Специалисты, хорошо представляющие, что такое системы, рассматривают мир как множество запасов, величина которых регулируется соответствующими механизмами и за счет управления потоками.

Это означает, что они смотрят на мир как на совокупность «процессов обратной связи».

Как система управляет собой: обратная связь

Управление информационными системами с обратной связью лежит в основе всей жизни и всех человеческих усилий, от медленных шагов биологической эволюции до запуска космических спутников... Все, что мы делаем как индивидуумы, как предприятие или как общество, осуществляется в том же контексте информационной системы с обратной связью.

Джей У. Форрестер³

Если независимо от внешних факторов запасы увеличиваются, уменьшаются быстрыми темпами или удерживаются в определенном диапазоне, значит существует некий механизм управления системой. Другими словами, если поведение системы не меняется со временем, то на систему удастся воздействовать и делать это через **цикл обратной связи**. Последовательное поведение системы в течение длительного периода времени — первый признак наличия цикла обратной связи.

О действии обратной связи можно говорить в тех случаях, когда изменение запаса влияет на входящие и исходящие потоки. Цикл обратной связи может быть довольно простым и явно выраженным. Рассмотрим процентный сберегательный вклад в банке. Общая сумма на счете влияет на сумму денежных средств, поступающих на него в виде процентов. По правилам банка начисление процентов происходит не реже раза в год. Начисленная сумма, выплачиваемая ежегодно, не остается фиксированной величиной и зависит от размера общей суммы на счете.

С примером действия цикла обратной связи сталкиваются и те из вас, кто ежемесячно получает зарплату на карту. Если баланс средств на счете (запас) снижается, вы решаете, например, работать больше, чтобы больше зарабатывать. Деньги, поступающие на карту, — поток, который можно отрегулировать таким образом, чтобы увеличить запас до желаемого значения. Если накопления становятся достаточно большими, вы можете начать работать меньше (уменьшая входящий поток). Такой тип обратной связи позволяет поддерживать запас денег на приемлемом для вас уровне. На самом деле корректировка доходов не единственный цикл обратной связи, который работает на вашем

денежном счете. Существует также и цикл обратной связи, регулирующий исходящие из запасов на счете потоки.

За счет действия циклов обратной связи уровень запаса поддерживается в пределах определенного диапазона, увеличивается или уменьшается. В любом случае входящие и исходящие потоки корректируются при изменении величины запаса. В случае нежелательного изменения уровня запасов запускается процесс, вносящий изменения в систему, который осуществляется путем увеличения или уменьшения темпа входящего и/или исходящего потоков. Можно сказать, что уровень запаса управляет собой через обратную связь, состоящую в последовательности сигналов и действий.

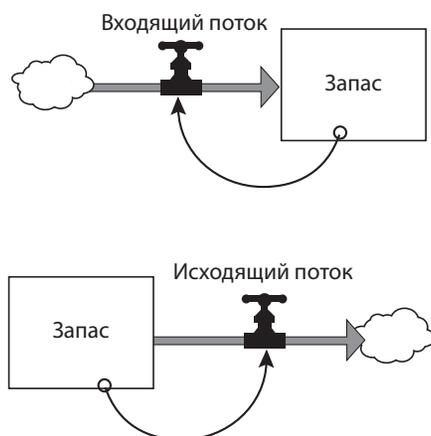


Рис. 8. Как читать схемы потоков с циклами обратной связи. На каждой такой схеме указаны: запас, поток, изменяющий величину запаса, и управляющая действием информационная связь (показана изогнутой стрелкой). Она либо усиливает воздействие, либо изменяет запас, регулируя потоки

Цикл обратной связи представляет собой замкнутую цепочку причинно-следственных связей, которые реализуются через набор решений или правил, физических законов или действий и не только зависят от уровня запаса, но и влияют на него

Не все системы имеют циклы обратной связи. Некоторые из них относительно просты и представляют собой открытые цепочки запасов

и потоков, на которые могут влиять лишь внешние факторы. Но уровни запасов в них не влияют на величину потоков. Тем не менее, как мы увидим дальше, систем с обратной связью намного больше.

Стабилизирующие циклы. Балансирующая обратная связь

Как вы видели на примере изменения текущего счета в банке, существует вид цикла обратной связи, который стабилизирует величину запаса. Уровень запаса не может оставаться строго фиксированным, его величина колеблется в допустимом диапазоне. Ниже приведены примеры стабилизирующих циклов обратной связи, которые могут быть вам знакомы. В них подробно излагаются некоторые этапы цикла обратной связи.

Если вы пьете кофе для того, чтобы почувствовать прилив бодрости, то берете в руки чашку горячего черного напитка и представляете, что становитесь энергичнее (пополняете уровень запаса энергии). Цель этой системы доставки кофеина — удержать ваш фактический запас энергии на желаемом уровне. Конечно, цели могут быть и другими: насладиться прекрасным ароматом, выпить чашечку кофе в приятной компании и так далее, но именно то обстоятельство, что вы менее энергичны, чем вам необходимо, и провоцирует желание выпить кофе.

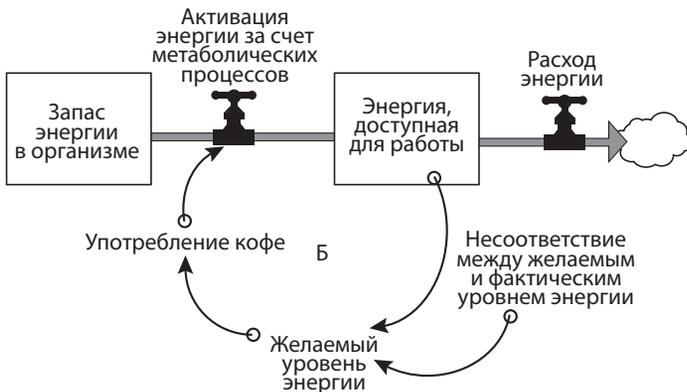


Рис. 9. Изменение уровня энергии человека, пьющего кофе

Обратите внимание, что надписи на рисунке 9, как и на всех подобных схемах в этой книге, не содержат сравнения больше/меньше.

Надписи гласят «запас энергии в организме», а не «низкий уровень энергии», «употребление кофе», а не «употребление большего количества кофе». Такая формулировка объясняется тем, что циклы обратной связи часто работают в двух направлениях. В нашем случае цикл обратной связи может корректировать как избыточные потоки, так и недостаточные. Если вы выпьете слишком много кофе, уровень энергии повысится и какое-то время вы будете воздерживаться от кофеина. Если энергетический уровень окажется слишком высоким, вы сократите потребление кофе до тех пор, пока он не достигнет нормального значения. Схема показывает, что цикл обратной связи работает в сторону как уменьшения, так и увеличения запасов.

На схеме можно было бы показать входящий поток энергии просто вытекающим из «облака», но в данном случае схема немного сложнее. Нельзя забывать, что *на любой системной схеме реальный мир представлен упрощенно*. Насколько — решать вам. В приведенном выше примере упоминается еще один запас — запас энергии в организме, и эта энергия активируется при помощи кофеина. Это показывает, что система — нечто большее, чем один простой цикл. Каждый любитель кофе знает, что действие кофеина достаточно быстро заканчивается. Образно говоря, кофе позволяет быстрее запустить двигатель, но не наполняет «топливный бак». В результате организм становится еще более истощенным, чем до употребления кофе. Это активирует новый цикл обратной связи и заставляет нас снова наполнять свою кружку бодрящим напитком (см. далее описание наркотической зависимости), хотя разумнее и дальновиднее было бы перекусить, прогуляться или выспаться.

Такой стабилизирующий, целенаправленный, регулирующий величину запасов цикл называется **балансирующим (уравновешивающим, стабилизирующим) циклом обратной связи**, и на схемах такие циклы отмечены буквой «Б». Цель балансирующих циклов обратной связи — *достижение* необходимого уровня запасов и *стабилизация* их величины. Каждый подобный цикл стремится к тому, чтобы удерживать величину запасов на заданном уровне (или в пределах определенного диапазона). Балансирующий цикл противодействует любому воздействию на систему, которое может изменить запасы. Если запасы

слишком сильно возрастут, действие цикла будет направлено на их уменьшение, и наоборот.

Еще один пример кофе и балансирующего цикла обратной связи, который относится не к человеческим решениям, а к законам физики. Горячий кофе в чашке постепенно остывает до комнатной температуры. Скорость его охлаждения зависит от разницы между температурой кофе и температурой в помещении. Чем она больше, тем быстрее будет остывать кофе. Цикл работает и в обратную сторону: если вы приготовите холодный кофе в жаркий день, он будет нагреваться до тех пор, пока его температура не станет такой же, как температура в помещении. Цель этой системы — довести разницу температур между температурой кофе и температурой воздуха в помещении до нуля. И не имеет значения, был ли кофе более горячим или более холодным.

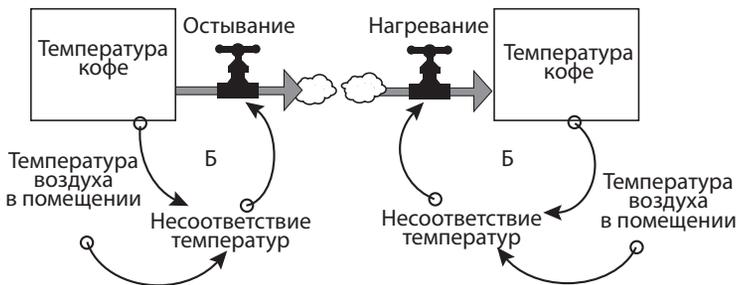


Рис. 10. Схемы остывания (слева) и нагрева (справа) чашки кофе

Графики, приведенные на рисунке 11, показывают, как меняется температура холодного и горячего кофе в одном помещении с течением времени. Это типичный пример поведения балансирующего цикла обратной связи. Независимо от изначального значения запаса системы (температуры кофе), будь оно выше или ниже желаемого (комнатной температуры), цикл обратной связи приближает его к одной и той же цели. Сначала изменения происходят быстро, но скорость охлаждения (или нагрева) постепенно снижается по мере того, как расхождение между текущим и целевым значением запаса уменьшается.

Эту модель поведения — стремление системы к заданной цели — можно проследить, наблюдая за радиоактивным распадом, само-

наводящимися ракетами, обесцениванием активов, контролируемым уровнем воды в водохранилище, регуляцией организмом уровня глюкозы в крови, торможением автомобиля перед светофором. Придумайте свои примеры. Мир полон циклов обратной связи.

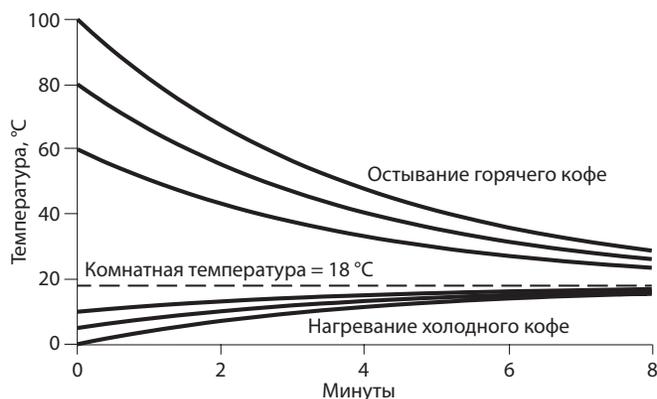


Рис. 11. Приближение значения температуры кофе к температуре воздуха в помещении, равной 18 °C

Балансирующие (уравновешивающие, стабилизирующие) циклы обратной связи — это структуры, цель которых заключается в стремлении к поддержанию запасов на требуемом уровне и обеспечении стабильности и устойчивости системы

Наличие механизма обратной связи не значит, что он работает хорошо. Он может оказаться недостаточно сильным, чтобы довести запас до желаемого уровня и поддерживать его. Взаимные влияния элементов системы, ее информационная часть дают сбой по многим причинам. Информация запаздывает или поступает не в тот участок системы. Она может быть неявной, неполной или труднораспознаваемой. Ответная реакция — слишком слабой, запоздалой, недостаточной или неэффективной. Тогда цель обратной связи не реализуется. Но в случае с чашкой кофе температура напитка в итоге все же сравняется с комнатной температурой.

Отклоняющиеся циклы. Усиливающая обратная связь

Мне нужен отдых, чтобы освежить разум. Чтобы отдохнуть, необходимо путешествовать, чтобы путешествовать, надо иметь деньги, чтобы иметь деньги, нужно работать... Я в порочном кругу... из которого невозможно выбраться.

Оноре де Бальзак⁴, писатель и драматург XIX века

В этой ситуации мы сталкиваемся с очень важной особенностью. Кажется, эти рассуждения приводят нас в замкнутый круг: прибыль упала, потому что уменьшились инвестиции, а инвестиции уменьшились, потому что упала прибыль.

Ян Тинберген⁵, экономист

Второй вид циклов обратной связи нарастает как снежный ком. Циклический круг может привести как к желаемым, так и нежелательным последствиям, может вызвать стабильный рост или разрушение. Он называется *усиливающим* циклом обратной связи и помечается на схемах «Усил.». Такие циклы увеличивают входящие потоки в случаях, когда значение запаса уже высокое (и уменьшают, когда низкое). Усиливающий цикл обратной связи при любом направлении изменений делает их более выраженными.

Например:

- Чем сильнее один брат толкает другого, тем сильнее второй старается толкнуть первого, и наоборот.
- Чем больше растут цены, тем сильнее должна повышаться заработная плата, чтобы люди могли поддерживать определенный уровень жизни. Чем выше заработная плата, тем сильнее нужно повышать цены, чтобы прибыль оставалась на требуемом уровне. Это означает, что заработная плата снова должна возрасти, а за ней и цены.
- Чем больше кроликов спаривается, тем больше рождается крольчат. Чем больше крольчат, тем больше вырастет кроликов, которые дадут потомство.

- Чем сильнее верхний слой поверхности земли подвергается эрозии, тем менее пригодным для растений становится. Поэтому в почве оказывается мало корней, которые могли бы ее укрепить. В итоге качество почвы ухудшается, и на ней вырастает еще меньше растений.
- Чем больше я играю на фортепиано, тем больше удовольствия получаю от его звучания, и поэтому еще больше времени провожу за инструментом, тем самым повышая уровень игры и получая удовольствие.

Усиливающие циклы есть в любой системе, элемент которой способен воспроизводить сам себя или часть себя. Они действуют в таких системах, как, например, население страны или экономика. Помните пример с банковским счетом? Чем больше у вас денег в банке, тем бóльшую сумму вы получаете в виде процента. В итоге сумма на счете увеличивается, а вместе с ней и следующая выплата.

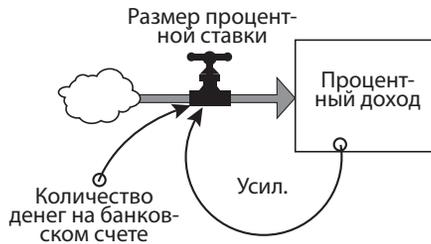


Рис. 12. Начисление процентов по банковскому вкладу

Пять кривых, приведенных на рисунке 13, показывают, как благодаря усиливающему циклу происходит увеличение суммы средств на счетах с разными процентными ставками — от 2 до 10% в год, — на которых исходно лежало 100 долларов. При этом никаких дополнительных взносов или снятий в течение двенадцати лет не предполагается.

Кривые, приведенные на рисунке 13, отражают не просто линейный рост. Видно, что скорость роста непостоянна. Увеличение банковского счета при более низких процентных ставках кажется линейным первые несколько лет. На самом деле скорость роста все время увеличивается.

Чем больше денег на счете, тем больше прибыль. Такой рост называется экспоненциальным. Это может быть как хорошо, так и плохо — в зависимости от того, о чем идет речь. О счете в банке, о носителях

ВИЧ, о количестве вредителей на кукурузном поле, о национальном благосостоянии или о запасах оружия в гонке вооружений.

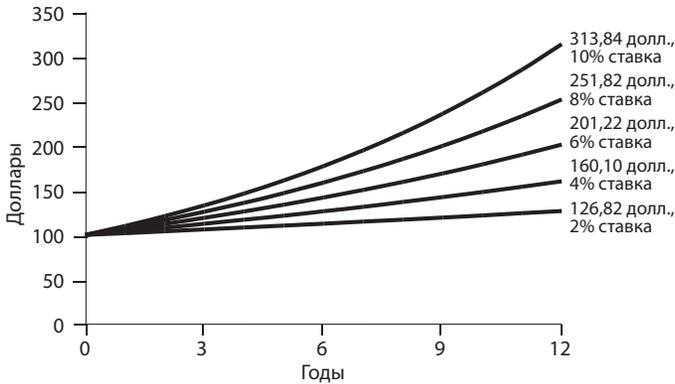


Рис. 13. Рост сбережений на вкладах с различными процентными ставками

Усиливающие циклы обратной связи, работая сами на себя, с течением времени приводят систему к экспоненциальному росту или разрушению. Их можно обнаружить в системах, запас которых имеет способность воспроизводить и умножать себя

Схема реинвестирования капитала (рис. 14) отчетливо демонстрирует: чем больше оборудования и фабрик (вместе именуемых «капитал») у вас имеется, тем больше товаров и услуг («продукты») вы можете произвести. Чем больше продуктов вы произведете, тем больше инвестируете в строительство новых заводов и закупку оборудования, чтобы выпустить еще больше. Усиливающий цикл обратной связи — главный двигатель роста экономики.

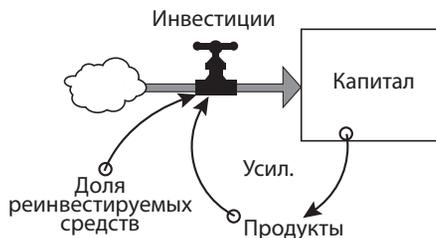


Рис. 14. Реинвестирование капитала

Вы уже познакомились с основными принципами действия балансирующих и усиливающих циклов обратной связи в системах. Представьте любое решение без влияния обратной связи. Решение, которое принимается без учета информации об уровне запаса, на который оно должно повлиять. Задумайтесь! Чем больше вы будете думать, тем больше циклов обратной связи начнете видеть вокруг себя.

Самые распространенные примеры систем «без обратной связи», которые предлагают студенты, — влюбленность и самоубийство. А как вам кажется, эти решения принимаются без какой-либо обратной связи?

Но будьте осторожны! Есть опасность, что вы станете системным мыслителем! И тогда вместо того чтобы видеть только то, как А влияет на Б, вы начнете задаваться вопросами, как Б влияет на А и как А усиливает или изменяет себя. Когда услышите в новостях, что Федеральный резервный банк предпринял какие-либо действия для регулирования экономики, то сразу поймете, что экономика как-то повлияла на Федеральный резервный банк. Когда кто-нибудь скажет, что рост населения приводит к бедности, вы спросите себя: «А влияет ли бедность на рост населения?»

ОБ УСИЛИВАЮЩИХ ЦИКЛАХ И ВРЕМЕНИ УДВОЕНИЯ

Поскольку мы часто сталкиваемся с усиливающими циклами, полезно знать одну их особенность: время, затрачиваемое на то, чтобы величина запаса удвоилась при ее экспоненциальном росте («время удвоения»), примерно равно частному от деления 70 на величину скорости роста (в %).

Например: если вы положите в банк 100 долларов под 7% годовых, то удвоите сумму своих сбережений через 10 лет ($70/7 = 10$). Если ставка равна 5% — на удвоение суммы вам понадобится 14 лет.

Теперь вы будете представлять мир не статичным, а динамичным. Вы перестанете искать виноватого, а вместо этого задумаетесь: «Как работает система?» Концепция обратной связи подсказывает нам, что система способна сама отвечать за свое поведение.

ПОДУМАЙТЕ ОБ ЭТОМ

Если А является причиной Б, возможно ли, что Б тоже служит причиной А?

До сих пор мы рассматривали системы только с одним циклом обратной связи. Конечно, в реальных системах такое встречается редко. Цикл, как правило, не один, и для них часто характерны фантастически сложные взаимосвязи. Для одного запаса естественно иметь несколько усиливающих и балансирующих циклов различной силы, растягивающих его в нескольких направлениях. Один поток может корректироваться значениями трех, пяти или двадцати разных запасов. Он может увеличивать один запас, истощая этим другой, а в результате изменяя еще и третий. Во многих системах циклы обратной связи все время «перетягивают на себя одеяло», действуя друг против друга, пытаясь одновременно заставить запасы расти, уменьшаться или находиться в равновесии. В результате сложные системы демонстрируют гораздо более сложное поведение, чем стагнация, или экспоненциальный рост, или планомерное достижение целей. И об этом мы поговорим в следующей главе.

Глава 2

КРАТКАЯ ЭКСКУРСИЯ ПО «СИСТЕМНОМУ ЗООПАРКУ»

Основные понятия и принципы, не сводимые уже к другим, составляют неизбежную, рационально неуловимую часть теории. Сделать эти основные элементы максимально простыми и немногочисленными, не упустив при этом адекватного изложения чего-либо, содержащегося в опытах, вот главная цель любой теории.

Альберт Эйнштейн¹, физик

Что-то новое иногда проще узнать и понять на конкретных примерах, а не в виде абстрактных представлений и общих принципов. Именно поэтому далее в книге приводятся примеры распространенных и простых, но при этом важных систем, которые иллюстрируют многие общие принципы действия систем более сложных.

У набора систем, как у любой группы животных в зоопарке, есть положительные и отрицательные стороны². Он дает общее представление о многообразии существующих в мире систем, но далек от того, чтобы создать полную картину этого многообразия. В зоопарках животных группируют по семействам: обезьяны — здесь, медведи — там (системы с одним видом запасов — здесь, с двумя — там); такая классификация позволяет наблюдать за характерным поведением обезьян и сравнивать его с поведением медведей. Это упрощенный подход. Для того чтобы поведение животных казалось посетителям более наглядным и понятным, семейства отделяют друг от друга и помещают в искусственные условия обитания. В естественной среде животные чаще взаимодействуют между собой. Точно так же системы, описанные в этой книге, контактируют и взаимодействуют и между собой, и с другими системами, о которых здесь не упоминается, образуя звучный, изменчивый и сложный многокомпонентный мир, в котором мы живем.

К экосистемам мы вернемся позднее, а сейчас давайте рассмотрим «системных животных» по отдельности.

Системы с одним видом запасов

Термостат: запас под действием двух конкурирующих балансирующих циклов

С принципом работы балансирующего цикла обратной связи в системе вы познакомились на примере с охлаждением чашки кофе. Но что произойдет, если в системе будут действовать два таких цикла, пытающихся изменить величину одного и того же запаса в противоположных направлениях?

Один из примеров такой системы — термостат, регулирующий температуру в помещении. Как и для всех описанных ранее систем, схема термостата (рис. 15) — упрощенный вариант реальной системы отопления.

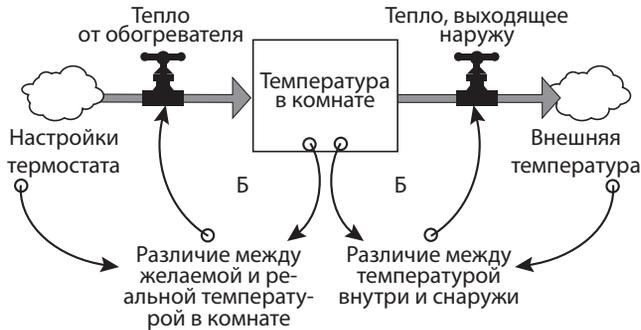


Рис. 15. Температура в помещении, регулируемая обогревателем с термостатом

Когда температура в помещении падает ниже значения, заданного настройками термостата, он фиксирует несоответствие и посылает сигнал, который включает подачу тепла для отопления комнаты. Когда температура в помещении вновь поднимается, термостат отключает подачу тепла. Такой незамысловатый балансирующий цикл обратной связи показан в левой части схемы, приведенной на рисунке 15. Если бы в системе не было других элементов, процесс был бы запущен при низкой температуре в помещении, а настройки термостата показывали значение температуры равным 18 °С, то поведение системы было бы

таким, как показано на рисунке 16: включается отопление, и комната нагревается. Когда температура в комнате становится равной значению, указанному отметкой на термостате, подача тепла отключается.

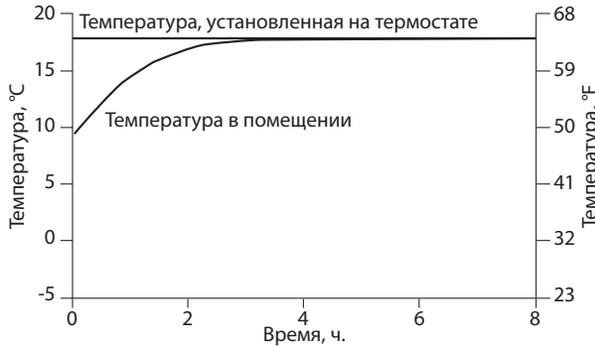


Рис. 16. Температура в холодном помещении быстро повышается до значения, указанного настройками термостата

Тем не менее это не единственный цикл в системе. Тепло также частично рассеивается и утекает наружу. Утечка тепла регулируется вторым балансирующим циклом обратной связи, изображенным в правой части схемы на рисунке 15. Этот цикл стремится сравнить температуру в помещении с температурой на улице, как в случае с охлаждением кофе.

При единственном цикле в системе процесс можно было бы описать графиком (рис. 17), показывающим, с какой скоростью остывает воздух в теплой комнате в холодный день.

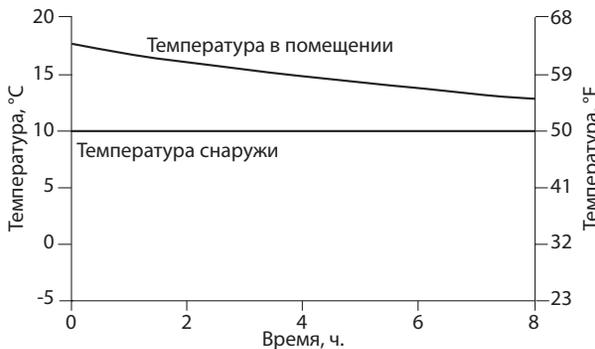


Рис. 17. Температура в теплой комнате очень медленно падает до значения, равного 10°C и соответствующего температуре воздуха снаружи

Предполагается, что теплоизоляция не идеальна, поэтому тепло из комнаты утекает наружу. Чем лучше изоляция, тем медленнее будет происходить снижение температуры в комнате.

Что же произойдет при одновременной работе двух циклов? Предположим, что в помещении хорошая теплоизоляция, а площадь обогревателя позволяет циклу, отвечающему за подачу тепла, преобладать над циклом, отвечающим за утечку наружу. В таком случае в помещении будет тепло (рис. 18) даже в холодный день.

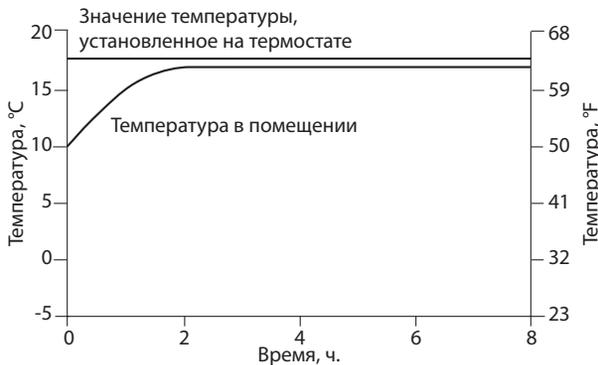


Рис. 18. При включенном обогревателе температура в помещении повышается до заданного значения и поддерживается на этом уровне, несмотря на утечки тепла

Чем выше температура в помещении, тем больше тепла отдается наружу, так как разница между температурой внутри и вовне помещения возрастает. Однако обогреватель подает большее количество тепла, чем то, что успевает рассеяться наружу, поэтому температура в помещении достигает установленной отметки. Обогреватель включается и отключается, компенсируя потери тепла в помещении.

Как видно из рисунка 18, в данном случае термостат установлен на отметку 18 °C, но температура в помещении чуть ниже заданного значения. Всему виной утечка теплого воздуха наружу, которая происходит, даже когда обогреватель получает сигнал о включении нагрева. Такое поведение характерно для системы с конкурирующими балансирующими циклами. Чем-то это напоминает процесс наполнения водой ведра с отверстием в днище. Усложняет ситуацию то обстоятельство,

что утечка воды регулируется циклом обратной связи: чем больше в ведре воды, тем больше ее давление, и это, в свою очередь, усиливает исходящий поток! Что касается поддержания температуры в помещении, то чем ниже температура снаружи, тем больше тепла рассеивается. Обогревателю требуется время, чтобы компенсировать потери тепла, но и в течение этого времени утечка продолжается. В доме с хорошей теплоизоляцией утечка будет происходить медленнее, поэтому в нем будет комфортнее, чем в доме с плохой теплоизоляцией, даже если там будет установлен мощный обогреватель.

Люди нашли способ решить эту проблему: в домах с отопительными системами на термостате устанавливают более высокое значение температуры, чем требуется. На вопрос, насколько выше, ответить сложно, так как потери тепла в холодные дни больше. В системах с термостатами контролировать температуру несложно: научиться устанавливать настройки термостата, обеспечивающие комфортную температуру, не представляет труда.

С другими системами, имеющими аналогичную структуру, попытка оценить фактическое изменение запаса в момент, когда вы пытаетесь его контролировать, вызовет большие затруднения. Допустим, вы хотите, чтобы количество определенного вида товаров на складе магазина оставалось постоянным. Но у вас нет возможности моментально пополнить запас определенного товара, чтобы сразу компенсировать его уменьшение. Если не учитывать продажи за время, пока ожидается новая партия, то уровень запасов на складе никогда не будет достаточно высоким. Точно так же практически невозможно всегда поддерживать на постоянном уровне количество имеющихся наличных денег, сложно обеспечить поддержание определенного уровня воды в водохранилище или концентрации вещества в системе непрерывной химической реакции.

Следует отметить один важный общий принцип работы систем и один частный принцип, относящийся непосредственно к модели термостата. Сначала рассмотрим общий принцип: информация, передаваемая циклом обратной связи, повлияет на поведение системы только в будущем; система не успевает реагировать быстро. Даже если решения, влияющие на работу такой системы, принимает человек, он

не изменит поведение системы, спровоцировавшее текущее воздействие обратной связи.

Информация, передаваемая циклом обратной связи — даже если эта обратная связь не проявлена физически, — повлияет исключительно на процессы, которые произойдут в системе в будущем, так как сигнал не поступает в систему оперативно и у нее нет возможности вовремя скорректировать поведение, спровоцировавшее текущую реакцию. На ответную реакцию требуется время

Почему это так важно? Потому что ответная реакция системы на воздействие обратной связи всегда задерживается. Из общего принципа работы систем следует, что поток не отреагирует молниеносно на другой поток. Он может отреагировать только на изменение запаса, причем с небольшим запаздыванием в связи с обработкой информации. При наполнении ванны мы за долю секунды оценим уровень воды в ней и решим, как отрегулировать напор воды из крана. Что же касается большинства экономических систем, то при анализе их поведения зачастую допускается ошибка, так как предполагается, что уровень потребления или производства мгновенно отреагирует на изменения цены. Это допущение — одна из причин, объясняющих, почему реальные экономические системы ведут себя совсем не так, как прогнозируют многочисленные модели.

Балансирующий цикл обратной связи должен иметь четко поставленную задачу, учитывающую компенсацию исходящих и входящих потоков, которые могут повлиять на запас.
В противном случае процесс обратной связи не позволит достичь или вызовет превышение требуемого уровня запаса

Когда мы имеем дело с простыми системами, к которым относится и отопительная система, необходимо помнить об утечках. Без учета этого обстоятельства добиться желаемой величины запасов никогда

не получится. Если вы хотите, чтобы температура в комнате была $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, то необходимо установить настройки термостата на температуру чуть выше требуемой. Если хотите закрыть кредитную карту (или выплатить национальный долг), то необходимо повысить коэффициент погашения настолько, чтобы платежи покрыли все расходы, связанные с погашением (включая проценты по погашению). Если вам необходимо увеличить штат высококвалифицированных сотрудников, то количество вновь принятых сотрудников должно превышать количество менее квалифицированных увольняющихся работников. Иными словами, ваша воображаемая модель системы обязана учитывать все важные потоки, иначе вы удивитесь ее поведению.

Прежде чем мы закончим анализировать модель работы отопительной системы, давайте рассмотрим ее поведение при изменении температуры вне помещения. На рисунке 19 изображен график, описывающий 24-часовой промежуток стабильной работы нормальной термостатной системы при падении внешней температуры до значений ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поток тепла, поступающий от обогревателя, покрывает утечку тепла наружу. Поэтому, как только комната прогрелась, температура в помещении почти не изменяется.

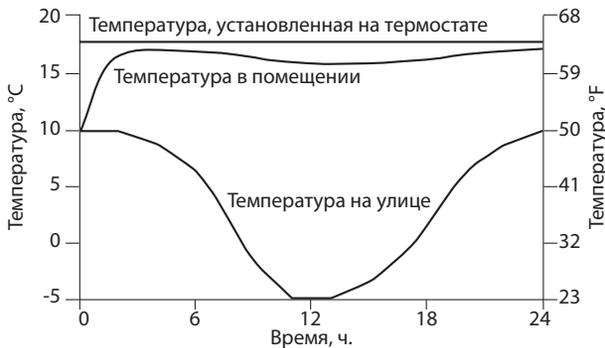


Рис. 19. Изменение температуры в помещении при включенном обогревателе для случая, когда происходит утечка тепла, а температура вне помещения ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

В каждом балансирующем цикле обратной связи имеется некая предельная пороговая точка, после перехода через которую другие циклы начинают влиять на величину запаса. Причем их воздействие на запас, приводящее к отклонению его уровня от заданного значения, будет

более сильным, чем воздействие самого цикла обратной связи, цель которого — вернуть заданную величину запаса. Такая ситуация может произойти в модели термостатной системы, если уменьшится мощность цикла, отвечающего за нагрев воздуха (например, если обогреватель будет слабее, он не сможет выделить достаточное количество тепла), или увеличится мощность цикла, отвечающего за утечку (более низкая внешняя температура, худшее качество термоизоляции или увеличение утечек). На рисунке 20 дан график изменения температуры в помещении для случая, когда изменение температуры вне помещения совпадает с приведенным на рисунке 19, но утечка тепла из помещения заметно больше. При крайне низких температурах обогреватель просто-напросто не способен компенсировать утечку тепла. Цикл, стремящийся уравнять температуру в помещении с температурой вне его, на время становится доминирующим. В комнате будет неуютно!

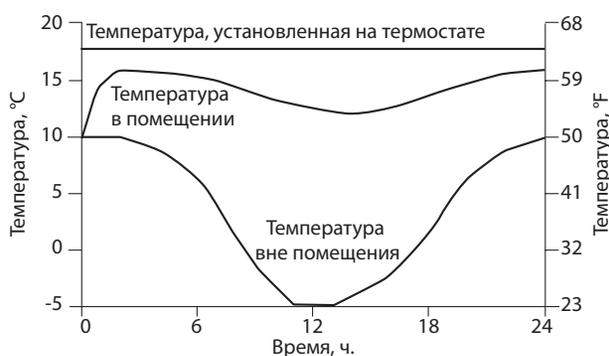


Рис. 20. Изменение температуры в помещении в морозный день, когда обогреватель не может поддерживать нужную температуру в помещении с плохой термоизоляцией

График, приведенный на рисунке 20, позволяет проследить, как с течением времени изменяются значения температуры внутри и вне помещения относительно друг друга. Сначала температура внутри и снаружи одинаковая. Входящий поток тепла от обогревателя превышает утечку тепла наружу, и воздух в помещении нагревается. В последующие два часа температура вне помещения недостаточно низкая, поэтому поток тепла от обогревателя компенсирует утечку тепла наружу, и температура находится на уровне, близком к заданному.

В момент, когда внешняя температура падает, а утечка тепла увеличивается, обогреватель становится не способен перекрыть эти потери тепла. Так как обогреватель излучает меньше тепла, чем выделяется наружу, то температура в помещении падает. Наконец, температура снаружи снова поднимается, утечка тепла становится меньше, и обогреватель, работающий на полную мощность, начинает вновь нагревать воздух в помещении.

Характер протекания процессов при нагреве помещения аналогичен тому, что мы изучали, когда рассматривали наполнение ванны водой. Когда обогреватель выделяет больше тепла, чем его утекает наружу, температура в помещении растет. Когда скорость входящего потока меньше скорости исходящего потока, температура падает. Если внимательно изучить изменения системы, зафиксированные данным графиком, и соотнести их с диаграммой цикла обратной связи этой системы, то можно легко понять, каким образом структурные взаимосвязи системы (два цикла обратной связи и изменение их мощностей относительно друг друга) влияют на ее поведение с течением времени.

Население и промышленная экономика: вид запасов с одним усиливающим и одним балансирующим циклами

Что происходит с системой, когда усиливающий и балансирующий циклы обратной связи воздействуют на один и тот же запас? Такой тип структуры — один из самых распространенных и важных. Помимо всего прочего, именно он используется для описания совокупности проживающих на определенной территории людей и любой экономической системы.

На численность населения влияют усиливающий цикл обратной связи, приводящий к его росту (определяется показателем рождаемости), и балансирующий цикл обратной связи (определяется показателем смертности населения).

Если показатели рождаемости и смертности не изменяются с течением времени (что редко случается в реальных системах), то система ведет себя предсказуемо, и описать такое поведение достаточно просто: происходит экспоненциальный рост или сокращение численности населения. Характер изменений зависит от того, какой цикл будет

сильнее: усиливающий, связанный с показателем рождаемости, или же балансирующий, определяющийся показателем смертности.

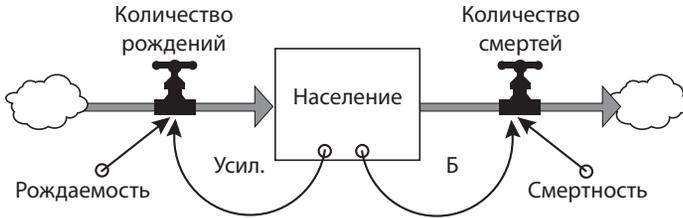


Рис. 21. Численность населения регулируется усиливающим циклом (за счет рождаемости) и балансирующим циклом (за счет смертности)

Например, в 2007 году численность населения во всем мире составляла 6,6 млрд человек. Так как в тот период коэффициент рождаемости, равный примерно 21 рождению в год на 1000 человек, был выше, чем коэффициент смертности, составлявший 9 смертей на 1000 человек, то усиливающий цикл обратной связи преобладал над балансирующим. Если бы коэффициенты рождаемости и смертности оставались неизменными по величине, то человек, рожденный в 2007 году, к 60 годам увидел бы, что население планеты увеличилось более чем вдвое, как показано на рисунке 22.

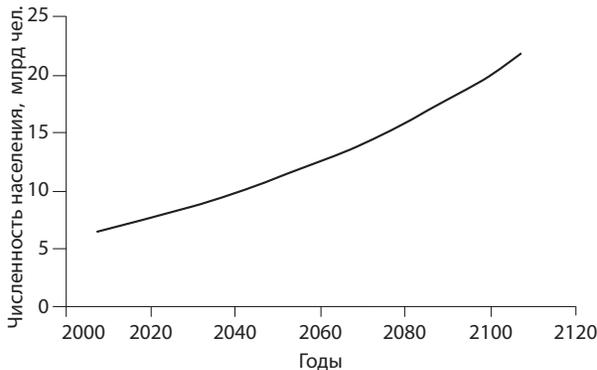


Рис. 22. Гипотетический рост численности населения при постоянных значениях показателей рождаемости и смертности на уровне 2007 года (21 рождение и 9 смертей на 1000 человек)

Если бы вследствие ужасной болезни коэффициент смертности повысился бы до значения 30 смертей на 1000 человек, в то время как

коэффициент рождаемости оставался бы на уровне 2007 года, то есть 21 рождение на 1000 человек в год, тогда балансирующий цикл, основанный на показателе смертности, начал бы преобладать в системе. Ежегодно умирало бы больше людей, чем рождалось, и численность населения постепенно начала бы уменьшаться (рис. 23).

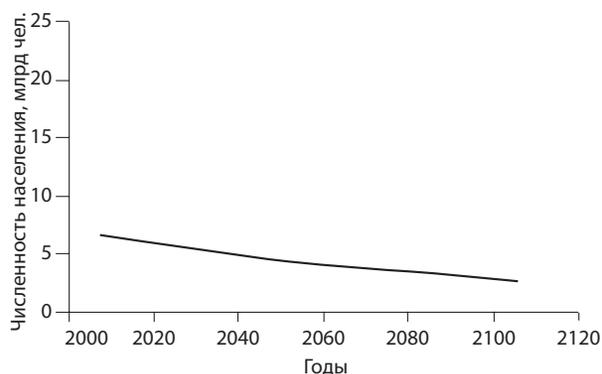


Рис. 23. Гипотетическое сокращение численности населения при значении коэффициента рождаемости на уровне 2007 года (21 рождение на 1000 человек), но при более высоком значении коэффициента смертности (30 смертей на 1000 человек)

Более интересно рассмотреть вариант, который учитывает, что со временем коэффициенты рождаемости и смертности изменяются. В долгосрочных демографических прогнозах, разрабатываемых ООН, обычно предполагается, что по мере развития стран средний уровень рождаемости будет снижаться, приближаясь к уровню воспроизводства, составляющему примерно 1,85 ребенка на каждую женщину. До недавнего времени предполагалось, что уровень смертности также будет снижаться, но медленнее (он и так достаточно низкий во многих странах). Однако в связи с эпидемией ВИЧ/СПИДа ожидается, что средняя продолжительность жизни в следующие 50 лет будет расти медленнее в регионах, где выше число ВИЧ-инфицированных.

Изменение величины потоков (рождаемости и смертности) приведет к изменению величины запаса (численности населения). На графике это будет представлено кривой. Если, например, величина коэффициента рождаемости в мире будет падать и в 2035 году сравняется с величиной коэффициента смертности, а далее оба показателя останутся

стабильными, то численность населения также не изменится, и рождаемость окажется на одном уровне со смертностью в динамическом равновесии, как показано на рисунке 24.

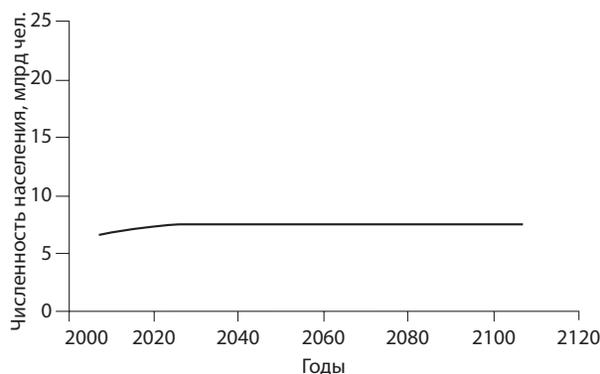


Рис. 24. Стабилизация численности населения при равных значениях показателей смертности и рождаемости

Такое поведение системы — наглядный пример обратимого доминирования циклов с обратной связью. Концепция доминирования очень важна в системном мышлении. Когда один цикл доминирует над другим, он оказывает более сильное влияние на поведение системы. Так как в системах часто несколько конкурирующих циклов обратной связи действуют одновременно, то их поведение предопределяется именно доминирующими циклами.

Когда коэффициент рождаемости превышал коэффициент смертности, в системе преобладал усиливающий цикл, и мы видели на графике экспоненциальный рост численности населения. Однако этот цикл постепенно ослабевает с падением уровня рождаемости, в какой-то момент мощности циклов, зависящих от рождаемости и смертности, выравниваются, ни один из них не доминирует, и имеет место динамическое равновесие.

Сложное поведение систем часто вызвано тем, что на запасы в них в разные моменты времени оказывают влияние разные циклы обратной связи. Это происходит, когда в системе сначала доминирует один цикл, а затем другой

Мы видели, как происходила смена доминирующих циклов в системе отопления, когда температура снаружи падала и количество утекающего тепла начинало преобладать над тем, что излучал обогреватель. До этого момента доминировал цикл, обеспечивающий нагрев, после — цикл, отвечающий за утечку тепла.

Система изменения численности населения действует по нескольким сценариям, которые зависят от ключевых переменных — рождаемости и смертности. Это единственно возможные переменные в простой системе с одним усиливающим и одним балансирующим циклами. Величина запаса в такой системе будет расти экспоненциально, если усиливающий цикл будет доминировать над балансирующим, и будет уменьшаться при обратной ситуации. Уровень запаса стабилизируется, если оба цикла будут равнозначны по своему воздействию (рис. 25).

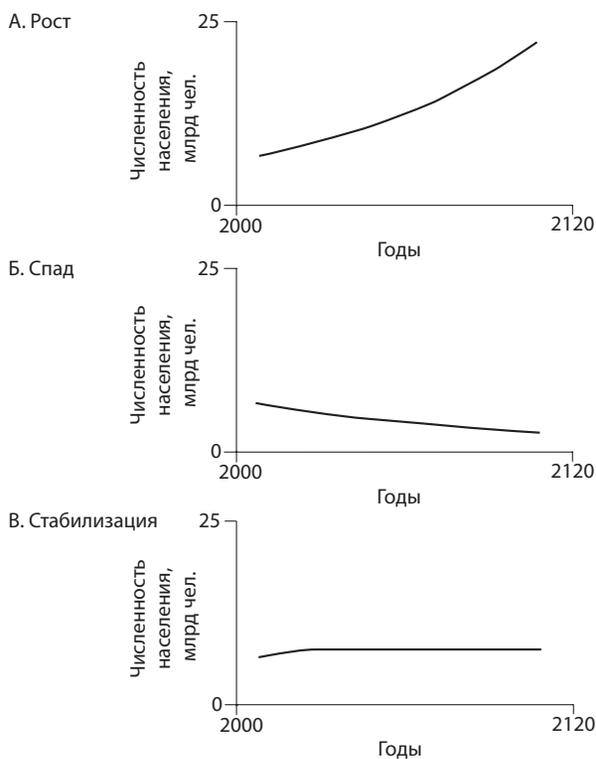


Рис. 25. Три возможных варианта изменения численности населения: рост, спад, стабилизация

В крайнем случае мы увидим последовательную реализацию переносимых сценариев, одного за другим, если относительные мощности циклов изменятся во времени (рис. 26).

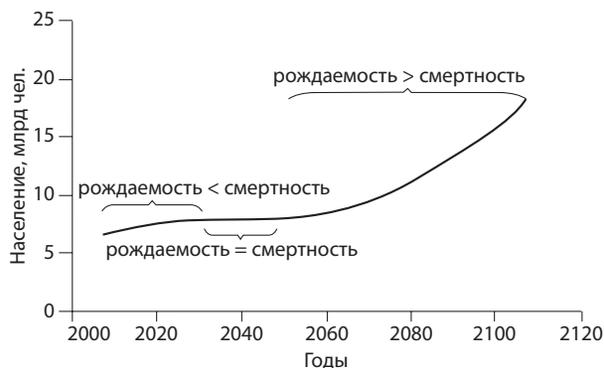


Рис. 26. Различный характер изменения численности населения в зависимости от того, какой из циклов — отвечающий за рождаемость или смертность — доминирует

Эти провокационные сценарии, описывающие различные варианты изменения численности населения, были приведены с одной целью — продемонстрировать, какое большое значение имеет правильный выбор моделей, и показать значимость событий, которые они могут инициировать. Каждый раз, когда вы имеете дело со сценарием развития событий (а таковым могут быть очередной экономический прогноз, корпоративный бюджет, прогноз погоды или изменения климата, прогноз какого-либо брокера о будущем компании), возникают вопросы, позволяющие понять, верно ли отражает действительность лежащая в основе этого сценария модель.

- Могут ли основные показатели изменяться с течением времени именно таким образом? (Как вероятнее всего поведут себя коэффициенты рождаемости и смертности?)
- Если ответ на предыдущий вопрос положительный, то точно ли, что система среагирует именно так? (Изменение коэффициентов смертности и рождаемости на самом деле привело бы к такому изменению численности населения?)
- От чего зависят основные показатели? (Какие факторы влияют на рождаемость? Какие — на смертность?)

На первый вопрос нет точного ответа. В любом случае мы предполагаем, что будет происходить в будущем, а будущее неопределенно. Даже если вы уверены в сценарии развития событий, вы не докажете свою правоту, пока будущее не наступит. С помощью системного анализа можно рассмотреть несколько сценариев, чтобы предположить, что произойдет, если основные переменные поведут себя так или иначе. В этом и заключается его цель. Но только вам решать, какой сценарий признать наиболее вероятным.

При изучении динамических систем обычно не подразумевается *предсказание* будущего. Скорее задача заключается в том, чтобы проанализировать *возможные сценарии развития событий* в зависимости от действия ряда факторов.

Второй вопрос, касающийся поведения системы, более научный. Это вопрос о том, насколько хороша модель. Улавливает ли она присущую системе динамику? Независимо от того, каким вы представляете поведение движущих сил, *будет ли система вести себя соответственно их изменениям?*

Динамические модели систем исследуют вероятные сценарии и задают вопросы из серии «а что, если?..»

В сценариях, описанных выше, независимо от вашего мнения об их вероятности, ответ на второй вопрос будет положительным. Численность населения будет изменяться именно так, как описано, в соответствии с увеличением или уменьшением уровня смертности и рождаемости. Модель изменения численности населения, которая здесь используется, очень проста. Более подробная схема должна была бы учитывать, например, возрастные переменные. Однако представленная выше модель в целом реагирует так, как реагировало бы настоящее население. То есть согласно ей запас увеличивается при соблюдении условий возрастания реальной численности населения, и наоборот. В ней не учитываются числовые значения показателей, но динамика вполне реалистична.

Наконец, третий вопрос. От чего зависят значения основных показателей? Что контролируют входящий и исходящий потоки? Этот вопрос касается границ системы. Для ответа на него потребуется уяснить, что представляют собой основные факторы, чтобы решить, независимы они или же встроены в систему.

**Применимость модели зависит не от реалистичности
ключевых сценариев (так как никто не знает этого
наверняка), а от способности модели реагировать
реалистичными паттернами поведения**

Например, отражается ли общая численность населения каким-либо образом на значениях показателей рождаемости или смертности? Есть ли другие факторы (экономика, окружающая среда, тенденции социального развития), влияющие на смертность и рождаемость? А как соотносятся численность населения и экономические, экологические и социальные факторы?

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАЧИМОСТИ МОДЕЛИ

1. Будут ли основные показатели изменяться именно таким образом?
2. Если ответ положительный, то система реагировала бы именно так?
3. От чего зависят основные показатели?

Конечно же, ответ на все эти вопросы — «да». Рождаемость и смертность тоже управляются циклами обратной связи. По крайней мере некоторые из этих циклов зависят от численности населения, в то время как сами жители — лишь малая часть более крупной системы³.

Важной составляющей общей системы, влияющей на численность населения, является экономика. При этом она развивается под воздействием другой системы с усиливающим и балансирующим циклами, поведение которых аналогично тому, что мы наблюдали в системе, описывающей изменение численности населения (рис. 27).

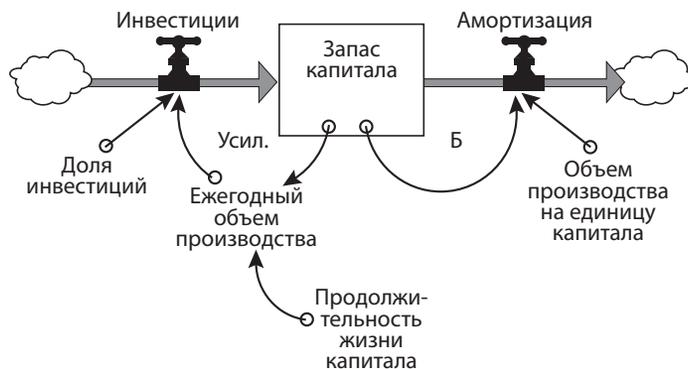


Рис. 27. Как и на численность населения, на величину экономического капитала влияет усиливающий цикл (инвестирование, зависящее от объема произведенных продуктов), отвечающий за его рост, и балансирующий цикл (амортизация), определяющий его спад

Чем больше в экономической системе запас физического капитала (оборудование и заводы) и чем выше эффективность производства (объем производства на единицу капитала), тем больше с каждым годом будет производиться продуктов (товаров и услуг).

Чем больше объем производства, тем больше средств можно инвестировать в создание нового капитала. То есть это не что иное, как усиливающий цикл обратной связи, подобный циклу рождаемости. Доля инвестиций в капитал аналогична показателю рождаемости. Чем больше общество инвестирует в производство, тем быстрее растет запас капитала.

Уменьшение физического капитала происходит в связи с его амортизацией — устареванием и износом оборудования и основных средств. Балансирующий цикл, управляющий амортизацией, эквивалентен циклу, зависящему от смертности, в модели населения. «Смертность» капитала определяется средней продолжительностью срока службы капитала (оборудования). Чем он больше, тем меньшая часть капитала требует ежегодной замены.

Если структура такой системы идентична структуре системы населения, то у нее должен быть аналогичный набор вариантов поведения. За последние годы мировой капитал, как и население, экспоненциально рос за счет преобладания усиливающего цикла над балансирующим.

Будет ли он и дальше продолжать расти, выйдет ли на какой-либо один уровень или станет уменьшаться, зависит от характера поведения усиливающего цикла. Усиливающий цикл зависит:

- от объема инвестиций — какую часть капитала общество инвестирует, а не потребляет;
- эффективности капитала — сколько капитала затрачивается на производство единицы продукции;
- средней продолжительности срока службы капитала.

Если доля произведенной продукции, реинвестируемая в запас капитала, и эффективность капитала остаются постоянными, то запас капитала сократится, останется неизменным или вырастет, в зависимости от продолжительности срока службы капитала. График на рисунке 28 показывает, как меняется величина капитала в системах с различной продолжительностью его срока службы. Капитал с небольшим сроком службы обесценивается быстрее, чем восполняется. Темп реинвестирования недостаточно высокий, чтобы преодолеть потери от амортизации, и экономические показатели постепенно уменьшаются. Величина капитала с большим сроком службы растет по экспоненте. Чем больше продолжительность срока службы капитала, тем быстрее он растет.

Это еще один пример демонстрации принципа, который мы уже уяснили: увеличить запас капитала можно не только путем наращивания темпов входящего потока, но и путем сокращения исходящего!

На долю произведенной продукции, реинвестируемой в запас, объем инвестиций и продолжительность срока службы капитала, так же как на показатели рождаемости и смертности населения, влияет большое количество факторов. Процентные ставки по вкладам, технологии, налоговая политика, привычки потребителей и цены — лишь малая часть. Население влияет на пополнение запаса капитала, предоставляя рабочую силу для повышения объема выпускаемой продукции и формируя требования к потребляемым продуктам, влекущие за собой сокращение доли инвестиций. Объем производства, в свою очередь, оказывает влияние на людей. В благоприятных экономических условиях, как правило, качество здравоохранения высокое, а уровень смертности низкий. Однако там, где экономика богаче, уровень рождаемости ниже.

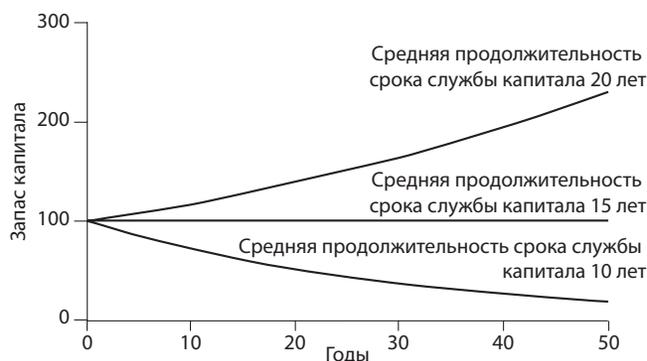


Рис. 28. Зависимость величины запаса капитала от средней продолжительности срока службы капитала

В системе, где отношение объема производства на единицу капитала составляет примерно 1:3, а доля инвестирования — 20%, величина капитала с продолжительностью срока службы около 15 лет будет оставаться стабильной с учетом амортизации. Сокращение срока службы приведет к уменьшению запаса капитала.

Более того, в любой долгосрочной модели реальной экономической структуры необходимо учитывать и изменение численности населения, и капитал, чтобы можно было увидеть, как они влияют друг на друга. Одна из главных целей экономического развития — удержание темпа усиливающего цикла накопления капитала на уровне, превосходящем темп усиливающего цикла роста населения, чтобы люди становились богаче, а не беднее⁴.

Возможно, вам это покажется странным, но система запаса капитала в нашем «зоопарке» отнесена к той же разновидности его обитателей, что и система населения. Система производства, включающая в себя заводы, транспортные и экономические потоки, не очень похожа на систему изменения численности населения, в которой рождаются дети и умирают люди. Однако с точки зрения системного подхода эти две системы объединяет тот факт, что они имеют одинаковую структуру циклов обратной связи. И в той и в другой системах есть запас, величина которого контролируется усиливающим циклом роста и балансирующим циклом спада. Обе системы включают в себя элементы, которые характеризуются таким параметром, как продолжительность

жизни. Металлургические заводы, токарные станки и турбины стареют и выходят из строя так же, как стареют и умирают люди.

**Системы с аналогичными структурами обратной связи
проявляют схожие типы поведения**

Одно из основных понятий теории систем, не менее важное, чем полученный в результате наблюдения вывод о том, что системы сами определяют свое будущее поведение, заключается в том, что системы с аналогичными структурами обратной связи проявляют схожие типы поведения, даже если внешне они совершенно разные.

Население ничем не похоже на промышленную экономику, за исключением того обстоятельства, что и население, и экономика воспроизводят себя, используя собственный исходящий поток в качестве инвестиции и провоцируя экспоненциальный рост. Процесс остывания кофейной чашки аналогичен процессам охлаждения воздуха в нагретой комнате, радиационного распада, изменения численности населения и экономикам, которые стареют и умирают. Величина параметра, который характеризует каждый из этих процессов, идет на спад в результате воздействия балансирующего цикла обратной связи.

Система с запаздываниями: материально-производственные запасы

Представьте запас товаров на складе. Допустим, это будет склад автомобильного дилера, где входящий поток — поставки автомобилей с заводов, исходящий поток — продажи автомобилей. В этом случае изменение запаса машин на площадке дилера будет носить такой же характер, как и изменение уровня воды в ванне.

Теперь представьте регулирующую систему обратной связи, способную удерживать запас на уровне, достаточном, чтобы товара хватило на десять дней продаж (рис. 29). Дилеру приходится оставлять часть машин, так как поставка и продажи каждый день разные. Невозможно точно предсказать, какое количество покупок совершат клиенты в тот или иной день.

Помимо этого, дилеру необходимо обеспечить себе дополнительный запас автомобилей (буфер) ввиду неконтролируемого запаздывания поставок.

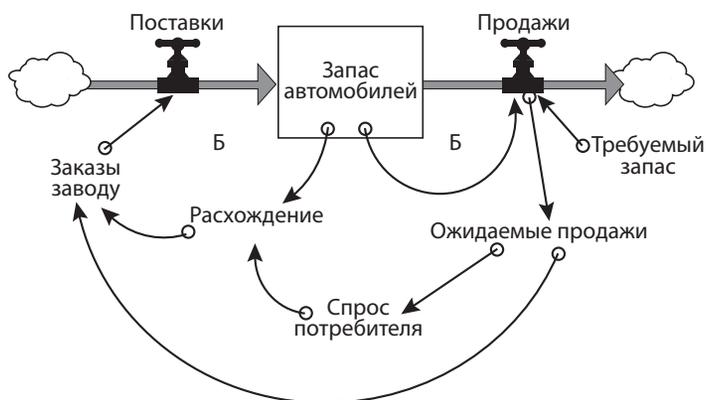


Рис. 29. Запас автомобилей на складе автомобильного дилера поддерживается двумя конкурирующими балансирующими циклами, один из которых контролирует продажи, второй — поставки

Дилер отслеживает продажи (в том числе предполагаемые), и если, например, они начинают расти, то он отправляет запрос на завод, чтобы товар доставили на отдельный склад, запаса товара на котором должно хватить на десять дней при более высоком уровне продаж. Чем выше уровень продаж, тем больше товара предполагается продать. Это приводит к возрастанию несоответствия между имеющимся запасом и требуемым запасом и, в свою очередь, к увеличению количества заказов. В результате растет объем запаса на складе, что позволит обеспечить более высокий уровень продаж.

Такая система представляет собой разновидность системы термостата: один балансирующий цикл сокращает объем запасов на складе, а конкурирующий балансирующий цикл восполняет проданные запасы. Графическое изображение вполне ожидаемых последствий роста потребительского спроса на 10% приведено на рисунке 30.

На схеме модели, приведенной на рисунке 31, учтены факторы, типичные для реального мира, — три вида запаздывания в отношении поставки товара.

Во-первых, имеет место запаздывание реагирования (в данном случае преднамеренное). Дилер не должен реагировать на любой всплеск

продаж. Прежде чем принять решение о дополнительных поставках, он усредняет показатели продаж за последние пять дней, чтобы выявить, что происходит: реальное увеличение спроса или временные скачки продаж.

Во-вторых, существует запаздывание отклика. Даже когда понятно, что необходимо увеличить количество поставляемых машин, дилер не вносит эти данные в один заказ. Он делает три дополнительных заказа в разные дни, прибегая к тактике частичной корректировки, чтобы наверняка убедиться в том, что тенденция к увеличению спроса имеет место.

В-третьих, есть запаздывание и со стороны поставщика. Ему требуется пять дней, чтобы, получив заказ, обработать его и доставить машины дилеру.

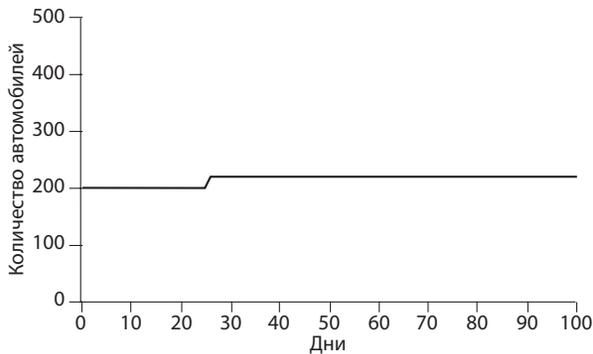


Рис. 30. Изменение величины запаса автомобилей на складе дилера при увеличении спроса потребителя на 10% на 25-й день

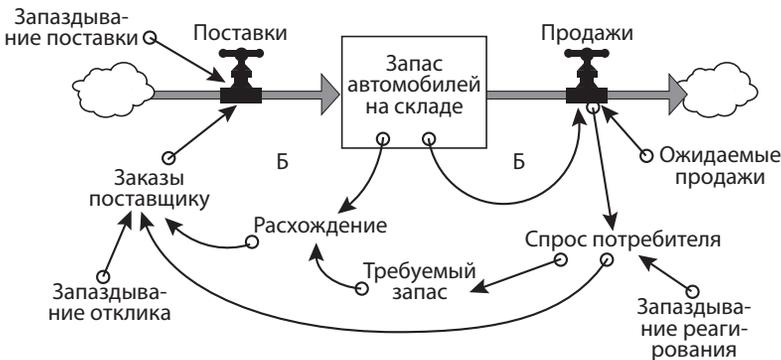


Рис. 31. Запас автомобилей на складе автомобильного дилера с учетом трех видов запаздывания: реагирования, отклика и поставок

Такая система, как и термостатная, состоит из двух балансирующих циклов, но ее поведение совсем иное. Посмотрите, например, что происходит в системе, когда наблюдаются постоянные 10%-ные колебания потребительского спроса (рис. 32).

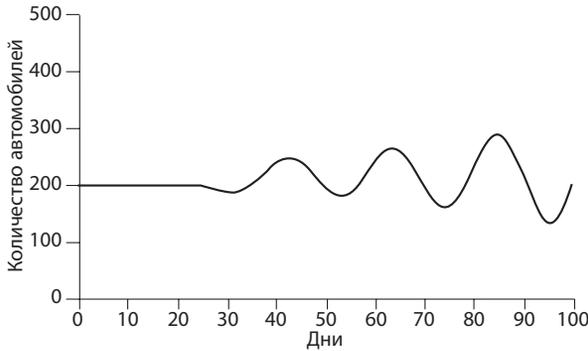


Рис. 32. Изменение величины запаса автомобилей на складе дилера при увеличении спроса потребителя на 10% с учетом запаздываний системы

Колебания! Маленький скачок продаж приводит к уменьшению запасов на складе. Дилер наблюдает достаточно долго, чтобы убедиться, что такая тенденция продлится. Затем он делает дополнительный заказ на поставку автомобилей, чтобы обеспечить новые продажи и восполнить запас, но требуется время, чтобы поставки (в данном случае автомобили) оказались на складе дилера. За это время запас продолжал расходоваться, поэтому требуются еще дополнительные поставки, чтобы вернуть запас до уровня, который обеспечит продажи в течение десяти дней.

Запаздывание в балансирующем цикле обратной связи чаще всего становится причиной колебаний

Впрочем, прибывают крупные поставки, и запасы постепенно восполняются, причем в избытке, так как при попытке покрыть недостаток товара заказали слишком много автомобилей. Дилер видит свою ошибку и сокращает объем следующих заказов, но по ранее оформленным крупным заказам автомобили продолжают прибывать, поэтому он еще сильнее

сокращает объем поставок. Так как дилер не в состоянии предугадать, что произойдет дальше, не исключено, что он заказывает слишком мало. Запасы на складе вновь сокращаются, их меньше, чем требуется. Так и продолжается: величина запасов колеблется около нового желаемого значения. Насколько сильно могут повлиять на систему всего несколько запаздываний, можно увидеть на графике, приведенном на рисунке 33!

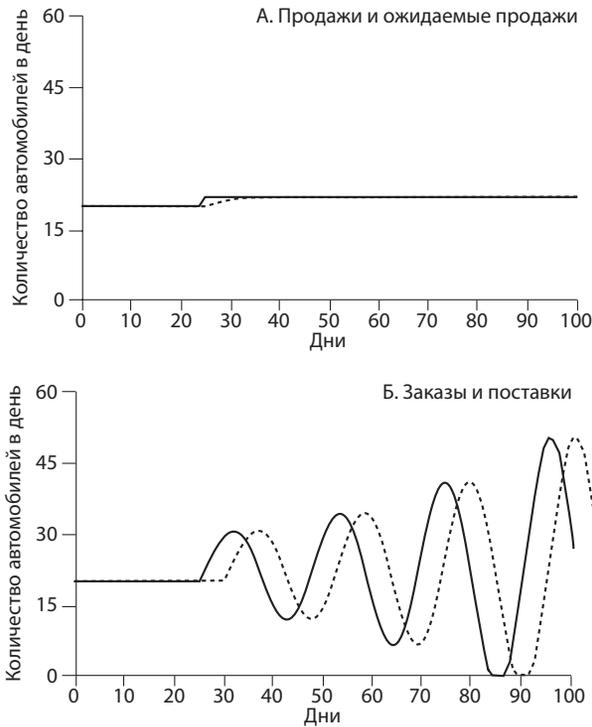


Рис. 33. Реакция заказов и поставок на увеличение спроса. На верхнем графике (А) изображено небольшое, но резкое увеличение продаж на 25-й день и пунктиром — плавное увеличение предполагаемых продаж, вычисленное дилером на основе среднего количества проданных за три дня автомобилей. На нижнем графике (Б) — количество заказанных автомобилей (сплошная линия) и реальные поставки (пунктир)

Эти колебания можно сделать менее выраженными, но для начала важно понимать, почему они происходят. Причина не в том, что дилер недостаточно умный, а в том, что он задействован в системе, в которой невозможно вовремя получать информацию, а его действия не дают моментального эффекта. Он не угадает, как поведут себя клиенты,

и не будет знать, долго ли продлится их необычное поведение. После оформления заказа поставка не осуществляется моментально. Ситуации, в которых имеют место и недостаток информации, и физические запаздывания, встречаются достаточно часто, особенно на складах и в подобных системах. Попробуйте помыться в душе, где очень длинная труба соединяет смеситель с насадкой душа, и вы ощутите всю прелесть колебаний горячей и холодной воды из-за запаздывания реагирования.

Каким должно быть запаздывание, чтобы вызвать определенные колебания в конкретных условиях, — непростой вопрос. Чтобы объяснить почему, имеет смысл снова посмотреть, что происходит на складе дилера автомобилей.

«Эти колебания невыносимы, — говорит дилер (он сам по сути обучаемая система, определяющая, как изменяется поведение складской системы), — необходимо сократить запаздывания. Я не могу повлиять на запаздывания со стороны поставщика, поэтому начну сам быстрее реагировать. И впредь давать корректирующие дополнительные заказы буду с учетом среднего значения продаж за два дня вместо пяти».

На рисунке 34 показано, что произойдет, когда дилер сократит время запаздывания, принимая решение делать дополнительный заказ по результатам обработки данных о продажах за два дня вместо пяти.

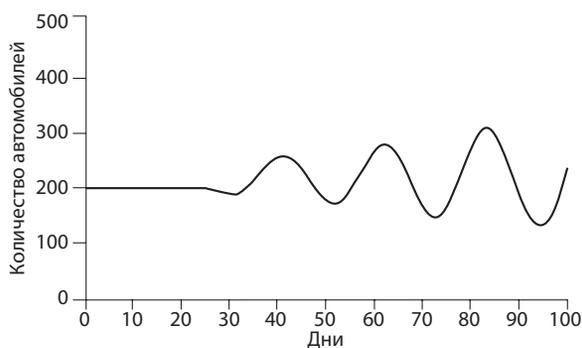


Рис. 34. Изменение величины запаса автомобилей на складе дилера при увеличении спроса потребителя на 10%, но с сокращенным запаздыванием в отношении предположения будущих продаж

Как видим, изменений в лучшую сторону нет. Наоборот, амплитуда колебаний увеличивается. Если же вместо сокращения запаздывания

предположения будущих продаж дилер решит уменьшить запаздывание реагирования (разбивая корректировочные заказы не на три части, а на две), то ситуация только ухудшится, как показано на рисунке 35.

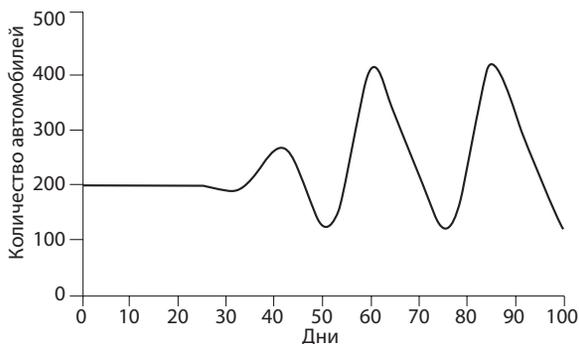


Рис. 35. Изменение величины запаса автомобилей на складе дилера при увеличении спроса потребителя на 10%, но с сокращенным запаздыванием реагирования

Необходимо что-то предпринять, и так как на работу системы оказывает непосредственное влияние человек, способный обучаться, то изменения непременно произойдут. «Большой рычаг, неверное направление движения», — решает дилер, наблюдая за провальной политикой, нацеленной на стабилизацию колебаний. Такой ужасный результат можно наблюдать в реальной жизни повсюду: кто-то пытается исправить систему, прибегая к использованию рычага, который на деле оказывается малоэффективным, к тому же еще и тянет рычаг не в том направлении! Это всего лишь один из примеров ситуации, когда мы, пытаясь что-то изменить в системе, можем быть удивлены ее неожиданным поведением.

Запаздывания происходят в системах часто, предопределяя их поведение.

Изменение величины запаздывания может стать (или не стать, в зависимости от вида запаздывания и относительной длительности других запаздываний) **причиной резкого изменения поведения системы**

Одна из причин проблемы заключается в том, что дилер реагировал слишком быстро. Причем слишком быстро именно для такой

конфигурации системы. Ситуация развивалась бы спокойнее, если бы вместо сокращения своего запаздывания реагирования до двух дней дилер увеличил бы запаздывание до 6 дней, как показано на рисунке 36. В этом случае колебания сглаживаются, а система достаточно эффективно достигает состояния, близкого к равновесному.

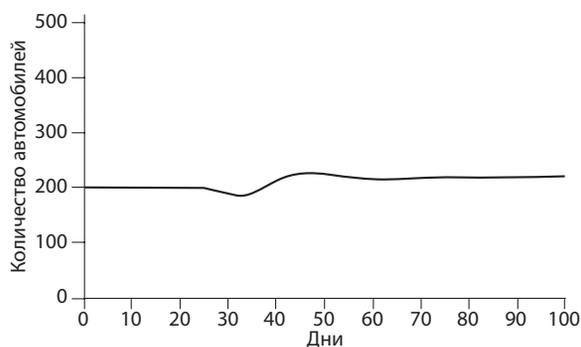


Рис. 36. Изменение величины запаса автомобилей на складе дилера при увеличении спроса потребителя на 10%, но с большим запаздыванием отклика

Самым значимым запаздыванием в этой системе будет то, за которое дилер не несет ответственности, — запаздывание поставок с завода. Тем не менее, даже не имея возможности изменить эту часть системы, дилер может эффективно управлять складом.

Запаздывания в системе способны как облегчить, так и усложнить управление ею. Именно поэтому системные мыслители уделяют такое внимание вопросу запаздываний. Необходимо всегда быть начеку, отслеживая возможные запаздывания в системах, устанавливая их длительность и характер (будь то задержки информационных потоков или физических процессов). Невозможно понять динамическое поведение системы до тех пор, пока мы не знаем, насколько длительные в ней запаздывания и где конкретно они могут произойти. Очевидно, что некоторые из них — мощный способ влияния на системы. Увеличение или сокращение запаздываний может привести к значительному изменению поведения всей системы.

Проблему с поставками на каком-либо отдельном складе вполне можно решить. Однако представьте, что склад заполнен непроданными

автомобилями со всей Америки. Заказы на больший или меньший объем производства затрагивают не только предприятия, на которых изготавливаются запчасти, но и металлургические заводы, производителей стекла и резины, текстиля и аккумуляторов. По всей системе происходят запаздывания реагирования, производства, поставок и сборки. Теперь подумайте о том, как связаны между собой производство автомобилей и рабочие места: увеличение производства повышает объем работы и число рабочих мест, позволяя большему количеству людей покупать машины. Так работает усиливающий цикл, который может воздействовать на производство и в противоположном направлении: снижение производства приводит к сокращению рабочих мест, уменьшению количества продаж и снова к снижению производства. Добавим сюда еще один усиливающий цикл, возникающий в результате действий спекулянтов, которые скупают и продают акции автомобильных компаний и компаний — производителей запчастей исходя из их недавних показателей. Таким образом, рост производства приводит к повышению цен на акции, и наоборот.

Взаимосвязанные отрасли промышленности реагируют на изменения через запаздывания. В результате процессы, протекающие в огромной и очень сложной системе, вовлекают друг друга в свои колебания, амплитуда которых увеличивается из-за влияния спекулянтов и других факторов, и приводят к циклическому развитию экономики. Возникновение экономических циклов не связано напрямую с действиями президентов, хотя они могли бы многое предпринять, чтобы сбить чрезмерный оптимизм во время подъемов в экономике страны и смягчить депрессию при спадах. Экономические системы — крайне сложные системы; в них действует множество балансирующих циклов обратной связи с запаздываниями, и они подвержены колебаниям⁵.

Системы с двумя запасами

Возобновляемый запас, ограниченный невозобновляемым запасом: экономика нефтедобычи

Ранее мы изучали системы, не принимая во внимание влияние на них внешних условий. В рамках индустриальной экономической модели

не учитывалось, что для производства продукции необходимо сырье. Предполагалось, что численность населения не зависит от производства продовольствия, а в системе с термостатом никогда не кончалось топливо. На процессы, протекавшие в этих простых системах, не влияли никакие внешние факторы, и поэтому изучать их внутреннюю динамику было достаточно просто.

Но реальная физическая система всегда находится во внешней среде, с которой она взаимодействует. Любой корпорации необходим бесперебойный входящий поток энергии, материалов, работников, управляющих и клиентов. Растущим зерновым культурам необходимы вода, удобрения и защита от вредителей. Популяции — продовольствие, вода и пространство для жизни, и если мы говорим о людях, живущих в социуме, то нужны рабочие места, образование, здравоохранение и множество других вещей. Системе, использующей энергию и потребляющей какое-либо сырье, необходимо найти место для сброса отходов либо способ их переработки.

Таким образом, любая физическая развивающаяся система рано или поздно сталкивается с некими ограничениями. Они могут принимать форму балансирующего цикла, который тем или иным образом уменьшает воздействие доминирующего усиливающего цикла, стимулирующего развитие системы, либо увеличивая темпы исходящего потока, либо уменьшая темпы входящего.

Рост в среде с ограничивающими условиями настолько распространен, что для его описания предложили модель под названием архетипа «пределов роста». (Позднее, в главе 5, мы рассмотрим другие архетипы — часто встречающиеся системные структуры, проявляющие привычные паттерны поведения.) Сталкиваясь с растущей системой, будь то популяция, корпорация, банковский счет, слухи, эпидемия или продажи новой продукции, следует обращать внимание и на усиливающие циклы, стимулирующие развитие, и на балансирующие циклы, ограничивающие его. Нам точно известно, что балансирующие циклы в системе есть даже в том случае, если они еще не доминируют, поскольку ни одна реальная физическая система не развивается вечно. Даже самый ожидаемый и популярный товар рано или поздно насытит спрос. Цепная реакция в реакторе атомной электростанции завершится, когда

иссякнет топливо. Вирус перестанет распространяться, инфицировав все восприимчивые к нему организмы. Развитие экономики сдержат величина капитала в материальной или денежной форме, емкость рынка, предельный объем рабочей силы, недостаток управленческих навыков руководства, объем ресурсов или загрязнение окружающей среды.

В физических системах, растущих экспоненциально, должен быть как минимум один усиливающий цикл, стимулирующий рост, и как минимум один балансирующий цикл, ограничивающий развитие, поскольку ни одна физическая система не развивается бесконечно в конечной окружающей среде

Так же как и ресурсы, поступающие в систему в виде входящих потоков, ограничения, связанные с загрязнением среды, подразделяются на возобновляемые и невозобновляемые. Они будут невозобновляемыми, если окружающая среда не в состоянии поглотить неограниченное количество отходов либо обезвредить их. Они возобновляемы, если среда обладает определенной, зачастую изменяющейся способностью разлагать отходы. Таким образом, все сказанное здесь о системах, ограниченных в ресурсах, применимо и к системам, чья динамика ограничена возможностями переработки отходов, только потоки в данном случае будут двигаться в противоположных направлениях.

Ограничения — пределы роста системы — могут быть временными или постоянными. Даже если система выйдет за рамки таких ограничений, со временем она все равно вернется к состоянию, заданному определенными пределами: либо адаптируется к ограничениям, либо ограничивающие ее рамки раздвинутся до масштабов системы, либо и то и другое одновременно. У процесса такой адаптации довольно интересная динамика.

Различия в поведении системы определяются тем, с каким ресурсом — возобновляемым или невозобновляемым — связан балансирующий цикл. Именно от этого зависит, в какой момент система прекратит свой рост. Но в любом случае система не сможет развиваться бесконечно.

Давайте для начала рассмотрим систему капитала, в основе которой получение прибыли от вложения денежных средств в невозобновляемый источник, — допустим, это будет нефтяная компания, которая недавно обнаружила крупное месторождение (рис. 37).

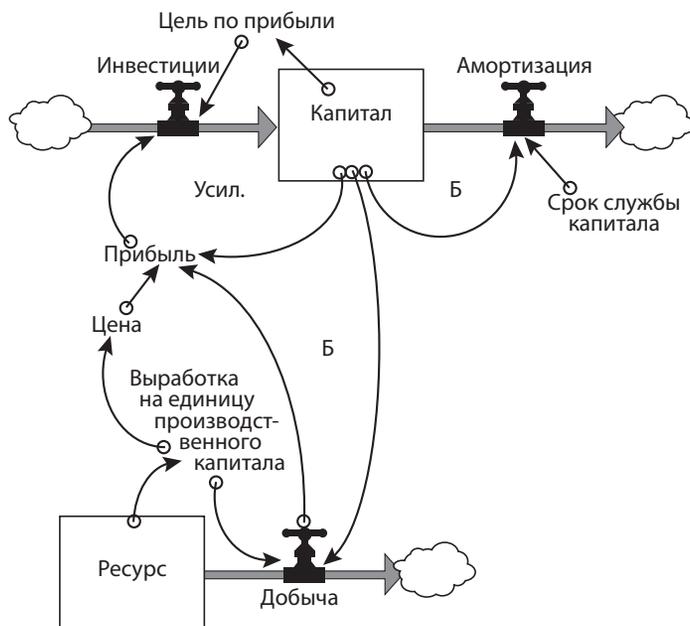


Рис. 37. Модель системы экономического капитала, в которой усиливающий цикл обратной связи, отвечающий за рост, ограничен невозобновляемым ресурсом

Схема, приведенная на рисунке 37, выглядит сложной, но это всего лишь описание системы с растущим капиталом, похожей на все, что мы рассматривали ранее, за тем исключением, что в качестве «произведенной продукции» здесь выступает «прибыль». Функцию балансирующего цикла и в данном случае выполняет амортизация: чем больше запас капитала, тем больше станков и оборудования изнашивается и выходит из строя, уменьшая этот запас. В рассматриваемом примере срок службы производственного капитала (оборудование нефтедобычи и нефтеперегонки) ограничен двадцатью годами, что означает, что $1/20$ капитала (5%) списывается на амортизацию ежегодно. Капитал увеличивается за счет инвестиций или прибыли от нефтедобычи. Поэтому мы видим усиливающий цикл: увеличение капитала позволяет

наращивать добычу ресурсов, создавая еще больше прибыли, которую можно реинвестировать. Допустим, цель компании — обеспечить ежегодный прирост экономического капитала на 5%. Если прибыль, полученная компанией, не обеспечивает рост капитала на 5%, то компания может реинвестировать всю прибыль, насколько это возможно.

Прибыль — это доходы компании за вычетом расходов. Доходы в этом простом примере — это цена нефти, умноженная на объем ее добычи. Расходы — это затраты капитала на добычу нефти — эксплуатационные расходы (включают оплату энергии, заработную плату, материалы и так далее) на единицу производственного капитала. На данный момент, ради упрощения, можно считать цену и затраты на единицу производственного капитала постоянными.

Однако нельзя считать постоянной величину выработки ресурса на единицу производственного капитала. Поскольку этот ресурс невозобновляемый (нефть не появляется в природе просто так), каждый следующий баррель нефти добыть сложнее, чем предыдущий. Оставшаяся нефть залегает глубже, она менее концентрированная или находится под меньшим естественным давлением. Требуются все более и более дорогостоящие и технически сложные методы для поддержания постоянных объемов добычи.

Этот новый балансирующий цикл обратной связи в итоге будет полностью контролировать рост капитала: чем больше капитал, тем выше скорость добычи. Чем выше скорость добычи, тем меньше запас ресурса. Чем меньше запас ресурса, тем меньше добыча нефти на единицу капитала, меньше прибыль (при условии постоянной цены), меньше объем инвестиций — и, как следствие, меньше скорость роста капитала. Можно сказать, что истощение ресурса влияет через цикл обратной связи на производственные расходы и эффективность капитала. В реальной жизни заметно воздействие и на то и на другое. В любом случае модель последующего поведения одинакова: классическая динамика истощающегося ресурса (рис. 38).

Система начинает действовать, когда запас нефти в месторождении позволяет обеспечить добычу первоначальных объемов в течение двухсот лет. Но в действительности объем добычи достигает предельного значения уже через сорок лет благодаря удивительному эффекту

экспоненциального роста. При ежегодном объеме инвестиций 10% запас производственного капитала, а значит и объем добычи, растет на 5% в год, поэтому оба показателя удваиваются за первые 14 лет. Через 28 лет, несмотря на то что производственный капитал увеличивается в четыре раза, объем добычи начинает снижаться из-за уменьшения выработки на единицу капитала. К 50-му году эксплуатации затраты на поддержание производственного капитала начинают превышать доходы от нефтедобычи, поэтому прибыли уже недостаточно для реинвестирования и покрытия амортизации. Объемы добычи нефти быстро снижаются по мере уменьшения производственного капитала. Последние и наиболее дорогостоящие для извлечения ресурсы остаются в земле: их добыча не окупится.

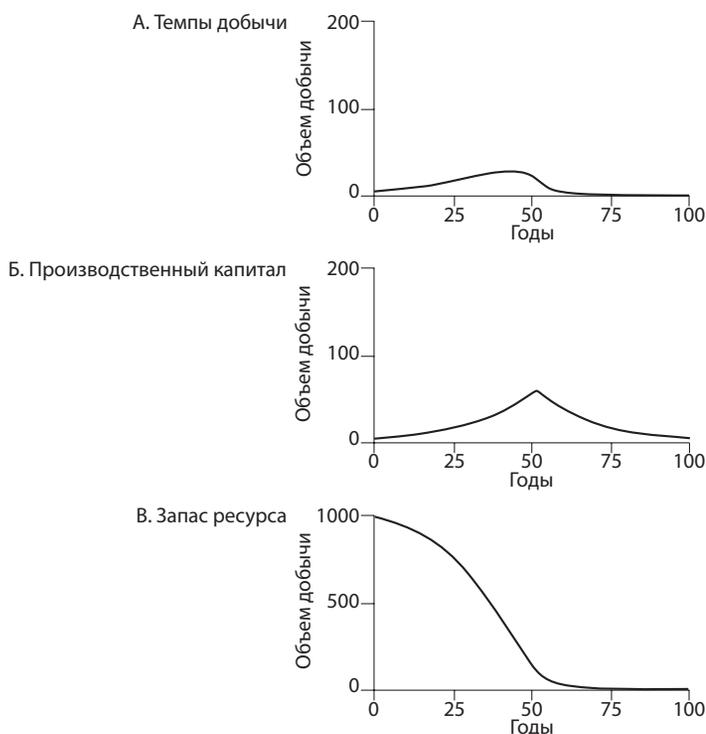


Рис. 38. Добыча ресурса (А) создает прибыль, которая позволяет капиталу расти (Б), истощая невозобновляемый ресурс (В). Чем больше объем капитала, тем быстрее истощается ресурс

Что произойдет, если окажется, что объем нефти в месторождении вдвое больше, чем поначалу оценили геологи, — или даже в четыре

раза? Естественно, суммарное количество потенциально добытой нефти будет гораздо больше. Но при условии, что целевой объем реинвестирования составит 10%, а величина капитала и объем добычи будут расти примерно на 5% в год, каждое удвоение изначального объема ресурса приведет к тому, что пиковый объем добычи отодвинется примерно на 14 лет. То есть срок существования любых рабочих мест или сообществ, зависящих от добывающей промышленности, продлится всего лишь на 14 лет (рис. 39).

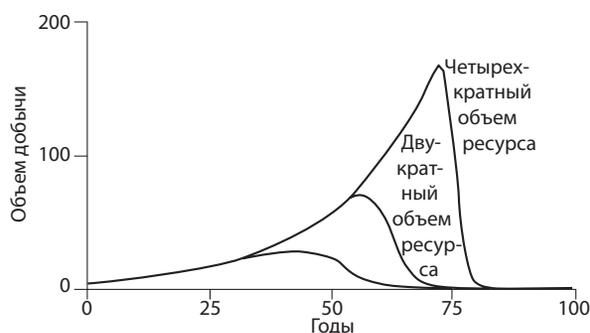


Рис. 39. Изменение объема добычи ресурса с течением времени для случаев: первоначальная оценка запасов верная; величина запасов превышает первоначальную оценку в два раза; величина запасов превышает первоначальную оценку в четыре раза. Каждое удвоение объема ресурса дает выигрыш в примерно 14 лет до момента достижения пикового объема добычи

Чем быстрее и до более высоких значений происходит рост, тем быстрее и резче будет падение в случае, когда система производственного капитала зависит от невозобновляемого ресурса. Если рост добычи или расходования ресурса происходит по экспоненциальному закону, удвоение или учетверение величины невозобновляемого ресурса обеспечит лишь незначительное увеличение времени, которое можно использовать для того, чтобы начать заниматься разработкой альтернативных источников.

Величина, экспоненциально стремящаяся к некоему ограничению или пределу, достигает его удивительно быстро

Если ваша задача — извлечь как можно больше ресурсов и заработать на этом как можно больше денег, тогда суммарные запасы ресурса становятся самым важным параметром системы. Допустим, вы работаете на шахте или на нефтяном месторождении, естественно, что в этом случае вас волнует стабильность вашей работы и местного сообщества. В таком случае наиболее важны уже два показателя: суммарный объем ресурса и желаемая скорость роста капитала. (Это хороший пример того случая, когда цель обратного цикла оказывает критическое влияние на поведение системы.) Главный вопрос для менеджмента компании заключается в том, хотят ли они обогатиться как можно быстрее или предпочтут зарабатывать меньше, но более продолжительное время.

График на рисунке 40 показывает изменение объема добычи с течением времени при различных темпах роста капитала, превышающих амортизацию на 1, 3, 5 и 7%. При темпе роста капитала 7% максимальная скорость добычи «двухсотлетнего запаса» достигается всего через сорок лет.

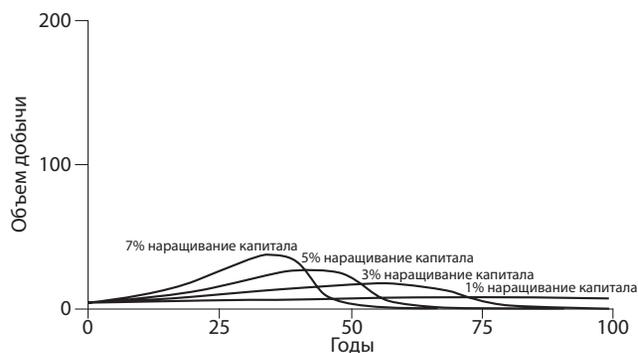


Рис. 40. Изменение объема добычи ресурса с течением времени при различных темпах роста капитала. Предельный объем добычи достигается значительно быстрее по мере роста доли реинвестирования в увеличение капитала

Представьте, каковы последствия такого выбора не только для компании, но и для общества и окружающей среды региона.

При построении приведенных выше графиков предполагалось, что цена на нефть остается постоянной. Но что, если это не так? Допустим,

ресурс настолько важен для потребителей, что повышение цены на него не снижает спрос. В таком случае по мере истощения он будет становиться дороже, как показано на рисунке 41.

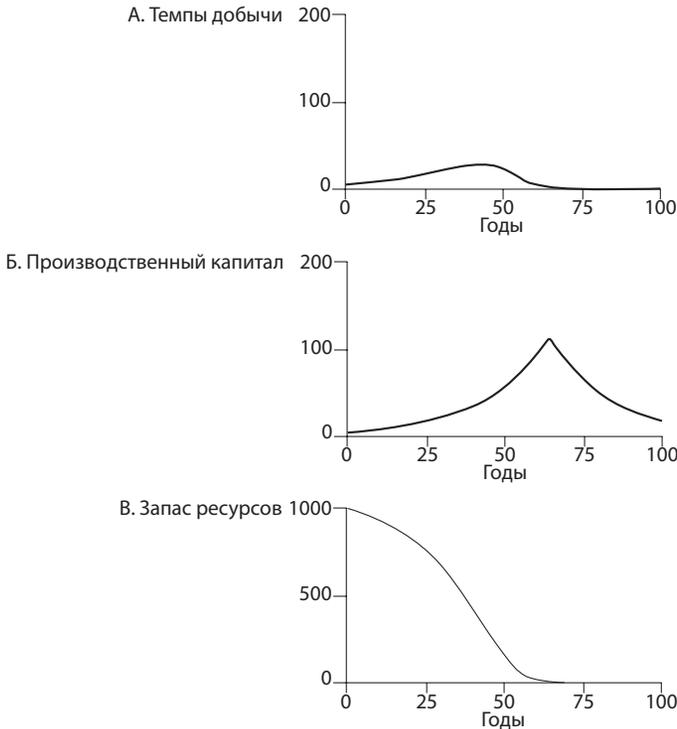


Рис. 41. С увеличением дефицита, связанного с истощением ресурса, цена на ресурс растет, увеличивается производственный капитал (Б), приводящий к увеличению темпов добычи (А). В результате ресурс (В) истощается еще быстрее

Повышение цены приводит к увеличению прибыли отрасли, поэтому возрастают объем инвестиций, производственный капитал, а остаточные, более дорогостоящие для добычи ресурсы можно продолжать извлекать. Если вы сравните графики, приведенные на рисунке 41, с графиками на рисунке 38, которые были построены с предположением, что цены остаются постоянными, то заметите, что основной эффект от повышения цены — увеличение запаса капитала перед тем, как система прекратит свою деятельность.

Точно так же ведут себя системы в тех случаях, когда цена не повышается, но новые технологии удешевляют производство. Именно это

и произошло, например, когда стали применять новые методы восстановления давления в нефтяных скважинах, обогащения железной руды с малым содержанием целевых компонентов из ранее считавшихся истощенными шахт, а также извлечения золота и серебра из отходов руд с использованием цианидов.

Все мы знаем, что отдельно взятые шахты, месторождения полезных ископаемых и водоносные пласты могут истощаться. Множество опустевших шахтерских городков и нефтяных месторождений, встречающихся по всему миру, подтверждает, что поведение систем именно такое, как описано выше. Компании по добыче ресурсов также понимают эту динамику. Задолго до истощения ресурса, приводящего к неэффективности работы капитала, компании корректируют потоки инвестиций так, чтобы обнаружить и разработать другой источник ресурса. Однако если мы видим, что существуют локальные ограничения, не могут ли со временем появиться и ограничения глобальные?

Задумайтесь над этим вопросом или поспорьте с человеком, имеющим противоположную точку зрения. Я лишь хочу сделать акцент на том, что для любой динамики процесса истощения невозобновляемых ресурсов характерно следующее: чем больше таких ресурсов, тем больше будет найдено новых месторождений, тем дольше усиливающий цикл будет доминировать над балансирующим, тем больше будет производственный капитал, тем выше темп добычи и тем раньше, быстрее и резче будет экономический спад после достижения максимального объема производства.

Конечно, если только экономика не перейдет полностью на возобновляемые источники ресурсов.

Возобновляемый запас, ограниченный возобновляемым запасом: экономика рыболовецкой отрасли

Предположим, что система капитала рыболовецкой отрасли аналогична той, что мы рассматривали ранее, но с одним исключением: в системе есть входящий поток, пополняющий запасы ресурса. Возобновляемый ресурс в этом случае рыба, а производственный капитал — рыболовецкие суда. В других системах в роли ресурсов и капитала

окажутся, например, деревья и лесопилки, пастбища и скот. Возобновляемые ресурсы, такие как рыба, деревья или трава, восстанавливаются сами в соответствии с усиливающим циклом обратной связи. Однако возобновляемые ресурсы, не относящиеся к живой природе, такие как ветер и вода в реке, восстанавливаются не в результате воздействия усиливающего цикла, а за счет устойчивого входящего потока, пополняющего запасы ресурса независимо от их текущего состояния. Такая же структура «системы возобновляемого запаса» наблюдается во время развития эпидемии простудных заболеваний. Продажа товара, необходимого потребителям на регулярной основе, обычно также отражает процесс, типичный для системы возобновляемого запаса: запас потенциальных покупателей постоянно восстанавливается. Подобным образом происходит нашествие насекомых, уничтожающих растения частично, а не полностью; растение может восстановиться, и тогда насекомое съест еще больше. Во всех этих случаях входящий поток восстанавливает запасы ресурса (рис. 42).

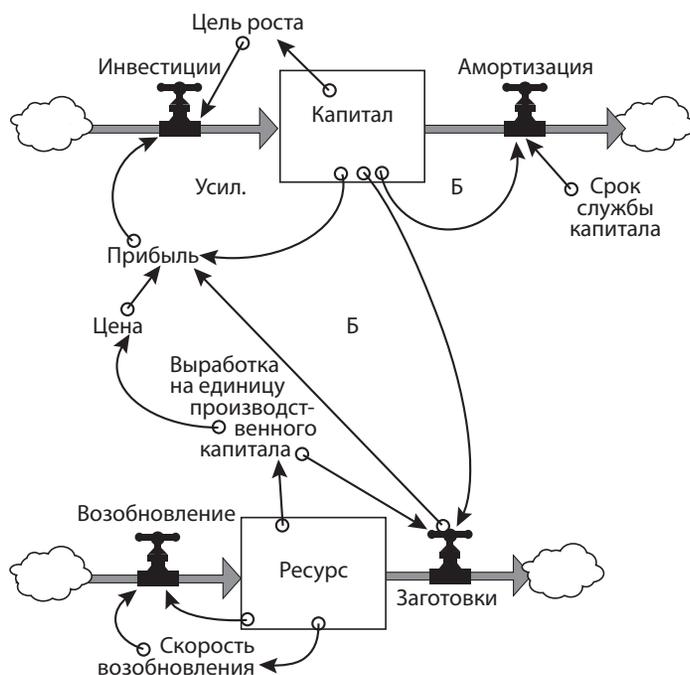


Рис. 42. Экономический капитал с усиливающим циклом роста, ограниченный возобновляемым ресурсом

В качестве примера системы с возобновляемым запасом мы будем рассматривать рыбный промысел. Снова допустим, что срок службы капитала равен двадцати годам, а капитал компании будет расти, по возможности, на 5% в год. Как и в случае с невозобновляемым ресурсом, предположим, что по мере того, как объем ресурса уменьшается (рыба встречается реже), его добыча становится сложнее и дороже. Необходимы более крупные суда, способные проходить более дальние расстояния и оборудованные гидролокаторами для обнаружения косяков рыбы. Либо нужны гигантские, многокилометровые сети. Либо необходимы бортовые холодильники, чтобы можно было доставлять рыбу, заготовленную во время более длительных походов. Все это требует вложений капитала.

Скорость восстановления рыбных запасов непостоянна, она зависит от количества рыбы в конкретной области — а точнее, от плотности скопления рыб (то есть их количества на кубометр). Если плотность слишком высокая, то темпы возобновления близятся к нулю из-за ограничений в доступности питания и в среде обитания. Когда плотность снижается, начинается ее восстановление, которое происходит ускоренными темпами, поскольку в экосистеме увеличивается объем свободного пространства и большее количество питательных веществ становится доступным. Но в какой-то момент темпы роста рыбной популяции достигают своего максимума. Если продолжить истощать запасы рыбы, то ее популяция будет расти все медленнее и медленнее. Если плотность скопления рыб станет низкой, их воспроизводство снизится, либо потому, что отдельные представители вида не смогут найти друг друга, либо из-за того, что экологическую нишу занял какой-то другой биологический вид.

В этой упрощенной модели системы рыболовецкой отрасли прослеживаются три нелинейные зависимости: от цены (чем меньше рыбы, тем ее добыча дороже); скорости восстановления (если популяция рыбы мала, она медленно восстанавливается, как и в случае с чрезмерно большой популяцией) и величины добычи на единицу капитала (эффективность технологий и способов рыбной ловли).

Такая система показывает разные типы поведения. Один из них графически представлен на рисунке 43.

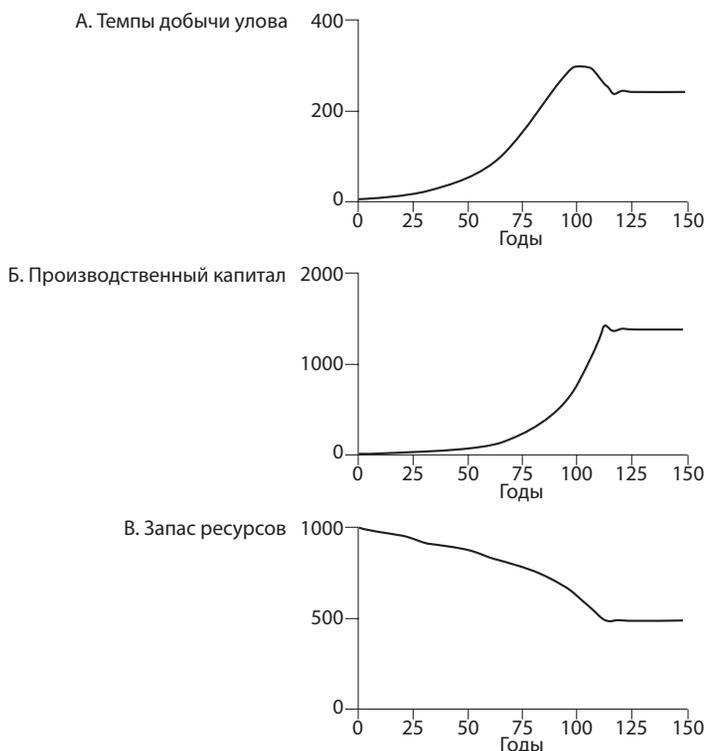


Рис. 43. Ежегодный улов (А) приносит прибыль, стимулирующую рост капитала (Б), но даже после небольшого выхода за предельный уровень улова объем быстро стабилизируется. В результате стабилизация улова приводит к постоянству запаса ресурса (В)

Как следует из графиков, приведенных на рисунке 43, сначала капитал и объемы улова растут экспоненциально. Сокращается популяция рыбы (запас ресурса), но это стимулирует скорость ее восстановления. На протяжении десятилетий ресурс может поддерживать экспоненциальный рост улова. Со временем объемы добычи увеличиваются, а популяция рыбы снижается настолько, что рыбная ловля становится экономически нецелесообразной. Балансирующий цикл обратной связи, проявляющийся в уменьшении объема выловленной рыбы и, как следствие, в снижении прибыли, вскоре приведет к тому, что объем инвестиций в производственный капитал также уменьшится, что, в свою очередь, обеспечит условия, при которых количество рыболовецких судов станет соответствовать текущим запасам рыбы. Флот не может расти бесконечно, но у него получится сколь угодно долго поддерживать улов на высоком и стабильном уровне.

Даже незначительное изменение в силе влияния балансирующего цикла обратной связи на объем добычи на единицу капитала может привести к удивительным последствиям. Предположим, что рыболовецкая компания пытается повысить улов, применяя новые технологии (например, гидролокаторы для поиска истощенных запасов рыбы). В этом случае снижение величины популяции будет происходить быстрее, но возможность поддерживать тот же уровень улова будет сохраняться более длительное время (рис. 44).

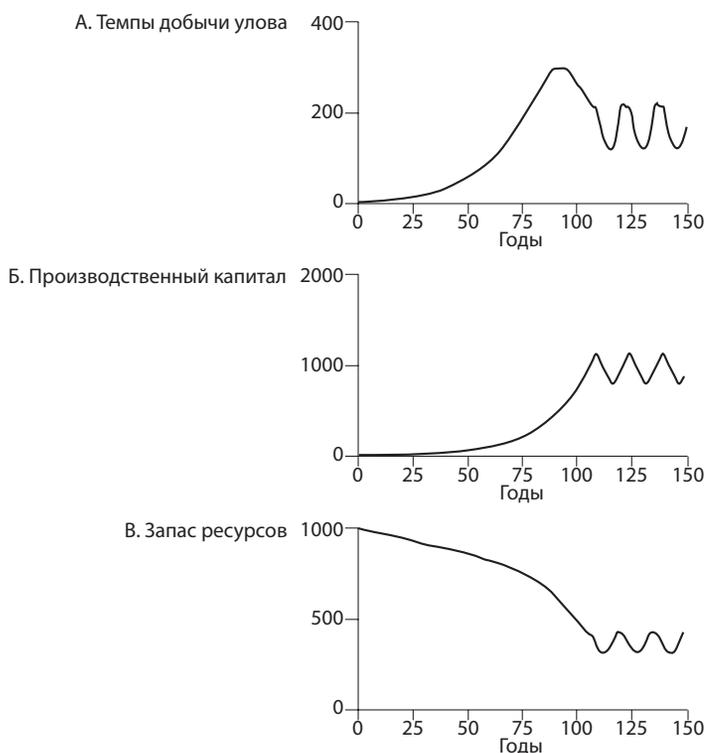


Рис. 44. Небольшое увеличение улова на единицу капитала (в данном случае за счет прорыва в технологии добычи) вызывает сначала рост, а затем колебания значений темпов добычи (А) и производственного капитала (Б) вблизи некоторой величины; величина запасов ресурса (В) сначала уменьшается, а затем также начинает колебаться вблизи некоторого значения

Приведенные на рисунке 44 графики показывают, как работает принцип рычага там, где его наличие только во вред! Применение

новых технологий добычи рыбы, которые, по идее, должны увеличить улов, приводит систему к нестабильности. Начинаются колебания.

При совершенствовании технологий лов рыбы с приемлемой рентабельностью будет возможен даже при очень низкой плотности ее популяции. В результате как рыба, так и рыболовецкая отрасль окажутся на грани исчезновения. Море превратится в морскую «пустыню». Такой подход, несмотря на видимую практичность, приведет к тому, что запасы рыбы станут невозобновляемым ресурсом. Развитие такого сценария иллюстрируют графики на рисунке 45.

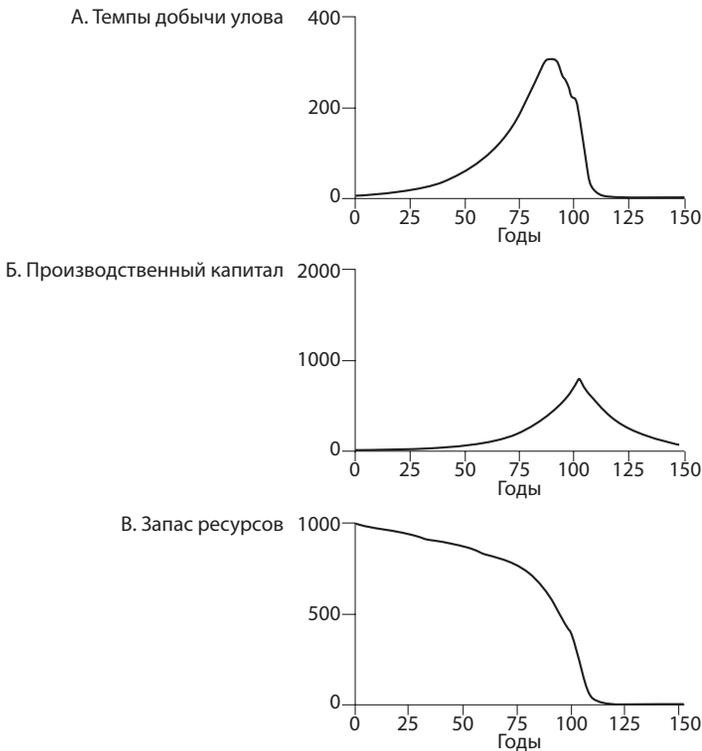


Рис. 45. Существенное увеличение улова на единицу капитала приводит к выходу системы за пределы и последующему падению: темпов добычи (А), производственного капитала (Б) и запасов ресурса (В)

Во многих экономических системах, основанных на реально существующих возобновляемых ресурсах, — в отличие от приведенной выше сильно упрощенной модели — даже очень малая оставшаяся часть

популяции способна восстановиться и увеличить свою численность, если нет вложений капитала в ее добычу и ловля прекращается. А через несколько десятилетий вся последовательность событий повторится. Очень долгосрочные циклы восстановления возобновляемых ресурсов, подобные описанным, наблюдаются, например, в деревообрабатывающей индустрии Новой Англии. Ресурсы леса сейчас находятся на третьем этапе цикла, состоящего из развития, чрезмерного потребления ресурса, упадка отрасли и постепенного восстановления ресурса. Но восстановиться может далеко не каждая популяция. Чем выше уровень развития технологий и эффективность добычи, тем больше вероятность, что популяция окажется на грани вымирания.

Невозобновляемые ресурсы ограничены объемами запасов.

Весь объем запасов доступен для одновременного использования, их можно добывать любыми темпами (ограниченными разве что величиной капитала добывающей отрасли). Но поскольку запас не возобновляется, то чем выше скорость добычи, тем короче срок службы месторождения ресурса

Продолжит ли существование реальная система возобновляемых ресурсов, зависит от того, что происходило в ней на последней стадии добычи ресурса. Когда популяция рыбы очень мала, она становится особенно уязвимой. Загрязнения, штормы, недостаток генетического разнообразия — все это подвергает ее риску уничтожения. На восстановление лесов или пастбищ влияет эрозия обнажившейся почвы. Практически пустую экологическую нишу могут занять представители конкурирующих видов. Но возможно и восстановление ресурсов.

Возобновляемые ресурсы ограничены скоростью восстановления. Их извлечение может длиться сколь угодно долго, но только в том случае, если скорость добычи не выше скорости восстановления. Если добыча ресурса происходит быстрее, чем его восстановление, со временем он достигнет предела и превратится в невозобновляемый ресурс

Можно выделить три схемы возможного поведения системы возобновляемых ресурсов:

- Выход за пределы с последующим возвратом к устойчивому равновесию.
- Выход за пределы равновесия, за которым следуют колебания вблизи равновесного значения.
- Выход за пределы с последующим исчезновением и ресурса, и отрасли, от него зависимой.

Какой из вариантов реализуется, зависит от двух факторов. Первый — предельное значение, при достижении которого полностью пропадает способность популяции к восстановлению. Второй — насколько быстро и эффективно балансирующий цикл обратной связи способен замедлять рост капитала по мере истощения ресурса. Если обратная связь срабатывает достаточно быстро и не дает растущему капиталу достигнуть точки невозврата, вся система плавно приходит к равновесию. Если балансирующий цикл обратной связи срабатывает не сразу и менее эффективен, начинаются колебания. Если балансирующий цикл обратной связи слишком слаб и капитал продолжает расти даже при уменьшении ресурса, последний истощится настолько, что потеряет способность к возобновлению. Тогда и ресурс, и отрасль придут в упадок.

Каким бы ни был ресурс — возобновляемым или невозобновляемым, — его запасы не могут увеличиваться вечно. Оба вида ресурсов накладывают свои ограничения, имеющие совершенно разный характер. И связано это с различным поведением запасов и потоков.

Сложность в том, чтобы определить, какие именно структуры системы способны вести себя подобным образом и при каких условиях это происходит, а также там, где это возможно, изменить структуры и условия для снижения вероятности деструктивного поведения и обеспечения возможности благоприятного исхода.

ЧАСТЬ II
СИСТЕМЫ И МЫ

Глава 3

ПОЧЕМУ СИСТЕМЫ ТАК ХОРОШО РАБОТАЮТ

Если механизм земли хорош в целом, значит, хороша и каждая его часть в отдельности, независимо от того, понимаем мы ее назначение или нет. Если биота на протяжении миллионов лет создала что-то такое, что мы любим, не понимая, то кто, кроме дурака, будет выбрасывать части, которые кажутся бесполезными? Сохранять каждый винтик, каждое колесико — вот первое правило тех, кто пробует разобраться в неведомой машине.

Альдо Леопольд¹, лесничий

Во второй главе рассматривались простые системы, поведение которых обусловлено влиянием входящих в их состав структур. Некоторые из них, весьма элегантно выдерживая все удары, которые им наносит окружающий мир, не выходя за пределы, сохраняют равновесие и продолжают функционировать так, как им свойственно: поддерживают температуру внутри определенного пространства, обеспечивают разработку нефтяного месторождения или помогают поддерживать баланс между количеством рыбных ресурсов и размерами рыболовного флота.

Если внешнее воздействие слишком сильно, чтобы системы оставались в своих границах, то они могут перестать существовать или начнут демонстрировать несвойственное им до этого поведение. Но в основном они вполне неплохо выполняют свое предназначение. И в этом вся прелесть систем: они могут хорошо работать. Когда это происходит, мы наблюдаем гармонию в их функционировании. Представьте сообщество, которому необходимо ликвидировать последствия шторма. Люди работают допоздна, чтобы помочь пострадавшим, они приобретают

новые способности и навыки, а когда ситуация перестает быть критической, жизнь возвращается в нормальное русло.

Почему же системы так хорошо работают? Подумайте над свойствами, присущими знакомым вам высокофункциональным системам, будь то машины, человеческие сообщества или экосистемы. Высока вероятность, что вы вспомните хотя бы одну из трех характеристик: устойчивость к внешним воздействиям, самоорганизация, иерархичность.

Устойчивость

Если систему сковать путами постоянства, она может потерять способность эволюционировать.

К. С. Холлинг², эколог

Определений понятия «**устойчивость**» много. Они зависят от того, в какой области знаний его используют: инженерии, экологии или системологии. Нам подойдет обычное определение из словаря: «Способность возвращаться в исходную форму, положение и так далее после сжатия или растяжения. Упругость и эластичность. Способность быстро восстанавливать силы, душевное равновесие, хорошее настроение или возвращаться в любое иное состояние». Устойчивость — это мера, определяющая способность системы выживать и сохраняться в изменчивой среде. Противоположность устойчивости — жесткость и ригидность.

Устойчивость системы возникает благодаря разнообразию ее структуры, включающей множество цепей обратной связи, которые способны восстанавливать систему различными путями даже после значительных изменений. Достаточно лишь одного балансирующего цикла обратной связи, чтобы восстановить систему. Устойчивость обеспечивают несколько таких циклов, действующих через различные механизмы в разные периоды времени по принципу резервирования (то есть если один из механизмов не справляется со своей задачей, то в дело вступает другой).

Набор циклов обратных связей, способных *восстанавливать или заново выстраивать обратные связи*, — это проявление устойчивости

на еще более высоком уровне, или метаустойчивость, если можно так выразиться. Даже метаметаустойчивость не что иное, как следствие наличия цепей обратных связей, которые могут *обучаться, создавать, проектировать и развивать* все более и более сложные восстанавливающие структуры. Системы, способные на такое, называются самоорганизующимися, и это следующая удивительная характеристика систем, к которой мы переходим.

Человеческий организм — это поразительный пример устойчивой системы. Он способен оказывать сопротивление тысячам видов различных внешних возбудителей заболеваний, выдерживать значительные перепады температур и использовать для питания множество разнообразных продуктов, перераспределять кровообращение, затягивать раны, ускорять или замедлять метаболизм, а также в определенной степени компенсировать отсутствие или повреждение некоторых своих частей. Прибавьте к этому самоорганизующийся интеллект, который способен учиться, социализироваться, создавать технологии и даже трансплантировать органы, и перед вами предстанет потрясающе устойчивая система, хотя и не бесконечно устойчивая, так как по крайней мере на данный момент ни один человеческий организм, наделенный интеллектом, не смог добиться такой устойчивости, чтобы в конечном счете спасти себя или другой организм от смерти.

Ограничения по устойчивости систем существуют всегда

Экосистемы также отличаются большой устойчивостью. Они включают в себя множество биологических видов, контролирующих друг друга, перемещающихся в пространстве. Численность особей увеличивается или уменьшается с течением времени в зависимости от погодных условий, наличия питательных веществ и влияния человеческой деятельности. Популяции и экосистемы также способны учиться и эволюционировать благодаря своему невероятно богатому генетическому разнообразию. При отсутствии ограничений по времени они могут создать абсолютно новые системы. Популяции используют преимущества новых возможностей для обеспечения своей жизнедеятельности.

Устойчивость не надо путать со статичностью или неизменностью во времени. Устойчивые системы могут быть очень динамичными. Краткосрочные колебания или периодические резкие изменения, постепенные сукцессии (длительные циклы смены сообществ), достижение климакса (относительно устойчивое сообщество, завершающее ряд сукцессий) и упадок могут быть проявлением нормального состояния системы, которая благодаря упругости способна восстанавливаться!

И наоборот, системы, в которых с течением времени не происходят изменения, могут быть неустойчивыми. Это различие между статической стабильностью и устойчивостью к внешним воздействиям очень важно. Статическую стабильность можно наблюдать и даже измерить, фиксируя еженедельно или ежегодно параметры системы и оценивая их изменение. Устойчивость к внешним воздействиям очень сложно заметить, если не выходить за пределы системы, не перегружать ее, не нарушать уравнивающие связи или не повреждать структуру системы. В связи с тем, что устойчивость не так очевидна, если не иметь полного видения системы, люди часто жертвуют ею ради достижения стабильности, или продуктивности, или ради других более явных характеристик системы.

- Введение коровам генно-модифицированного гормона роста крупного рогатого скота повышает их удои, при этом пропорциональное увеличение количества потребляемой ими пищи не наблюдается. Этот гормон направляет часть метаболической энергии коров на образование молока вместо выполнения других функций организма. (Веками животноводы делали то же самое, но в меньшей степени.) Но за увеличение удойности приходится платить снижением устойчивости. Коровы становятся более подверженными заболеваниям, сильнее зависят от качества ухода со стороны человека, меньше живут.
- Своевременные поставки продуктов на предприятия розничной торговли или запасных частей производителям уменьшают нестабильность запасов, связанную с хранением, снижая затраты во многих отраслях. Однако применение метода поставок «точно в срок» приводит к тому, что производственная система становится более чувствительной к перебоям в доставке топлива,

интенсивности транспортного потока, компьютерным поломкам, наличию рабочей силы и другим возможным затруднениям.

- Сотни лет интенсивного лесоустройства в Европе постепенно привели к тому, что естественные экосистемы заменили насаждения одинаковых по возрасту и виду деревьев, часто завезенных из других природных зон. Эти леса используют для быстрого получения неограниченного количества древесины и целлюлозы. Однако в них нет взаимодействия между многочисленными видами, извлекающими различные питательные вещества из почвы и выделяющими их обратно, и такие леса утратили свою устойчивость и стали особенно уязвимы к новому виду неблагоприятного воздействия — промышленному загрязнению воздуха.

Многие хронические заболевания, такие как рак или болезни сердца, возникают вследствие нарушения механизмов устойчивости, которые восстанавливают ДНК, поддерживают эластичность кровеносных сосудов или контролируют деление клеток. Причиной экологических катастроф во многих местах также выступает потеря устойчивости, вызванная тем, что некоторые биологические виды искусственно удаляются из экосистем, нарушается химический и биологический состав почв или накапливаются токсины. Различные крупные организации, от корпораций до правительственных учреждений, теряют устойчивость просто потому, что механизмам обратных связей, через которые они получают информацию и отвечают внешнему миру, приходится преодолевать слишком много этапов, запаздываний и искажений. (Более подробно об этом вы узнаете, когда мы перейдем к описанию иерархических структур.)

В моем понимании устойчивость — это некая плоскость, на которой системы могут безопасно функционировать в нормальном режиме. Устойчивая система располагается на большой плоскости, где много места для различных передвижений и мягкие, эластичные границы, от которых она будет отталкиваться и возвращаться в свое естественное состояние всякий раз, когда приблизится к опасной черте. Когда система теряет свою устойчивость, эта плоскость сокращается, а защитные стены становятся более низкими и менее эластичными, система балансирует на грани, рискуя нарушить свои границы при каждом движении. Потеря устойчивости может произойти неожиданно, так как обычно система уделяет

намного больше внимания своей деятельности, а не тому пространству, в пределах которого она действует. А в один прекрасный день, выполняя какое-нибудь действие, как и сотни раз до этого, она вдруг рухнет.

Системами необходимо управлять для того, чтобы обеспечить не только их продуктивность или стабильность, но и устойчивость — способность выдерживать внешние воздействия, восстанавливаться после них и возвращать себе исходное состояние

Понимание принципов действия механизмов устойчивости позволяет находить способы сохранения или развития способностей системы восстанавливаться. Именно поэтому поощряется создание естественных экосистем, в которых хищники контролируют количество мелких животных, наносящих вред сельскому хозяйству. Именно поэтому возникло комплексное медицинское обслуживание, которое подразумевает не только лечение болезней, но и стимулирование внутренней сопротивляемости организма. Именно поэтому программы помощи малоимущим не только предусматривают предоставление еды или денежных средств, но и способствуют изменению тех условий, которые мешают людям самостоятельно обеспечивать себя продуктами и зарабатывать деньги.

Самоорганизация

Эволюция — это не просто цепочка случайностей, которые определяются только изменением условий окружающей среды за время существования Земли и являются результатом борьбы за выживание... ее развитие подчиняется конкретным законам... Открытие этих законов представляет собой одну из важнейших задач будущего.

Людвиг фон Берталанфи³, биолог

Наиболее поразительная особенность некоторых сложных систем заключается в их способности обучаться, развиваться, усложняться, эволюционировать. Это и способность единственной оплодотворенной

яйцеклетки переродиться таким образом, чтобы произвести потомство — будь то невероятно сложный организм лягушки, цыпленка или человека. Это и способность природы создавать миллионы разнообразных причудливых биологических видов из отдельных органических веществ. Это и способность общества осознать, принять и применять результаты воплощения таких идей, как сжигание угля, использование пара, перекачивание воды, специализация труда и организация рабочей силы для создания автосборочного предприятия, города небоскребов, всемирной коммуникационной сети.

Эта способность системы делать свою структуру более сложной называется **самоорганизацией**. Вы можете увидеть проявление простых форм самоорганизации, когда любуетесь снежинкой или ледяными узорами на окне с плохой теплоизоляцией или смотрите, как вырастают кристаллы в пересыщенном растворе. Более сложная форма самоорганизации — прорастание семени. И когда вы наблюдаете, как ребенок учится говорить, или группа соседей собирается вместе, чтобы выступить с протестом против свалки токсичных отходов, то также имеете дело с проявлением самоорганизации.

Самоорганизация настолько естественна для систем, в особенности живых, что мы воспринимаем ее как нечто само собой разумеющееся. Иначе мы были бы просто поражены предстающими перед нами системами мира. И если бы мы могли воспринять и осознать эту удивительную способность систем (частью которых мы являемся), то скорее бы стимулировали их, а не мешали им самоорганизовываться.

Как и устойчивость, самоорганизация часто приносится в жертву краткосрочным целям, направленным на достижение продуктивности и стабильности. Именно ради повышения продуктивности и стабильности людей, творцов по своей природе, превращают в механические придатки производственных процессов. Или уменьшают генетическое разнообразие сельскохозяйственных культур. Или устанавливают бюрократические порядки и создают теории, в которых к людям относятся как к номерам и числам.

Самоорганизация приводит к гетерогенности и непредсказуемости. Она способствует появлению абсолютно новых структур, абсолютно новых способов осуществления определенных действий. А для этого

требуются свобода и возможность экспериментирования, а также некоторый беспорядок. Эти условия, необходимые для осуществления самоорганизации, часто пугают отдельных индивидов и угрожают властным структурам. В результате образовательные системы могут ограничивать творческие способности детей вместо того, чтобы их стимулировать. Экономическая политика часто склоняется скорее к поддержке уже существующих, мощных предприятий, нежели к созданию новых. И правительства многих стран не слишком охотно относятся к самоорганизации населения.

К счастью, самоорганизация настолько естественное свойство живых систем, что даже самые могущественные структуры не в состоянии полностью ее уничтожить, хотя во имя закона и порядка подавляют в течение длительных бесплодных, жестоких и изнуряющих периодов.

Теоретики в области систем полагали раньше, что самоорганизация — это настолько сложное их свойство, что его невозможно будет когда-либо понять. Компьютеры использовали для создания механистических, «детерминистских» систем, не способных к развитию, так как ученые без долгих раздумий пришли к выводу, что понять и смоделировать эволюционирующие системы невозможно.

Впрочем, недавние открытия дали основание предполагать, что соблюдение всего лишь нескольких простых организующих принципов способно привести к образованию большого разнообразия самоорганизующихся структур. Представьте треугольник с тремя равными сторонами. Добавьте к каждой стороне еще по одному равностороннему треугольнику, в три раза меньшему, чем первый. Добавьте к каждой новой стороне еще по треугольнику, тоже уменьшенному в три раза. И так далее. В результате получится фигура, которая называется снежинкой Коха (рис. 46). Общая длина ее сторон колоссальна, но в то же время снежинку можно поместить внутри окружности. Эта структура всего лишь одна из простых фигур фрактальной геометрии — царства математики и искусства, наполненного сложными формами, построенными по предельно простым правилам.

Точно так же, используя всего лишь несколько простых правил построения фракталов, на компьютере можно получить изображение утонченной, прекрасной и замысловатой структуры стилизованного папоротника.

Деление одной-единственной клетки, завершающееся ее превращением в человеческое тело, вероятно, происходит при соблюдении набора каких-то похожих геометрических правил, простых по своей сути, но приводящих к созданию формы наивысшей сложности. (С точки зрения фрактальной геометрии суммарная площадь поверхности человеческого легкого соизмерима с площадью теннисного корта.)

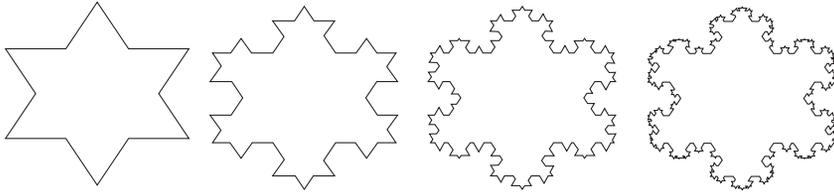


Рис. 46. Снежинка Коха. Этот утонченный и замысловатый образ создан на основе простого набора организующих принципов или правил построения

Вот еще несколько примеров простых организующих правил, которые привели к образованию самоорганизующихся систем невероятной сложности:

- Все формы жизни, от вирусов до гигантских секвой, от амёб до слонов, основаны на правилах организации, закодированных в цепях ДНК, РНК и молекулах белков.
- Сельскохозяйственная революция и все, что за ней последовало, началась с простых шокирующих идей о том, что люди могут поселиться и жить на одной территории, обрабатывать землю, заниматься отбором и выращиванием растительных культур.
- «Бог сотворил Вселенную с Землей в центре, земельные угодья с замком в центре и человечество с Церковью в центре» — это не что иное, как организующий принцип сложных социальных и физических структур Европы в Средние века.
- «Бог и мораль — это устаревшие понятия; люди должны быть объективными и смотреть на мир с научной точки зрения, владеть средствами производства и их приумножать, а также обращаться с другими людьми и природой как с инструментами, необходимыми для организации процесса производства» — это организующий принцип промышленной революции.

На основе простых принципов самоорганизации могут быть выстроены гигантские, разнообразные технологии, физические структуры, организации и культуры.

Системы часто обладают свойством самоорганизации — способностью создавать и свою, и новые структуры, а также обучаться, диверсифицироваться и усложняться. Даже сложные формы самоорганизации могут появиться на основе относительно простых организующих правил, хотя возможен и другой вариант

Науке известно, что самоорганизующиеся системы способны возникать на основе простых правил. В науке, которая тоже по своей сути самоорганизующаяся система, принято считать, что вся сложность нашего мира в итоге должна быть построена на простых правилах. Так ли это на самом деле — пока науке неизвестно.

Иерархия

Натуралистами открыты
У паразитов паразиты,
И произвел переполох
Тот факт, что блохи есть у блох.
И обнаружил микроскоп,
Что на клопе бывает клоп,
Питающийся паразитом,
На нем — другой, ad infinitum.

*Джонатан Свифт⁴,
поэт XVIII века*

В процессе образования новых структур и их усложнения самоорганизующиеся системы часто используют принцип **иерархии**.

Мир (по крайней мере, те его части, которые доступны для человеческого понимания) состоит из подсистем, объединенных в более крупные подсистемы, которые, в свою очередь, объединены в еще более крупные подсистемы. Клетка вашей печени — это подсистема органа, который является подсистемой организма, а вы являетесь подсистемой семьи, спортивной команды, музыкальной группы и так далее.

Эти группы представляют собой подсистемы небольшого городка или крупного мегаполиса, страны, всей глобальной социоэкономической системы, которая находится внутри системы биосферы. Это взаимоотношение систем и подсистем называется иерархией.

Корпоративные системы, военные системы, экологические системы, экономические системы, системы живых организмов — все они объединены в иерархии. И это не случайно. Благодаря тому, что подсистемы способны по большей части сами себя обслуживать, регулировать, обеспечивать и в то же время удовлетворять потребности более крупной системы, пока она координирует и оптимизирует функционирование этих подсистем, образуется стабильная, устойчивая и эффективная структура. Трудно представить, что может быть иначе.

ИНТЕРЛЮДИЯ

Почему Вселенная имеет иерархическую структуру — басня

Жили однажды два часовых дел мастера, звали их Хора и Темпус*. Оба они мастерили прекрасные часы, и было у них много клиентов. Люди заходили к ним в мастерские, их телефоны звонили не переставая, клиенты делали все новые и новые заказы. Тем не менее с годами Хора богател, в то время как Темпус становился все беднее и беднее. А все потому, что Хора открыл принцип иерархии...

И Хора, и Темпус мастерили часы, состоящие из тысячи деталей. Темпус собирал свои часы так, что если ему приходилось на время прерваться, когда часы еще были незаконченными (чтобы ответить на телефонный звонок, например), то они сразу же разваливались на части. Когда Темпус возвращался к сборке, ему приходилось начинать работу заново. Чем чаще ему звонили клиенты, тем сложнее ему становилось выкроить время, чтобы, не прерываясь, закончить сборку хотя бы одних часов.

Часы, которые мастерил Хора, были ничуть не проще, чем у Темпуса, но он собирал отдельные прочные фрагменты, в каждом из которых было порядка десяти элементов. Затем из десятка таких фрагментов он собирал более крупный блок, а из десяти таких блоков получались часы. И каждый раз, когда Хоре приходилось отложить не до конца собранные часы, чтобы ответить на телефонный звонок, ему нужно было переделать лишь небольшую часть работы. Поэтому он мастерил свои часы намного быстрее и эффективнее, чем Темпус.

Из простых систем могут сформироваться сложные системы только при наличии устойчивых промежуточных форм. А возникшие сложные формы, конечно же, будут иерархическими. Это объясняет, почему в природных системах так часто встречаются иерархические

* Час и время (лат.).

структуры. Среди всех возможных сложных форм иерархические структуры оказались единственными, у которых было достаточно времени, чтобы эволюционировать⁵.

Иерархические структуры — это гениальное изобретение систем не только потому, что они обеспечивают системе стабильность и устойчивость, но и потому, что они уменьшают количество информации, которая должна храниться и отслеживаться в каждой части системы.

В иерархических системах связи *внутри* каждой подсистемы теснее и сильнее, чем связи *между* подсистемами. Все со всем связано, но что-то связано между собой сильнее. Люди, которые учатся в университете на одном факультете, разговаривают друг с другом чаще, чем с теми, кто учится на других факультетах. Клетки, из которых состоит печень, связаны между собой сильнее, чем с клетками сердца. Если эти различные информационные связи внутри каждого уровня и между всеми уровнями иерархической структуры выстроены правильно, то запаздывания обратной связи сводятся к минимуму. Ни один из уровней не перегружен информацией. Система работает эффективно и будет устойчивой.

Иерархические системы частично можно разложить на составные части (подсистемы) и рассматривать их обособленно. Подсистемы, обладающие особенно тесными информационными связями, способны функционировать как полноправные системы, по крайней мере частично. Если иерархические структуры разрушаются, то обычно они разделяются на части по границам своих подсистем. Можно многое узнать, разбивая системы на разные иерархические уровни (например, на уровни клеток и органов) и изучая их по отдельности. Следовательно, сторонники системного мышления заявили бы, что строгий научный редукционизм многому учит. Тем не менее не стоит забывать о важности связей, соединяющих каждую подсистему с другими подсистемами и с более высокими уровнями иерархической структуры, иначе можно столкнуться с неожиданными сюрпризами.

Например, при болезни печени врач часто лечит пациента, не учитывая состояние сердца или миндалин (оставаясь на том же иерархическом уровне), не принимая во внимание особенности его личности (поднимаясь на один-два уровня выше) или строение ДНК в ядрах клеток печени (опускаясь на несколько уровней ниже). Тем не менее существует достаточно много исключений из этого правила, подчеркивающих необходимость сделать шаг назад и рассмотреть иерархическую

структуру в целом. Возможно, пациент работает на производстве, где подвергается воздействию вредного химического вещества. А возможно, корни заболевания лежат в нарушении функций ДНК.

Со временем те факторы, которые вам необходимо учитывать, могут измениться, так как в самоорганизующихся системах развиваются новые уровни иерархии и интеграции. Энергосистемы различных государств когда-то были практически полностью обособлены друг от друга. Теперь же ситуация изменилась. Люди, мышление которых не успело эволюционировать так же как энергоэкономика, придут в ужас, узнав, насколько они зависят от ресурсов, находящихся в другой части мира, и от принимаемых там же решений.

Самоорганизующиеся системы образуют иерархические структуры. У человека, который работает на себя, заметно возрастает нагрузка, и он нанимает себе помощников. Небольшая неофициальная некоммерческая организация привлекает большое количество членов и большой бюджет, и в один прекрасный день принимается решение: «Нужен кто-то, кто будет заниматься всеми организационными вопросами». В процессе деления скопления клеток начинают специализироваться, чтобы в дальнейшем выполнять разные функции, и формируется разветвленная система кровообращения, доставляющая питание всем остальным клеткам, а также разветвленная нервная система, управляющая этими процессами.

Иерархические системы эволюционируют, начиная с самого низшего уровня: от частей к целому, от клетки к органу и организму, от отдельных личностей к команде, от процесса производства к управлению им. В давние времена жители объединялись, и возникали города и поселения, чтобы можно было защищаться от внешних врагов и более выгодно организовать торговлю. Жизнь началась с одноклеточных бактерий, а не со слонов. Первоначальная цель иерархических структур — помочь возникающим подсистемам лучше выполнять свою работу. К сожалению, иногда об этом с легкостью забывают как более высокие, так и более низкие уровни сильно разветвленной иерархической структуры. И именно из-за плохого функционирования иерархических структур многие системы не достигают поставленных перед ними целей.

Член команды, больше заинтересованный в собственной славе, чем в победе команды, может стать причиной ее поражения. Когда какая-нибудь клетка организма прекращает выполнять свои функции и начинает делиться с большой скоростью, возникает процесс, который

мы называем раком. Если студенты считают своей целью получить высокие баллы вместо знаний, они списывают. Если какая-нибудь одиночная корпорация дает взятки правительству, чтобы получить преимущества, то нарушаются законы конкурентного рынка и под угрозой оказывается благополучие всего общества в целом.

Когда цели подсистемы преобладают над общими целями всей системы и реализуются в ущерб им, то такое поведение называют **суб-оптимизацией**.

Проблема излишнего централизованного контроля, конечно же, приносит не меньше вреда. Если бы мозг контролировал каждую клетку настолько жестко, что она не могла бы нормально выполнять функции по обеспечению своих потребностей, организм бы погиб. Если централизованные правила и распоряжки мешают студентам или преподавателям свободно изучать различные области знаний, то университет не служит своей цели. Если тренер вмешивается в спонтанные решения хорошего игрока, то мешает таким образом команде. Излишний контроль сверху в сфере экономики (от компаний до государств) не раз становился причиной величайших катастроф в истории, и все это касается и нас.

Чтобы быть высокофункциональной системой, иерархической структуре необходимо сохранять баланс между благополучием, свободой и обязанностями подсистем и всей системы в целом. Необходим и достаточный централизованный контроль, чтобы скоординировать работу для достижения общесистемной цели, и автономия, чтобы каждая подсистема могла процветать, нормально функционировать и быть самоорганизующейся.

Иерархические системы эволюционируют от низшего уровня к высшему. Цель высших слоев иерархической структуры — способствовать достижению целей ее низших слоев

Хорошая работа динамических систем обусловлена их устойчивостью, самоорганизацией и иерархичностью. Стремясь к достижению этих качеств, система может значительно улучшить свою способность функционировать в долгосрочном периоде, то есть возможности самоподдержания. Но наблюдение за поведением систем подчас позволяет увидеть много неожиданного.

Глава 4

ПОЧЕМУ СИСТЕМЫ УДИВЛЯЮТ НАС?

Проблема в том... что мы ужасно мало знаем. Самые образованные из нас невежественны... Обучение всегда включает в себя осознание собственного неведения — практически является его разоблачением. Наши познания о мире прежде всего показывают нам, что мир — это нечто значительно большее, чем наше знание о нем.

Уэнделл Берри¹, писатель и фермер из Кентукки

Даже самые простые системы в нашем «системном зоопарке», возможно, озадачили бы вас своим поведением. Они продолжают удивлять и меня, хотя я читала лекции о них на протяжении многих лет. Тот факт, что и вы, и я все еще удивляемся, открывает нечто новое и в нас, а не только в динамических системах. Различия между тем, что я считаю своим знанием о динамических системах, и реальным опытом заставляют меня быть скромнее. Они постоянно напоминают мне о трех вещах:

1. Наши знания о мире — не что иное, как модель. Каждое слово и каждый язык — модели. Все карты, статистика, книги и базы данных, уравнения и компьютерные программы — модели. И образы, которые возникают в голове, когда я думаю о мире, — это мои *ментальные* модели. Ничего из вышеперечисленного не является *реальным* миром.
2. Наши модели часто согласованы с окружающим миром. Именно поэтому мы так успешно существуем в биосфере. Особенно сложными и изощренными становятся ментальные модели, созданные под влиянием прямого, индивидуального взаимодействия с природой, людьми и организациями, которые окружают нас.

3. Несмотря на это (и, скорее, вопреки этому), наши модели не могут полностью описать и систематизировать мир. Вот почему мы делаем ошибки и регулярно удивляемся чему-либо. Мы способны отслеживать одновременно лишь несколько переменных. Мы часто приходим к нелогичным выводам, исходя из верных допущений, или к логичным выводам на основе ложных посылок. Большинство из нас, например, поражается скорости роста процессов, которые описываются экспоненциальными зависимостями. Но мало кто знает, как погасить колебания в сложных системах.

К описанному в этой книге отношение двойственное. Нам известно, как работает наш мир, но этого недостаточно. Наши знания поразительны, наше невежество ошеломляет. Мы можем понять, что лучше, но не можем приблизиться к идеалу. Я верю, что оба полюса этой двойственности имеют право на существование, так как узнала очень многое, изучая системы.

Наши знания о мире — не что иное, как модель.

Наши модели согласованы с окружающим миром.

Но они не способны полностью описать реальность

В этой главе приводятся некоторые соображения о том, почему динамические системы так часто нас удивляют. С другой стороны, наши ментальные модели не способны учесть все сложности реального мира, — по крайней мере, те случаи, которые мы не можем заметить с точки зрения самих систем. Это своего рода предупреждения о скрытых препятствиях на нашем пути. Мы не сможем правильно сориентироваться в запутанном мире обратных связей, если не перестанем обращать внимание только на краткосрочные события и не начнем учитывать поведение в долгосрочной перспективе и структуру систем; если не осознаем, где пролегают ложные границы и где наша рациональность ограничена; если не будем учитывать ограничивающие факторы, нелинейные зависимости и запаздывания. Если не учитывать устойчивость, самоорганизацию и иерархию систем, то, скорее

всего, нам не удастся понять принцип их работы, и мы не воспроизведем их.

Плохая это новость или хорошая — зависит от вашего желания контролировать мир и удивляться его тайнам. Но заключается она в следующем: даже если вы и поймете некоторые характеристики всех систем, вы не перестанете поражаться их поведению.

Обманчивые явления

Система — это большая черная коробка,
 Замки которой мы не можем открыть,
 Мы знаем лишь то, что
 Что-то входит и что-то выходит из нее.
 Наблюдая за входными и выходными данными,
 Связанными параметрами,
 Мы иногда можем угадать
 Входное или выходное значение и состояние системы.
 Если эта связь хороша и стабильна,
 Тогда мы можем сделать предсказание,
 Но если она ложна — упаси Боже!
 Нам придется силой открывать крышку!

Кеннет Боулдинг², экономист

Системы вводят нас в заблуждение — или мы сами водим себя за нос, наблюдая за миром, — демонстрируя серии последовательных событий. Ежедневные новости повествуют о выборах, войнах, политических соглашениях, катастрофах, обвалах и подъемах фондового рынка. Мы обсуждаем друг с другом определенные события в определенное время и в определенном месте. Команда выиграла матч. Река затопила город. Индекс Доу — Джонса акций промышленных компаний достиг 10 000. Где-то нашли нефть. Вырубили лес. Все события — это данные, постоянно поступающие из черного ящика системы.

События могут быть впечатляющими: автокатастрофы, убийства, великие победы, ужасающие трагедии. Они вызывают в нас эмоции. Хотя мы видели тысячи подобных происшествий на экранах наших

телевизоров и читали о них на первых полосах газет, каждое отличается от предыдущего, чтобы мы не потеряли к ним интерес (как мы не теряем интерес к хаотическим изменениям погоды). Считать, что мир состоит из последовательности событий, невероятно занимательно и удивительно, ведь в этом случае мы не можем предугадать или объяснить, что произойдет в будущем. События будто верхушка айсберга, возвышающаяся над поверхностью воды, — наиболее проявленные аспекты поведения более крупных систем, но зачастую они совсем не важны.

Мы перестанем так часто удивляться, если поймем, как отдельные события накапливаются и проявляются в динамических паттернах *поведения*. Команда выигрывает игру за игрой. Уровень реки поднимается из-за частых дождей и падает во время засухи. Индекс Доу — Джонса находится на пике уже два года. Новые нефтяные залежи находят все реже и реже. Скорость вырубki лесов растет.

Поведение системы зависит от ее изменения во времени: ее роста, стагнации, упадка, отклонений, случайных флуктуаций или эволюции. Если бы новости преподносили нам в историческом контексте, мы лучше понимали бы, как развиваются события, а не рассматривали отдельный эпизод. Когда исследователь систем сталкивается с проблемой, он первым делом ищет данные о системе, изучает временные графики и историю системы. И делает он это потому, что именно анализ долгосрочного поведения дает возможность немного разобраться в поведении системных структур. Это — ключ к пониманию не только того, *что* происходит, но и *почему*.

Структура системы включает в себя запасы, потоки и циклы обратной связи. Схемы из прямоугольников и стрелок (мои студенты называют их «спагетти с тефтелями») дают представление о структуре системы. Она определяет, какие типы поведения может проявить система. Целенаправленный балансирующий цикл обратной связи служит достижению или поддержанию состояния динамического равновесия. Усиливающий цикл обратной связи приводит к экспонентному росту. Если эти два цикла взаимосвязаны, то процессы в системе могут ускоряться, замедляться и достигать равновесия. Если в системе присутствуют запаздывания, то могут возникнуть колебания. Если циклы

работают периодически, быстрыми рывками, то поведение системы становится менее предсказуемым.

**Поведение системы определяется ее структурой.
Оно проявляется в виде серии событий, происходящих
за какой-либо промежуток времени**

Специалисты, изучающие системы, пытаются понять то структуру (строю диаграммы запаса, прироста и обратной связи), то поведение систем (анализируя временные графики); связь между рукой, которая запускает пружину (событие), последующими колебаниями (поведение) и механическими характеристиками спиралей пружины (структура).

Такой простой пример, как сжатие или растяжение пружины, делает очевидными различия между событием, поведением и структурой. Более того, зачастую анализ не останавливается на событиях. Прислушайтесь к ежедневным разговорам, почему фондовый рынок повел себя так, а не иначе. Акции пошли вверх (или вниз), потому что доллар США упал (или вырос), или базисная ставка выросла (или упала), или демократы выиграли (или проиграли), или одна страна вторглась в другую (или не стала этого делать). Это анализ событий, приводящих к другим событиям.

Подобные объяснения не позволяют предугадать, что случится завтра. Они не предоставят возможность изменить поведение системы, сделать фондовый рынок менее изменчивым, или выбрать хороший индикатор финансового состояния корпораций, или найти способ поддерживать инвестиции, и не только.

Анализ экономических систем зачастую проводят на более глубоком уровне, когда учитывается поведение системы в определенный промежуток времени. При построении эконометрических моделей предпринимаются попытки найти статистические связи между прошлыми трендами дохода, сбережений, инвестиций, расходов государства, процентной ставки, объема производства и тому подобного. Для описания таких связей часто используют сложные уравнения.

Модели, в основе которых заложено поведение систем, более полезны, чем те, что основаны на событиях, но и они не лишены фундаментальных изъянов. Во-первых, они, как правило, уделяют большое внимание потокам в системе и недооценивают роль запасов. Экономисты отслеживают потоки, потому что именно их поведение вызывает наиболее интересные и самые резкие изменения в системе. Новости экономики скорее освещают отечественное производство (потоки) продуктов и услуг, ВВП, а не суммарный физический капитал (запасы) национальных заводов, ферм и предприятий, которые поставляют эти продукты и услуги. Но мы не сможем понять динамику экономических систем или причины их поведения, если не знаем, как запасы влияют на зависящие от них потоки через обратную связь.

Во-вторых, и это более серьезный недостаток, специалисты по эконометрике ищут статистические зависимости между разными потоками — то, чего на самом деле не существует. Нет оснований ожидать, что какой-либо поток будет стабильно связан с любым другим потоком. Потоки постоянно усиливаются и ослабевают, включаются и выключаются, образуют разные сочетания и зависят от изменения запасов, а не от других потоков.

Позвольте привести один простой пример, чтобы объяснить, что я имею в виду. Предположим, вы совсем ничего не знаете о термостатах, но у вас есть достаточно данных о перепадах температуры в предшествующий период внутри и снаружи помещения. Вы можете составить уравнение, которое опишет, как изменялись тепловые потоки относительно друг друга в прошлом, потому что при обычных условиях они определялись одним и тем же запасом (температурой в помещении).

Но уравнение верно до тех пор, пока в структуре системы ничего не изменится: никто не откроет окно, никто не заменит теплоизоляцию, никто не включит обогреватель. Иными словами, с помощью уравнения вы можете рассчитывать температуру, которая будет в помещении завтра, лишь до тех пор, пока в системе не произойдут изменения или ее функционирование не нарушится. Но если вы захотите, чтобы в помещении стало теплее, или если температура на улице внезапно резко понизится и вам придется это учитывать, или если вы захотите сохранить температуру в помещении на прежнем уровне,

заплатив меньше за отопление, анализ уравнения изменения температуры не поможет. Придется разбираться со структурой системы.

Вот почему прогнозы на основе эконометрических моделей, учитывающих поведение системы, довольно хорошо описывают ближайшие события в экономике, но не долгосрочные процессы. И такие эконометрические модели совсем не годятся для разработки стратегий улучшения экономики.

И это тоже одна из причин неожиданного поведения систем. Мы удивляемся событиям, которые они демонстрируют, и практически не обращаем внимания на их историю. И нам не хватает знаний и опыта, чтобы найти в их истории подсказки и понять структуру системы, которая и определяет ее поведение и ход событий.

Линейное мышление в нелинейном мире

Линейные соотношения изображаются прямой линией на графике, и они достаточно просты. Линейные уравнения всегда разрешимы, что делает их подходящими для учебников. Линейные системы обладают неоспоримым достоинством: можно рассматривать отдельные уравнения как порознь, так и вместе.

Нелинейные системы в общем виде не могут быть решены... Если пренебречь им [трением], можно получить простую линейную зависимость между ускорением хоккейной шайбы и силой, придающей ей это ускорение. Приняв в расчет трение, мы усложним формулу, поскольку сила будет меняться в зависимости от скорости движения шайбы. Из-за этой сложной изменчивости рассчитать нелинейность весьма непросто. Вместе с тем она порождает многообразные виды поведения объектов, не наблюдаемые в линейных системах.

Джеймс Глик, «Хаос. Создание новой науки»³

Часто нам не хватает навыков, чтобы понять характер зависимости. Графическое изображение линейной зависимости между двумя элементами в системе — прямая линия. Это прямо пропорциональная зависимость с постоянным коэффициентом. Если внести 10 кг удобрений,

то урожай увеличится на 200 кг. Если внести 20 кг удобрений, то урожай увеличится на 400 кг. Если 30 кг, то на 600 кг.

Для нелинейной зависимости эффект пропорциональности не соблюдается. Графическая зависимость между причиной и следствием может быть отображена лишь кривыми и волнообразными линиями, но только не прямой. Если внести 100 кг удобрений, урожай увеличится на 2000 кг, если внести 200 кг удобрений, это не повлияет на величину урожая, если 300 кг, то урожай станет еще меньше. Почему? Почва станет перенасыщена удобрениями: мы забыли, что «лучшее — враг хорошего».

Мир полон нелинейных зависимостей.

Нам свойственно мыслить линейно. Если нас учили, что небольшое усилие дает небольшой результат, то мы считаем, что удвоенное усилие даст удвоенный результат. Но в нелинейной системе удвоенное усилие приведет к тому, что полученный результат, вместо того чтобы быть в два раза больше, станет в шесть раз меньше, или даст результат в квадрате, или никак не отразится на результате.

Вот некоторые примеры нелинейных зависимостей:

- Если поток машин на шоссе растет, то их скорость увеличивается слегка из-за уплотнения движения. Но в итоге последующие небольшие увеличения плотности потока приводят к стремительному падению скорости. И когда количество машин на шоссе достигает определенного значения, образуется пробка, и скорость движения падает до нуля.
- Эрозия почвы может развиваться долгое время, не влияя на урожай, но это будет происходить до тех пор, пока верхний слой не истощится до уровня корней посевов. И тогда эрозия провоцирует резкое падение урожая.
- неброская, но стильная реклама может вызвать интерес к продукту. Назойливая широкая рекламная кампания даст обратный результат.

Теперь вы понимаете, почему нелинейные зависимости преподносят нам сюрпризы. Полученные результаты противоречат ожидаемым, когда мы считаем, что раз небольшое количество лекарства дает хороший результат, то при увеличении дозы результат будет еще лучше.

Или наоборот, если небольшие вредные воздействия практически ни на что не повлияли, то и от усиленного воздействия последствия останутся практически незаметными. Подобные разумные ожидания ошибочны в нелинейном мире.

Нелинейные зависимости имеют большое значение не только потому, что они объясняют, почему наши ожидания не оправдываются. Прежде всего они важны потому, что *изменяют относительную силу цикла обратной связи*. Они могут изменять характер поведения систем.

Нелинейные зависимости — главная причина изменения доминирующего цикла, который характеризует некоторые системы в нашем «зоопарке». Например, экспоненциальный рост, связанный с доминирующим усиливающим циклом, сменится падением, вызванным внезапным влиянием балансирующего цикла.

Многие зависимости в системах нелинейные. Их относительная мощность изменяется непропорционально изменению величины запасов системы. Нелинейные зависимости в системах с обратной связью приводят к тому, что происходит смена доминирующего цикла, и поведение системы становится сложным

Особенно драматичный пример проявления нелинейности — разрушительные набеги гусениц листоверток-почкоедов в лесах Северной Америки.

ИНТЕРЛЮДИЯ

Еловые листовертки-почкоеды, хвойные леса и пестициды

Кольца деревьев содержат информацию о листовертках, которые периодически уничтожали ели и пихты в Северной Америке на протяжении, по крайней мере, 400 лет. До нынешнего столетия никто не задумывался об этом. Ценным деревом в лесопромышленности считалась только белая сосна, а не все хвойные деревья. Но в итоге белые сосны практически все вырубали, и в лесопромышленности стали использовать ель и пихту. И гусеницы листовертки-почкоеда стали страшным врагом.

Начиная с 1950-х годов над северными лесами начали распылять инсектициды ДДТ, чтобы контролировать популяцию листоверток. Несмотря на это, каждый год леса

захлестывали новые волны насекомых. Однако обработки инсектицидом продолжались на протяжении 1950-х, 1960-х и 1970-х годов, пока ДДТ не был запрещен. Его заменили фенитротрион, ацефат, севин и метоксихлор.

И хотя стало понятно, что это не решает проблему, инсектициды продолжали использоваться. «Инсектициды помогают нам выиграть время, — говорил один лесничий. — А все, что нужно лесостроителю, — это сохранить деревья для распила».

К 1980 году расходы на инсектициды стали неподъемными: в том году канадская провинция Нью-Брансуик потратила 12,5 млн долларов на контроль численности листоверток. Обеспокоенные местные жители выражали протест против заражения лесов химикатами. К тому же, несмотря на обработку лесов, гусеницы продолжали уничтожать около 20 млн гектаров леса ежегодно.

К. Холлинг из Университета Британской Колумбии и Г. Баскервиль из Университета Нью-Брансуик спроектировали компьютерную модель, чтобы посмотреть, как в целом с точки зрения системного подхода выглядит проблема с насекомыми. Они обнаружили, что до начала обработок почкоеды практически не уничтожали леса. Их численность контролировалась некоторыми видами хищников, включая птиц, пауков, ос-паразитов, а также рядом заболеваний. Но через каждые несколько десятилетий наблюдалось массовое увеличение популяции листоверток, продолжавшееся от шести до десяти лет. Затем численность листоверток падала, чтобы вновь резко возрасти через несколько десятков лет.

В первую очередь листовертки предпочитали бальзамическую пихту, затем ель. Пихта — самое конкурентоспособное дерево северных лесов. Если ее численность не контролировать, она начнет вытеснять ели и березы, и лес станет пихтовой монокультурой. Каждый набег гусениц-почкоедов уменьшал количество пихт, расчищая место для елей и берез. Через некоторое время пихты снова начинали разрастаться.

По мере заселения лесов пихтами увеличивалась и вероятность нового набега насекомых, причем этот процесс был *нелинейным*. Репродуктивный потенциал листоверток не возрастает пропорционально увеличивающемуся количеству пихт. В конечном счете запускают этот процесс два или три теплых весенних дня, предоставляющих прекрасные условия для развития личинок насекомых. (Если вы проанализируете только наблюдаемые события, то, скорее всего, обвините в нашествии гусениц теплые и сухие дни.)

Популяция гусениц-листоверток растет настолько быстро, что их естественные враги не успевают контролировать этот процесс. И эта зависимость *нелинейна*. Обычно рост популяции листоверток приводит к увеличению количества хищников, питающихся ими. Но в какой-то момент численность хищников перестает расти с той же скоростью, что и популяция листоверток. Увеличение количества листоверток больше не приводит к ускоренному размножению хищников, — и листовертки начинают свой набег.

Колебания в системе «листовертки — ели — пихты» длятся десятилетиями, но сама система остается экологически устойчивой в определенных пределах. Она может существовать вечно. Уничтожая пихты, листовертки дают возможность расти другим деревьям. Но в этом случае экологическая устойчивость приводит к экономической

неустойчивости. В Восточной Канаде экономика практически полностью зависит от лесозаготовительной промышленности, которая, в свою очередь, зависит от снабжения древесиной пихт и елей.

Когда начали обрабатывать леса инсектицидами в промышленном масштабе, в системе произошло смещение равновесного состояния, и ей стало сложнее балансировать между разными нелинейными зависимостями. Химикаты убивают не только насекомых, но и их природных врагов, ослабляя цикл обратной связи, который в обычной ситуации контролирует популяцию листоверток. Плотность насаждений пихт в лесах остается высокой, и это провоцирует листоверток, размножение которых и так происходит по нелинейному закону, перейти за пиковую точку на нелинейной репродукционной кривой, после которой их размножение продолжится взрывными темпами.

По словам Холлинга, практика лесничих свидетельствует, что на огромных территориях постоянно существует угроза «популяционного взрыва». Руководители лесозаготовок поняли, что попали в ловушку собственной политики, и если в ходе распыления химикатов что-то пойдет не так, то это приведет к невиданному до сих пор нашествию листоверток⁴.

Несуществующие границы

Когда мы думаем на «языке» систем, мы видим, что в популярном термине «побочные эффекты» заложено фундаментальное заблуждение... Это словосочетание означает примерно следующее: «эффекты, которые я не предвидел или о которых не хотел думать»... Побочные эффекты не заслуживают прилагательного «побочные» так же, как не заслуживают его «основные» эффекты. Думать в соответствии с системными терминами сложно, и мы часто искажаем наш язык, только чтобы не делать этого.

Гарретт Хардин⁵, эколог

Помните облака на структурных графиках в первой и второй главах? Опасайтесь облаков! Именно они — главный источник неожиданностей в системах.

Облаками обозначают начало и конец потоков системы. Это запасы — источники и стоки, — которые мы сейчас игнорируем, чтобы сделать обсуждение более простым. Они отмечают границу на схеме системы. Очень редко она совпадает с настоящей границей, так как системы почти не имеют реальных границ. Нельзя провести четкую

границу между морем и сушей, между социологией и антропологией, между выхлопами автомобиля и вашим носом. Границы существуют лишь на словах, в мыслях, ощущениях и в общественных соглашениях — искусственные, выдуманные границы.

Главные сложности возникают как раз на таких границах. Чехи могут жить на немецкой территории, а немцы — на чешской. Лесные виды деревьев иногда растут и за пределами леса в поле, а полевые — часто распространяются в лес. Смешанные, нечеткие границы — источник разнообразия и творчества.

Например, в нашем «системном зоопарке» поток машин направляется из облака прямо на склад автомобильного дилера. Конечно, машины не падают с неба, их изготавливают на заводах из запаса сырья, используя капитал, труд рабочих, энергию, технологии, а также методы управления производством (средства производства). Аналогично поток машин со склада устремляется не в облако, а через продажи к покупателям.

Насколько важно отслеживать потоки сырья и готовой продукции в дома к потребителям (независимо от того, законно ли их заменить на схеме облаками), зависит от того, как сильно они влияют на поведение системы в течение периода времени, представляющего для нас интерес. Если мы уверены, что сырья хватит, а спрос на продукт останется прежним, на схеме появятся облака. Но если предвидится нехватка сырья или перепроизводство продукта, а мы при этом возводим вокруг системы мысленные границы и, следовательно, не учитываем эти обстоятельства, то будущие события нас удивят.

На схеме (рис. 47) облака есть. Но границы системы можно раздвинуть. На заводы по изготовлению машин переработанное сырье поставляется металлургическими, химическими или нефтеперегонными заводами, на которые, в свою очередь, сырье поставляют компании, занятые добычей полезных ископаемых. Помимо изготовления продукта, любое производство обеспечивает занятость населения, которому выплачивается зарплата; дает прибыль; производит отходы. Использованная и выброшенная потребителями продукция оказывается на свалках, в мусоросжигательных печах или в центрах переработки мусора, продолжая оказывать влияние на общество и природу. Отходы со свалок попадают в водоемы с питьевой водой, печи выбрасывают

дым и пепел, центры переработки превращают мусор во вторичное сырье, которое вновь посылают на конвейер.

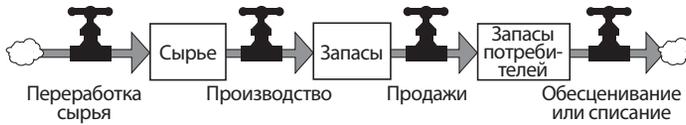


Рис. 47. На схеме показаны некоторые запасы, которые ранее были скрыты «облаками»

Насколько важно рассматривать полный оборот сырья от горнодобывающих шахт до свалки, или, как поговаривают на производствах, «от колыбели до могилы», зависит от того, кто, с какой целью и за какой промежуток времени хочет это знать. В долгосрочной перспективе полный оборот важен, и в то время как материальная экономика развивается и «экологическое воздействие» человека растет, длительный период времени часто превращается в короткий. Свалки наполняются внезапно, удивляя людей, которые считают, что мусор растворяется в воздухе. Источники сырья — шахты, скважины и месторождения нефти — могут быть выработаны с той же скоростью.

Если мы раздвинем границы нашего восприятия времени, то шахты и свалки перестают быть концом истории. Крупные геологические циклы постоянно перемещают породы, открывая и закрывая доступ к морям, поднимая и разрушая горы. Наступит новая геологическая эра, и все, что попало на свалку, окажется на вершине горы или на дне моря. Сформируются новые месторождения металлов и топлива. У такой системы, как планета Земля, нет «облаков» или конечных границ. Даже настоящие облака на небе — всего лишь часть гидрологического цикла. Все материальные потоки поступают откуда-то, стремятся куда-то, и движение продолжается.

Но нельзя сказать, что модель, мысленная или рассчитанная на компьютере, должна отслеживать каждое звено цепи, чтобы включить в себя все земные процессы. «Облака» — важная часть моделей, описывающих метафизические потоки. Буквально «из облака» возникают злость, любовь, ненависть, самооценка и так далее. Если мы хотим понять хоть что-нибудь, нам придется упрощать систему, а это означает,

что мы должны провести границы. Часто бывает, что это самый опасный вариант действий. Например, мы можем легко думать об изменениях численности населения с точки зрения рождаемости и смертности, считая, что из «облаков» приходят и в «облака» возвращаются, как это показано на рисунке 48.



Рис. 48. И в этой системе не обойтись без «облаков»

Можно допустить, что на рисунке 48 показаны настоящие границы «от колыбели до могилы». Но даже эти границы могут оказаться не соответствующими действительности, если численность населения заметно изменяется за счет входящего потока мигрантов или эмиграции или если проблема, которую мы обсуждаем, касается только системы одного кладбища.

Обучение расстановке границ тяжело дается даже тем, кто мыслит системно. Единственной, истинной границы, которую мы можем очертить вокруг системы, не существует. Нам приходится решать, где расставлять границы с точки зрения здравого смысла, чтобы лучше понимать процессы, происходящие в системе, но границы могут вызвать проблемы, когда мы забываем, что создали их искусственно.

**Не существует отдельных изолированных систем.
Весь мир непрерывен. Где провести границу системы,
зависит от поставленной цели** и вопроса, ответ на который мы
хотим получить

Если вы чересчур ограничите систему, наложив слишком узкие рамки, не удивляйтесь тому, как она поведет себя. Например, вы пытаетесь решить проблему пробок на городских дорогах, но при этом не подумали о том, как будет развиваться жилищное строительство. Вы прокладываете шоссе, вдоль которого начинает возводиться новое жилье. Жители этого

поселения, в свою очередь, тоже начнут пользоваться новой магистралью, и на дорогах появится еще больше машин, создающих новые заторы.

Если вы пытаетесь решить проблему с канализационными водами, сбрасывая их в реку, то должны помнить о городах, расположенных ниже по течению реки. Важно учитывать водоемы на реке, подземные и грунтовые воды, текущие в реку, даже строение почвы. Но в эту систему можно не включать следующий водораздел или гидрологический цикл всей планеты.

Раньше при разработке проекта национального парка принимали во внимание только ту территорию, которая находилась в пределах физических границ самого парка. Но границы парков по всему миру часто нарушаются представителями кочевых племен, мигрирующими животными, территорию парков пересекают реки, на них проливаются кислотные дожди, а теперь влияют и климатические изменения, спровоцированные накоплением парниковых газов в атмосфере. Даже не принимая во внимание климатические изменения, нельзя не учитывать, что происходит на территории за пределами искусственных границ.

Системные аналитики часто попадают в другую ловушку: они слишком раздвигают границы. У них есть привычка создавать графики, занимающие несколько страниц и выполненные мелким шрифтом, со множеством стрелочек, соединяющих все со всем. «*Вот это система!*» — восклицают они. Если же вы отслеживаете меньшее количество параметров, то считаетесь несостоявшимся ученым.

Такая игра в «моя модель больше твоей» приводит к чрезмерно усложненному анализу, в результате которого можно получить слишком много информации, способной запутать исследователя даже тогда, когда, казалось бы, ответ под рукой. Например, детальное моделирование климата всей планеты — занятие интересное, но оно не даст ответа на вопрос, как уменьшить количество выбросов CO₂ определенной страны, чтобы приостановить климатические изменения.

Чтобы решить проблему, надо правильно установить границы. Но эти границы редко совпадают с теми, что рекомендовала бы установить академическая наука, или с границами административно-территориального деления. Границы между странами удобно устанавливать вдоль русла рек, но этот вариант очень неудобен, если вы хотите

создать модель управления качеством и количеством воды. С воздухом еще сложнее, так как он легко пересекает любые границы. И тем более границы между государствами ничего не значат, когда мы говорим об истощении озонового слоя в стратосфере, о скоплении парниковых газов в атмосфере или о сбросе отходов в океан.

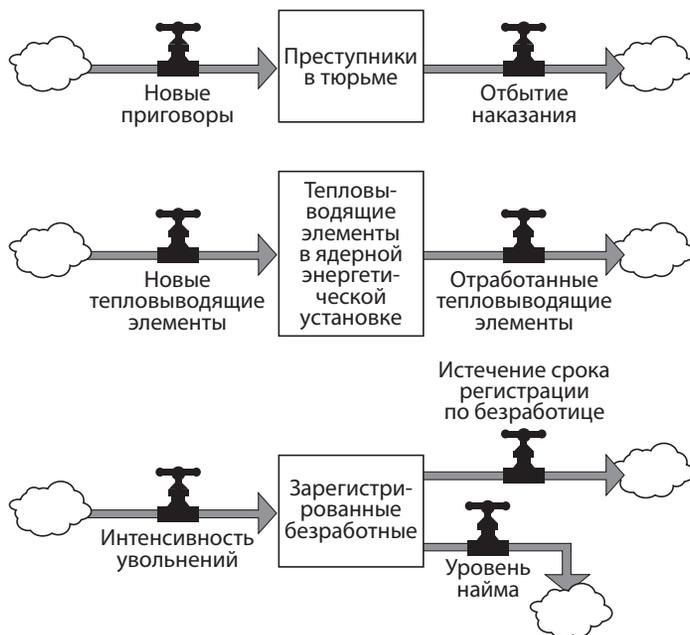


Рис. 49. Примеры схем с «облаками». «Облака» не означают, что вам не нужно размышлять о том, что происходит за границами системы. Что приводит к новым приговорам? Куда отправляют отработанные тепловыделяющие элементы? Что происходит с безработным, при регистрации которого произошла ошибка?

В идеале, проявляя гибкость мышления, нам стоило бы искать соответствующие границы, когда мы начинаем размышлять над новой проблемой. Но мы редко проявляем чудеса гибкости. Мы привязываемся к границам, к которым привык наш ум. Только подумайте, сколько споров связано с границами: национальными, границами рынка, этническими различиями, границами между публичной и частной ответственностью, классовыми различиями между бедными и богатыми, людьми, загрязняющими окружающую среду, и людьми, страдающими от этого, ныне живущими и теми, кто придет им на смену. Университеты могут

годами вести диспуты о том, где проходят границы между экономикой и правительством, искусством и историей искусства, литературой и литературной критикой. Слишком часто сами университеты становятся живыми памятниками незыблемости и застывшим границ.

Мы не должны забывать, что *сами создаем границы* и что *их можно и нужно пересматривать каждый раз, когда возникает новая проблема или появляется новая цель*. Очень сложно творчески подходить к решению очередной задачи, отказаться от границ, которые хорошо себя проявили при решении предыдущей, и искать новые. Но это необходимо, чтобы справиться с очередной проблемой.

Уровни ограничений

Нас удивляет поведение систем, потому что мы привыкли считать, что отдельные причины всегда приводят к соответствующим отдельным последствиям. Мы предпочитаем думать о чем-то одном, в крайнем случае удерживаем в уме несколько мыслей сразу. И нам не нравится помнить об ограничениях, особенно когда мы размышляем о своих планах и желаниях.

Но мы живем в мире, где огромное количество причин ежедневно вызывает огромное количество последствий. Из множества входных ресурсов вырабатывается множество выходных продуктов, и практически все они имеют свои ограничения. Например, для индустриального производственного процесса необходимы:

- капитал;
- рабочая сила;
- энергия;
- сырье;
- производственные помещения;
- вода;
- технологии;
- кредит;
- страховка;
- покупатели;
- хороший менеджмент;

- государственное финансирование инфраструктуры и государственных службы (полиция, пожарная служба, система образования для менеджеров и рабочих);
- семьи, в которых вырастут будущие работники и покупатели;
- здоровая экосистема, способная поставлять сырье, поддерживать все эти входящие потоки и поглощать отходы или избавляться от них.

Зерну, произрастающему на поле, нужны:

- солнечный свет;
- воздух;
- вода;
- азот;
- фосфор;
- калий;
- различные минеральные питательные вещества;
- рыхлая почва и почвенные микроорганизмы;
- контроль над сорняками и вредителями;
- защита от отходов близлежащих производств.

Свой знаменитый «Закон минимума» Юстус фон Либих сформулировал именно на примере выращивания зерновых культур. Он сказал, что не важно, сколько азота растение получит из почвы, если ему не хватает фосфора. Ничего хорошего не выйдет, если в почву добавлять фосфор, когда в ней не хватает калия.

Опара не поднимется без дрожжей, сколько бы муки вы ни добавляли. Дети не вырастут без белковой пищи, несмотря на то что вы пичкаете их углеводами. Компании не смогут развиваться без энергии, даже если у них есть покупатели, или если не найдут покупателей, даже имея переизбыток энергии.

Понятие «лимитирующий фактор» достаточно простое, но на практике вызывает сложности. Например, агрономы считают, что знают, какие вещества нужно добавлять в искусственные удобрения, потому что обнаружили большинство основных и дополнительных питательных веществ в плодородной почве. А если существуют какие-либо необходимые для жизнедеятельности растений вещества, которые не удалось обнаружить? Как искусственные удобрения влияют

на микроорганизмы в почве? Препятствуют ли они каким-либо функциям плодородной почвы, тем самым ограничивая их? И каковы ограничения производства искусственных удобрений?

**В каждый момент времени наиболее важным для системы
будет тот входящий поток, который накладывает на систему
основные ограничения**

Богатые страны, вкладывая капитал и передавая технологии менее развитым сообществам, с удивлением обнаруживают, что их экономика все равно не развивается. Никто даже не задумывается о том, что технологии или капитал могут не быть основными лимитирующими факторами.

Экономика развивалась в тот период, когда труд и капитал были основными лимитирующими факторами производства. Поэтому и сейчас в большинстве экономических производственных функций отслеживаются лишь эти два фактора (а иногда и технологии). Но с ростом экономики, с учетом состояния экосистемы, когда лимитирующими факторами становятся запасы воды, чистого воздуха, пространства для сброса отходов и допустимые виды энергии и сырья, принимать во внимание исключительно капитал и труд бессмысленно.

Одна из классических моделей, которую изучают студенты Массачусетского технологического института, — модель корпоративного роста Джея Форрестера. Она описывает успешную молодую корпорацию, дела которой стремительно идут в гору. Проблема этой компании заключается в том, чтобы научиться понимать постоянно изменяющиеся ограничивающие факторы — те, что возникают в связи с ростом самой компании — и управлять ими.

Например, компания нанимает специалистов по продажам, которые настолько хороши в своем деле, что получают заказы на большее количество продуктов, чем компания может произвести. Задержки с поставками увеличиваются, и компания теряет покупателей, потому что в этих условиях ее производственная мощность становится основным лимитирующим фактором. Поэтому руководство компании увеличивает размер капитала, приобретая новые производственные мощности. Новые

сотрудники нанимаются в спешке и не успевают пройти полный цикл обучения. От этого страдает качество продукта, и компания опять теряет покупателей, так как теперь лимитирующим фактором становятся навыки рабочих. Менеджеры организуют обучение. Качество продукта улучшается, начинают поступать новые заказы, и системы исполнения заказов и учета перестают эффективно работать. И так далее.

Любая система, будь то растущий цветок, ребенок, эпидемия, новый продукт, новые технологические разработки, компании, города, экономики и популяции, имеет свои уровни ограничений. Осознание этих процессов произойдет, если вы не только распознаете лимитирующий фактор, но и поймете: *именно рост системы приводит к тому, что ограничения ослабевают или усиливаются*, и меняет саму их суть. Между растущим цветком и почвой, растущей компанией и рынком сбыта, растущей экономикой и ресурсами происходит динамическое взаимодействие. Каждый раз, когда один из факторов перестает быть ограничивающим, рост ускоряется, но сам рост, в свою очередь, приводит к тому, что ограничивающим становится другой фактор. Если не сосредоточиваться на факторах, находящихся в изобилии, и обратить внимание на потенциально ограничивающий фактор, то вы достигнете настоящего понимания системы и того, как происходит процесс роста и как контролировать его.

**Любой физический объект со множеством входящих
и исходящих потоков окружен ограничениями разных уровней**

Любой физический объект со множеством входящих и исходящих потоков — популяция, производственный процесс, экономика — ограничен пределами, находящимися на разных уровнях. Развивающаяся система взаимодействует с собственными ограничениями и влияет на них. Растущий объект и ограничивающая его окружающая среда благодаря взаимовлиянию формируют развивающуюся динамическую систему.

Понимание уровней ограничений и отслеживание каждого потенциального ограничивающего фактора не станут гарантией постоянного роста. Ни один физический объект не растет бесконечно. В конце концов, ключевой момент заключается не в желании расти вечно,

а в том, какие ограничивающие факторы наиболее приемлемы в данном случае. Если компания производит прекрасный продукт или услуги по разумной цене, то ее забросают заказами, и это приведет к тому, что в некоторый момент из-за нового ограничения начнут страдать качество или цена продукта. Если в каком-либо городе лучше условия проживания, чем в других городах, то люди будут в него переезжать, пока не возникнет ограничение, которое приведет к снижению возможностей удовлетворять потребности его жителей⁶.

Ограничения для роста системы существуют всегда, и люди могут возлагать их на себя сами. Если этого не происходит, их устанавливает система

Ограничения для роста существуют всегда, и люди могут возлагать их на себя сами. Если этого не происходит, их установит система. Если менеджеры компаний, правительства городов, население не установят и не проконтролируют свои ограничения роста системы сообразно возможностям поддерживающей среды, это сделает сама среда.

Вездесущие запаздывания

Со страхом я осознаю, что мое нетерпеливое желание вновь установить демократию имеет почти коммунистический оттенок или, если более обобщенно, даже рационалистический. Я хотел заставить историю двигаться вперед так же, как ребенок тянет за цветок, чтобы заставить его расти быстрее.

Я думаю, что мы должны научиться ждать, так же, как мы учимся творить. Мы должны терпеливо сажать семена, усердно поливать землю и дать растениям время взойти. Никто не может обмануть растение, как никто не может обмануть историю.

Вацлав Гавел, драматург⁷, последний президент Чехословакии и первый президент Чешской Республики

Чтобы цветок, лес или демократия выросли, нужно время; время требуется и для того, чтобы письма попали к своим адресатам, покупатели

познакомились с новой информацией об изменении цен и соответственно этому проявили потребительский интерес, равно как и на строительство атомной электростанции, на износ оборудования, на внедрение новой технологии.

Мы непрестанно удивляемся, как много времени нужно буквально на все. Джей Форрестер рекомендовал при моделировании структуры или анализе запаздываний спрашивать всех участников проекта, сколько, по их подсчетам, продлится задержка. Потом составить на основе их оценок свое предположение и затем умножить его значение на три. (Я обнаружила, что такой корректирующий фактор работает просто прекрасно и при подсчете времени на написание книги!)

В системах постоянно присутствуют запаздывания. Каждый запас предполагает задержку. Большинство потоков испытывают запаздывания: задержки с отправкой, задержки восприятия, задержки в анализе, задержки, связанные с развитием. Вот лишь некоторые виды запаздываний, включенные в различные модели, которые мы разрабатывали:

- Задержка между моментом инфицирования и появлением симптомов болезни, дающих основание ее диагностировать. Длится от пары дней до нескольких лет в зависимости от заболевания.
- Запаздывание между выбросом загрязняющих веществ и их распространением или достижением такого уровня концентрации загрязнителя в экосистеме, что он начинает наносить ей вред.
- Задержка, связанная с вынашиванием и достижением созревания при разведении скота или растений, которая приводит к характерным колебаниям цен на сырьевые товары: четырехгодичный цикл для свиней, семилетний для коров, одиннадцатилетний для деревьев какао⁸.
- Запаздывание в изменении социальной нормы, определяющей желаемый размер семьи, — по крайней мере одно поколение.
- Задержка, связанная с модернизацией производства, и задержка оборота основного капитала. Требуется от трех до восьми лет, чтобы спроектировать новый автомобиль и вывести его на рынок. Эта модель может просуществовать пять лет на рынке новых автомобилей. В среднем один владелец использует машину от десяти до пятнадцати лет.

При обсуждении запаздываний, так же как и при выстраивании границ, важно, с какой целью изучается система. Если вас беспокоят колебания в системе, продолжительность которых составляет несколько недель, то вы, скорее всего, не будете задумываться о колебаниях, длящихся минуты или годы. Если вас интересует, как будет развиваться экономика и изменяться численность населения (а эти процессы длятся десятилетия), вы не станете обращать внимание на колебания, длительность которых составляет недели. Вспомним, что мы в зоопарке, и представим, что мир одновременно издает совершенно разные звуки — писк, клекот, грохот и рев — на разных частотах. Насколько важна для вас будет та или иная задержка, зависит от того, на какую частоту настроены вы и та система, которую вы собираетесь изучать.

Экскурсия в «системный зоопарк» показала, насколько сильно влияют запаздывания в циклах обратной связи на поведение систем: они способны полностью его поменять. Если можно уменьшить или увеличить длительность задержек, они часто становятся чувствительными точками влияния. Тогда их можно использовать для изменения поведения системы. Можно понять, почему так происходит. Если точка принятия решения в системе (или человек, работающий на определенном участке системы) реагирует на информацию, поступившую с запаздыванием, или сама система откликается с задержкой, решение не приведет к желаемому результату. Предпринятых действий окажется недостаточно или слишком много, и желаемая цель не будет достигнута. С другой стороны, слишком быстро предпринятые действия могут усилить краткосрочные колебания и вызвать дополнительную нестабильность. Запаздывания определяют, насколько быстро системы могут реагировать, как точно они достигают целей и за какое время информация расходитя по системе. Выходы за пределы, колебания и коллапсы всегда зависят от запаздываний.

Если в циклах обратной связи есть длительные запаздывания, для влияния на систему необходим талант предвидения. Если мы начнем действовать, только когда проблема станет явной, то можем упустить возможность решить проблему

Зная о роли запаздываний, можно объяснить, почему Михаил Горбачев сумел изменить информационную систему Советского Союза практически за один день, но не сумел реформировать реальную экономику. (На это уходят десятилетия.) Также можно понять, почему объединение Восточной и Западной Германии вызвало значительно больше проблем, чем ожидали политики. Длительные запаздывания во время строительства электростанций приводят к тому, что в электроэнергетической промышленности возникают колебания — циклы, когда перепроизводство энергии сменяется падением напряжения и жесткой экономией. Так как запаздывание реакции океанов на потепление составляет десятилетия, человечество точно поймет, как влияют на атмосферу вредные выбросы, лишь через одно или два поколения.

Ограниченная рациональность

Когда каждый человек по мере своих сил пытается вложить свой капитал в отечественную промышленность и одновременно дать ей такое направление, чтобы ее продукт обладал возможно большей стоимостью... обычно он не имеет в виду содействовать общественной пользе и не сознает, насколько он содействует ей... Его интересует собственная безопасность; ...он преследует лишь свою выгоду, причем в этом случае, как и во многих других, он невидимой рукой направляется к цели, которая совсем и не входила в его намерения... Преследуя собственные интересы, он часто более действительным образом служит интересам общества, чем тогда, когда сознательно стремится сделать это.

Адам Смит⁹, политический экономист XVIII века

Было бы замечательно, если бы «невидимая рука» рынка действительно подводила людей к решениям, позволяющим каждому внести свою лепту в общее благо. Тогда и эгоизм в виде жажды наживы стал бы общественной добродетелью, и создавать математические модели экономики стало бы намного легче. Нам не пришлось бы думать о благе других людей или о том, какие действия предпринять в сложных системах с обратной связью. Неудивительно, что модель Адама Смита не теряла популярности на протяжении двух веков!

К сожалению, мир постоянно показывает нам примеры людей, которые рационально действуют в собственных краткосрочных интересах, что приводит к результатам, которые никому не нравятся. Туристы съезжаются в такие места, как Вайкики или Церматт, а затем жалуются, что эти места уже испорчены отдыхающими. Фермеры выращивают избыток пшеницы, производят излишки масла или сыра, и цены падают. Рыбаки вылавливают слишком много рыбы и сами себя оставляют без работы. Корпорации сообща решают вопросы инвестиций, что приводит к циклическим спадам деловой активности. Бедные люди рожают больше детей, чем могут прокормить.

Почему?

Причину этого явления экономист Всемирного банка Герман Дэли назвал «невидимой ногой», а нобелевский лауреат Герберт Саймон — **ограниченной рациональностью**¹⁰.

Ограниченная рациональность означает, что люди принимают достаточно рациональные решения, основываясь на имеющейся у них информации. Но у них нет полной информации, особенно о том, что происходит в удаленных от них частях системы. Рыбаки не знают, сколько рыбы в водоеме и какой ее объем вылавливают другие рыбаки в тот же день.

Бизнесмены не обладают полностью достоверной информацией о том, какие вложения собираются сделать другие бизнесмены, или что захотят приобрести покупатели, или будет ли иметь успех их продукция на рынке. Они не знают, какова их доля в бизнесе, как не знают весь объем рынка. Информация об этих факторах задерживается и поступает к ним не полностью, они не успевают отреагировать на нее вовремя. Поэтому их инвестиции часто бывают или слишком большими, или слишком маленькими.

Мы не в состоянии знать всё и всё рационально оптимизировать, утверждал Саймон. Напротив, мы часто ошибаемся, прибегаем к «разумной достаточности» и «довольствуемся минимумом», соглашаясь с текущими условиями и пытаюсь удовлетворить свои потребности, насколько это возможно, перед тем как принять следующее решение¹¹. Мы изо всех сил стараемся рационально отстаивать свои интересы, но можем отслеживать лишь известные нам факторы. Мы не знаем

о планах остальных, пока они не сделают то, что запланировали. Мы редко осознаём полный спектр доступных нам возможностей. Мы часто не можем предвидеть (или предпочитаем игнорировать) то, какое влияние наши действия окажут на всю систему. Так что вместо того чтобы найти долгосрочное оптимальное решение, мы отыскиваем тот близлежащий вариант, который сойдет на данный момент, и выбираем его, меняя наше поведение только при необходимости.

Ученые, специализирующиеся на изучении поведения людей, отмечают, что они часто даже не могут правильно интерпретировать несовершенную информацию, которая имеется у них. Мы склонны недооценивать риски, считая некоторые вещи менее опасными, чем на самом деле, и наоборот. Мы преувеличиваем значение настоящего и забываем о прошлом, мы уделяем основное внимание текущим событиям, а не тому, как поступать в дальнейшем. Мы сбрасываем со счетов будущее, забывая и об экономике, и об экологии. Мы неверно взвешиваем все поступающие сигналы. Мы полностью игнорируем новости, которые нам не нравятся, или информацию, которая не встраивается в наши мысленные модели. Более того, мы даже не можем принять решения, которые принесут нам благо. Что уж говорить об общественном благе...

Представьте, сколько до сих пор не утихающих споров вызвала теория ограниченной рациональности, поставившая под сомнение двухсотлетний путь развития экономики на основе идей Адама Смита. Этот путь предполагает, что, во-первых, *homo economicus* (человек экономический) всегда соизмеряет свои поступки с полной информацией, а во-вторых, что, когда множество представителей *homo economicus* поступают таким образом, их действия складываются и приводят к лучшему для всех результату.

Оба предположения не выдерживают проверки фактами. В следующей главе описаны некоторые из наиболее часто встречающихся структур, в которых ограниченная рациональность вынуждает принимать решения, приводящие к катастрофам. Среди них такие знакомые нам явления, как вредные привычки, сопротивление законам, гонка вооружений, низкая эффективность и трагедия общин. Но сейчас я хочу обратить ваше внимание на самый важный момент,

показывающий, к чему может привести непонимание ограниченной рациональности.

Предположим, что по какой-то причине вас заставили поменять ваше привычное место в обществе на место человека, чье поведение всегда было для вас загадкой. Вы были рьяным критиком правительства, но теперь сами стали его членом. Или вы были рабочим, недовольным поведением начальства, а теперь сами стали начальником (или наоборот). Возможно, вы были защитником окружающей среды и критиковали руководство больших предприятий, но теперь вы должны принимать решения, связанные с экологией, с позиции работника предприятия. Если бы такие замены могли происходить чаще и во всех сферах, как бы расширились горизонты нашего сознания!

На новом для вас месте, в новой должности вы наблюдаете за потоком информации, испытываете положительные и негативные стимулы, видите другие цели и отклонения от них, оказываетесь под давлением, — и это связано с новым положением в обществе, которому свойственна другая ограниченная рациональность. Возможно, вам удалось сохранить воспоминания о том, как все воспринималось с другого ракурса, и вы попытаетесь реформировать систему, но это маловероятно. Если вы станете менеджером, то, скорее всего, перестанете считать рабочих своими коллегами и будете думать о том, как уменьшить затраты на труд. Если вы станете финансистом, вы, возможно, будете вкладывать слишком много денег во время бума и недостаточно во время спада, так же, как и другие финансисты. Если окажетесь в нужде, то, может быть, поймете краткосрочные преимущества, возлагаемые надежды и возможности, связанные с рождением детей. Если вы рыбак с закладной на лодку и семьей, которую нужно содержать, и не имеете представления о состоянии популяции рыбы, то не исключено, что вы будете истощать рыбные запасы.

Чтобы студентам было легче понять суть этих процессов, во время обучения мы используем игры, ставящие участников в ситуации, в которых находятся обычные люди в реальных системах, и предоставляющие неполные потоки информации из разных источников. Если они играют за рыбака, то ловят слишком много рыбы. Если за министров придуманных развивающихся стран, то их начинает больше

интересовать благосостояние предприятий, чем благосостояние населения. Если они попадают в высший свет, то начинают следить за тем, чтобы соответствовать своему новому положению; если они получают роль бедняка, то становятся апатичными или мятежными. И так происходит с любым человеком. В знаменитом Стэнфордском тюремном эксперименте, проведенном психологом Филипом Зимбардо, за невероятно короткий промежуток времени игроки даже переняли привычки и повадки тюремных надзирателей и заключенных¹².

Понимание того обстоятельства, что отдельные решения могут быть рациональными в пределах доступной информации, не оправдывает ограниченное поведение. Оно только объясняет его происхождение. Такое поведение кажется рациональным в зависимости от того, что человек поймет и узнает, занимая определенное положение в системе. Замена одного человека другим на конкретной позиции вряд ли приведет к каким-либо существенным изменениям. А обвиняя каждого по отдельности, вряд ли удастся получить более хороший результат.

Изменения произойдут, только если мы выйдем за пределы ограниченной информации, обозримой с любой данной точки в системе, и попытаемся охватить все целиком. В широкой перспективе поток информации, задачи, позитивные и негативные стимулы могут быть перестроены таким образом, что отдельные, ограниченные, рациональные действия приведут к результату, ожидаемому всеми.

Невероятно, насколько быстро и просто могут происходить изменения в поведении, если мы хотя бы немного расширим горизонт ограниченной рациональности, оперируя более целостной и своевременной информацией.

ИНТЕРЛЮДИЯ

Электрические счетчики в голландских домах

Около Амстердама есть пригород, в котором расположены небольшие отдельные домики, построенные примерно в одно и то же время и похожие друг на друга как капли воды. То есть почти похожие. По неясным причинам так случилось, что в некоторых из этих домов электросчетчики были установлены в подвалах, в других домах эти приборы находятся в передней.

Это были самые обычные приборы со стеклянным шариком, внутри которого находится горизонтальное металлическое колесико. Когда домохозяйство потребляет больше электроэнергии, колесико вращается быстрее, и на циферблате высвечиваются соответствующие показания в кВт·ч.

Во время нефтяного эмбарго и энергетического кризиса в начале 1970-х годов голландцы начали обращать больше внимания на то, как они потребляют энергию. Оказалось, некоторые домохозяйства в этом пригороде использовали на одну треть меньше электроэнергии, чем другие. Никто не мог объяснить этот феномен. Все жители платили по одному и тому же тарифу, все семьи были примерно одинаковыми.

Различие заключалось только в том, где был расположен электроизмерительный прибор. В домах семей, которые потребляли больше электроэнергии, счетчик находился в подвале, и жители почти не видели его. Меньше энергии потребляли в тех домах, жители которых часто видели прибор, проходя по коридору и замечая, как крутится колесико и растет месячный счет за электричество¹³.

Некоторые системы структурированы настолько хорошо, что могут нормально функционировать, несмотря на ограниченную рациональность. Обратная связь в таких системах поступает в нужное место в нужное время. В нормальных условиях ваша печень получает лишь ту информацию, которая необходима ей для нормального функционирования. В ненарушенных экосистемах и традиционных культурах средняя особь, вид или популяция самостоятельно выбирают такое поведение, которое поддерживает целостность группы. Такие системы саморегулирующиеся. Они не вызывают проблем. Они не нуждаются в правительственных агентствах и сотнях неудачных планов регулирования.

Со времен Адама Смита было распространено мнение, что свободный конкурентный рынок представляет собой одну из таких саморегулирующихся систем. В некоторых случаях так и есть. Но в иных ситуациях это очевидно только тем, кто хочет так видеть. Свободный рынок позволяет производителям и потребителям, которым доступна более полная информация о возможностях производства и потребительском выборе, принимать довольно справедливые и рациональные отдельные решения. Но эти решения не могут самостоятельно скорректировать тенденцию системы создавать монополии и вызывать нежелательные побочные (внешние) эффекты, которые приводят к дискриминации бедных или к тому, что система теряет устойчивость.

Перефразирую известную молитву: Господи, даруй нам терпение, чтобы свободно использовать нашу ограниченную рациональность в хорошо выстроенных системах, смелость, чтобы перестроить неэффективные системы, и мудрость, чтобы понимать различие между ними!

Ограниченная рациональность каждого участника системы не всегда приводит к принятию решений, которые в дальнейшем увеличат благосостояние системы в целом

Ограниченная рациональность каждого действующего участника в системе, — определяемая информацией, положительными и отрицательными стимулами, задачами, важными моментами и ограничениями, с которыми он сталкивается, — может привести, а может и не привести к решениям, которые увеличат благосостояние системы в целом. Если этого не происходит, то введение в систему новых действующих лиц не приведет к улучшению ее работы. Только изменение структуры системы, сопровождающееся изменением потока информации, положительных и отрицательных стимулов, задач и ограничений, которые влияют на каждого отдельного участника системы, может дать положительный результат.

Глава 5

СИСТЕМНЫЕ ЛОВУШКИ... И ВОЗМОЖНОСТИ

Рациональные элиты... знают все, что нужно знать о технике и науке, но не более того. Это могут быть марксисты или иезуиты, выпускники Гарварда или офицеры вооруженных сил... У них есть одна общая проблема: как заставить свою конкретную систему правильно функционировать. Цивилизация между тем становится все более бесцельной и непостижимой.

Джон Ролстон Сол¹, политолог

Такие характеристики систем, как запаздывания, нелинейность, отсутствие жестких границ и ряд других, часто преподносят нам сюрпризы. Но их можно обнаружить практически в любой системе. Как правило, изменить их нельзя, но это и не требуется. Мир нелинеен, а наши попытки представить его линейным, чтобы было удобно проводить математические расчеты или управлять, обычно не приводят ни к чему хорошему, даже когда это возможно, а так случается редко. Границы, которые мы устанавливаем, могут быть непостоянными и хаотичными, и зависит это от проблем, которые надо решать. Границы необходимы для организации системы и понимания процессов. Нужно научиться не удивляться сложным системам и уметь ждать, ценить и использовать сложность мира.

Но некоторые системы более чем просто непредсказуемы. Они извращены. Эти системы структурированы таким образом, что их поведение неудобно для нас, и они причиняют нам большие неприятности. Проблем, с которыми мы сталкиваемся, имея дело с системами, множество. Они разные, некоторые из них уникальны, но большинство, как правило, широко распространено. Системные структуры, которые демонстрируют такие шаблоны проблемного поведения, мы называем **архетипами**. К ним относятся, например, зависимость, тенденция

к снижению производительности и эскалация. Эти проблемы настолько часто встречаются, что мне удалось всего за одну неделю найти в *International Herald Tribune* достаточно примеров, чтобы проиллюстрировать каждый из архетипов, описанных в этой главе.

Понимания структуры архетипов, создающих проблемное поведение, недостаточно. Под них невозможно подстроиться, необходимо изменять их структуру. Разрушения, которые они вызывают, часто приписываются отдельным элементам системы или конкретным событиям, хотя на самом деле их вызывают именно структурные проблемы. Обвинять, воспитывать или увольнять кого-то, усиливать давление, надеясь на более благоприятный исход, пытаться изменить границы — все эти стандартные ответные меры не могут устранить структурные проблемы. Именно поэтому я называю эти архетипы ловушками.

Но в системные ловушки можно и не попадать, если заранее о них узнать. Или можно попытаться изменить структуру системы, поставив другие цели, ослабляя, усиливая или добавляя новые циклы обратной связи. Именно поэтому, рассматривая эти архетипы, я говорю не только о ловушках, но и о возможностях выхода из них.

Спротивление внешнему воздействию: неработающие решения

«Я думаю, что инвестиционный налоговый кредит — прекрасный пример эффективного экономического стимулирования», — сказал Джозеф Данкан, главный экономист Dun & Bradstreet Corp. Однако скептиков остается предостаточно. Они утверждают, что невозможно доказать какую-либо выгоду для экономического роста от инвестиционных кредитов, которые предоставлялись, изменялись и аннулировались снова и снова на протяжении последних тридцати лет.

Джон Х. Кушман — мл.², International Herald Tribune, 1992

Как было показано в главе 2, основной признак уравнивающего цикла обратной связи проявляется в том, что в системе не происходят

заметные изменения, несмотря на наличие внешних воздействий. Уравновешивающие циклы стабилизируют систему, сохраняя ее модели поведения. В определенных случаях такое свойство систем нас более чем устраивает, например когда речь идет о поддержании температуры тела на уровне примерно 37 °С. Однако некоторые модели поведения, не изменяющиеся в течение долгого времени, нежелательны. Несмотря на попытки изобрести новые технологические или политические «решения», такие системы демонстрируют один и тот же тип поведения из раза в раз. Подобные системные ловушки я называю «неработающими решениями», или, если угодно, «неудачными попытками наведения порядка». Действием этих ловушек объясняются и безуспешные попытки фермерских хозяйств уменьшать избытки производства, и не приносящая ожидаемого результата борьба с распространением наркотиков.

Сложно найти доказательства реальной работы инвестиционных налоговых кредитов и многих других программ, направленных на стимулирование инвестиций, когда рынок инвестициям не способствует. Никакие попытки снизить расходы на здравоохранение в Соединенных Штатах не увенчались успехом. Десятилетия «создания новых рабочих мест» не помогли удержать безработицу на низком уровне. Вы, вероятно, назовете десяток других областей, в которых активные последовательные усилия не приводили ни к какому результату.

Спротивление внешнему воздействию происходит из-за ограниченной рациональности участников системы, каждый из которых преследует свою цель. Каждый из них контролирует важные для него параметры системы (доход, жилье, наркотики, инвестиции и так далее) и сравнивает, насколько их изменение совпадает с его целью. Если обнаруживается расхождение, участник пытается исправить ситуацию. Как правило, чем сильнее различие между желаемой целью и реальной ситуацией, тем более решительным будет действие.

Спротивление изменениям возникает тогда, когда цели подсистем отличаются или несовместимы друг с другом. Представьте, например, систему с одним запасом — наркотиками на улицах

города, — участники которой пытаются изменять запас в разных направлениях. Наркозависимые хотят поддерживать его на высоком уровне, у правоохранительных органов цель прямо противоположная, дилеры стараются сохранять прежний уровень, чтобы цены не становились слишком высокими или слишком низкими. Обычные граждане требуют обеспечить порядок на улицах города, так как опасаются стать жертвой грабежей наркоманов, пытающихся получить деньги на покупку наркотиков. Все участники прикладывают усилия, чтобы достичь своих целей.

Если кто-то из участников получает преимущество и «сдвигает» запас системы (наркотики) в одном направлении (правоохранительные органы сократили импорт наркотиков через границу), другие удваивают свои усилия, чтобы вернуть прежнюю ситуацию (цены вырастают, поэтому наркоманы совершают больше преступлений; более высокие цены приносят больше прибыли, дилеры используют прибыль для приобретения самолетов и лодок, чтобы уклоняться от пограничных патрулей). Такое противостояние приводит к тому, что запас остается примерно на том же уровне, что и прежде, а эта ситуация устраивает далеко не каждого.

В устойчивой к внешним воздействиям системе с участниками, тянущими запас в разных направлениях, каждый прилагает серьезные усилия и получает неблагоприятный для всех результат. Если один из участников перестает это делать, действия других начинают смещать систему ближе к их целям и дальше от цели того, кто перестал этим заниматься. Такие системы обычно работают с эффектом храпового механизма*: нарастание усилий одного из участников приводит к нарастанию усилий всех остальных. Очень сложно снизить интенсивность этого процесса. Требуется взаимное доверие участников, чтобы вернуться к прежним показателям хотя бы на какое-то время.

Результаты политики противодействия могут быть трагическими. В 1967 году правительство Румынии решило, что страна нуждается

* Храповой механизм (храповик) — зубчатый механизм прерывистого движения, предназначенный для преобразования возвратно-вращательного движения в прерывистое вращательное движение в одном направлении. То есть храповик позволяет оси вращаться в одном направлении и не позволяет вращаться в другом.

в серьезном росте населения. Они издали указ, запрещающий женщинам в возрасте до 45 лет делать аборты. Вскоре после этого рождаемость утробилась, но затем система оказала сопротивление.

Несмотря на то что применение противозачаточных средств и аборты оставались незаконными, рождаемость начала медленно снижаться, пока не достигла прежнего уровня. Это произошло, прежде всего, за счет опасных незаконных абортов, утроивших коэффициент смертности матерей. Кроме этого, многие из нежелательных детей, родившихся в этот период, были отданы в сиротские приюты. Румынские семьи были слишком бедны, чтобы воспитывать большое количество детей. Таким способом они выражали сопротивление стремлению правительства увеличить размер семей: ценой собственной жизни и жизни детей, отданных в детские дома.

Один из способов борьбы с сопротивлением системы проводимой политике заключается в попытке преодолеть его. Если вы обладаете достаточной властью и способны ее удерживать, силовой подход может сработать. Ценой этому станут всеобщее негодование и, если власть все-таки будет ослаблена, полный крах системы. Это случилось с Николае Чаушеску — румынским диктатором, который долго пытался пересилить сопротивление его политике (именно он ввел закон о запрете абортов). Когда его правительство свергли, Чаушеску вместе с женой расстреляли. Первым правовым актом, который отменило новое правительство, был закон о запрете абортов и использования контрацепции.

Альтернативный способ противостояния сопротивлению на первый взгляд настолько парадоксален, что покажется неправдоподобным. Предоставьте событиям возможность идти своим чередом. Откажитесь от неэффективных методов воздействия. Ресурсы и энергию имеет смысл использовать для достижения более конструктивных целей, а не на преодоление сопротивления. Вы не получите от системы желаемого результата, но сведете к минимуму сопротивление, которое было ответом на ваши собственные действия. Если вы не будете предпринимать активных действий, успокоятся и ваши оппоненты. Именно так развивались события в Соединенных Штатах, когда в 1933 году отменили сухой закон. Хаос, вызванный запретом на алкоголь, быстро сошел на нет.

В результате вы получите возможность более внимательно изучить обратную связь в системе, понять, в чем выражается ограниченная рациональность участников, найти способ достижения целей элементов системы и изменить состояние системы на то, которое будет больше всех устраивать.

Например, правительство, желающее, чтобы в стране увеличилась рождаемость, может поинтересоваться, почему люди не заводят детей, и обнаружить, что причиной этому не отсутствие любви. Возможно, людям не хватает денег, жилой площади, времени или ощущения безопасности. В то время когда в Румынии запрещали аборты, венгерское правительство тоже было обеспокоено низким уровнем рождаемости, опасаясь, что низкий входящий поток рабочей силы приведет к экономическому спаду. Оказалось, что одна из главных причин небольшого размера семей — нехватка жилой площади. Правительство разработало программу, в рамках которой большим семьям предоставлялось новое жилье с большей площадью. Эта программа оказалась успешной лишь отчасти, поскольку жилье было не единственной проблемой. Но она была намного эффективнее, чем политика Румынии, и помогла избежать катастрофических последствий³.

Наиболее эффективный способ борьбы с сопротивлением системы проводимой политике заключается в поиске способа согласования различных целей подсистем. Как правило, это достигается, если удастся выработать общую цель, выгодную для всех участников, что позволит им выйти за рамки ограниченной рациональности. Если каждый участник сможет работать на всеобщее благо (то есть все циклы обратной связи служат одной и той же цели), результаты могут быть просто потрясающими. Мы все знаем примеры такого согласования. Наиболее типичные из них — мобилизация экономики в военное время или ее восстановление после войны или стихийного бедствия.

Еще один яркий пример — демографическая политика Швеции. В 1930-е годы уровень рождаемости в Швеции резко сократился, и, как и власти Румынии и Венгрии, шведское правительство было обеспокоено этим. Но, в отличие от Румынии и Венгрии, правительство Швеции оценило, как соотносятся цели государства и цели его граждан, и пришло к выводу, что основой новой демографической политики должно

стать не количество членов семьи, а качество жизни детей. Каждый ребенок должен быть желанным и иметь прекрасное воспитание. Ни один ребенок не должен испытывать материальную нужду. Каждый ребенок должен иметь доступ к хорошему образованию и здравоохранению. Эти цели смогли сплотить правительство и народ.

В результате политика, проводимая правительством Швеции, выглядела необычно. Рождаемость по-прежнему оставалась низкой, так как были разрешены бесплатные аборты и контрацепция, — в соответствии с принципом, что каждый ребенок должен быть желанным. Эта политика также предусматривала половое воспитание в школах, были приняты законы, упростившие развод, значительно увеличены инвестиции в образование и здравоохранение, оказывались бесплатная акушерская помощь, поддержка нуждающимся семьям. С тех пор уровень рождаемости в Швеции несколько раз возрастал и снижался, не вызывая паники ни в том, ни в другом случае, поскольку нацию объединяла гораздо более важная цель, чем увеличение количества граждан⁴.

Согласовать цели в системе удастся не всегда, но нужно к этому стремиться. И осуществить это можно, только учитывая долгосрочное благосостояние всей системы, отбросив при этом узкие локальные цели.

ЛОВУШКА: СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Соппротивление внешнему воздействию возникает, когда различные участники стараются использовать запас системы для достижения своих целей. Любые действия кого-либо из участников (особенно если они эффективны) просто перетягивают запас на свою сторону, препятствуя тем самым достижению целей других участников, и создают дополнительное сопротивление; в результате реализуется нежелательный для всех сценарий, но каждый из участников прикладывает значительные усилия для поддержания этой ситуации.

ВЫХОД

Отпустите ситуацию. Соберите всех участников и используйте энергию, ранее затрачиваемую на сопротивление, на поиски взаимовыгодных способов реализации целей каждого. Определите наиболее важную цель, представляющую интерес для всех участников.

Трагедия общин

На прошлой неделе лидеры коалиции канцлера Гельмута Коля совместно с представителями Христианского демократического союза после нескольких месяцев споров с оппозиционно настроенной Социал-демократической партией согласились ужесточить политику в отношении экономических мигрантов путем создания более жестких требований для предоставления политического убежища.

*International Herald Tribune*⁵, 1992

Ловушка, называемая трагедией общин, возникает тогда, когда рост происходит в общедоступной разрушаемой среде.

Эколог Гарретт Хардин описал систему общин в опубликованной в 1968 году статье, ставшей классической. Он использовал в качестве примера открытые общественные пастбища.

Представьте себе пастбище, которым могут пользоваться все. Ожидается, что каждый владелец стада постарается загнать на общую землю как можно больше скота... Прямо или косвенно, осознанно или нет, он задается вопросом: «Какая мне будет польза, если мое стадо увеличится еще на одну корову?»

Поскольку весь доход от продажи идет скотоводу, позитивный компонент полезности почти достигает +1... Поскольку последствия истощения земли в равной мере затрагивают всех скотоводов, негативный компонент для каждого владельца стада, принимающего соответствующее решение, составляет лишь небольшую долю от -1...

Сопоставив компоненты полезности, рационально мыслящий скотовод приходит к выводу: единственный разумный способ действия для него — это увеличить стадо еще на одно животное. Потом еще на одно, и еще... Но к точно такому же выводу приходят все рационально мыслящие скотоводы, пользующиеся общим пастбищем. Отсюда и возникает трагедия. Все они вовлечены в систему, побуждающую их к неограниченному увеличению численности своего стада, — и это в условиях ограниченности ресурсов. В обществе, где свободная эксплуатация ресурсов общего пользования считается аксиомой, все его члены, действуя в собственных интересах, каждым шагом приближают разруху.

Свободное пользование общими ресурсами оборачивается всеобщим разорением⁶.

Вот сама суть ограниченной рациональности!

Любая подобная система имеет общедоступный ресурс (в данном случае это пастбище). Трагедии общин происходят, если этот ресурс не только ограничен, но и истощаем при чрезмерном использовании. Чем меньше объем ресурса, которым обладает система, тем труднее ей его восстанавливать и тем больше вероятность, что он будет полностью исчерпан. Когда на пастбище становится меньше травы, коровам приходится поедать стебли до самого основания, не давая вырастать новой траве. Чем меньше в почве корней, тем сильнее она подвергается воздействию дождей и становится непригодной для роста растений. Чем более скудной становится почва, тем хуже растет трава. И так далее. И это не что иное, как очередной пример усиливающего цикла обратной связи.

В системе общего пользования всегда происходит потребление ресурса (коровами и их владельцами) *со скоростью, на которую не влияют условия общего пользования*. Отдельно взятый скотовод не видит причин, которые могли бы удержать его от желания добавить в свое стадо еще одно животное. На него не оказывают влияние противодействующие этому желанию стимулы, не действует сильная обратная связь. Напротив, для него очевидна выгода.

Человек, собирающийся иммигрировать в Германию, не видит ничего, кроме выгодных для него законов о предоставлении политического убежища, и не имеет оснований полагать, что большой наплыв других иммигрантов неизбежно приведет к тому, что Германия будет вынуждена ужесточить эти законы. Более того, информация о том, что в Германии обсуждают такую возможность, вызывает еще более высокие темпы иммиграции.

Трагедия общин возникает из-за *отсутствия (или слишком большого запаздывания) обратной связи* между ресурсом и увеличением количества потребителей этого ресурса.

Чем больше пользователей, тем больший объем ресурса используется. Чем меньше ресурса остается в общем пользовании, тем меньше его приходится на каждого потребителя. Если потребителям свойственна ограниченная рациональность («У меня нет оснований ограничивать

количество своих коров!»), маловероятно, что кто-либо из них начнет меньше пользоваться ресурсами. В конце концов наступит момент, когда объем пожинаемых плодов превысит способность ресурса их возвращать. Поскольку на потребителей обратная связь не окажет влияния, чрезмерные темпы «сбора плодов» только усилятся, а ресурс истощится. В конце концов усиливающий цикл, связанный с эрозией, полностью разрушит ресурс, а потребители останутся ни с чем.

Казалось бы, ни одна группа людей не может быть столь недалеконovidной, чтобы уничтожить свое достояние. Но давайте разберем лишь несколько простых примеров, показывающих, как неумеренное использование ресурсов приводит к катастрофе:

- Если не ограничивать число посетителей популярного национального парка, толпы желающих отдохнуть на природе могут нанести невосполнимый вред и природной красоте, и естественным обитателям парка.
- Преимущество использования ископаемых видов топлива очевидно, но выделение углекислого газа при их сжигании вызывает усиление парникового эффекта, что приводит к глобальному изменению климата.
- Если в каждой семье будет столько детей, сколько она захочет, но обществу придется взять на себя расходы на образование, здравоохранение и безопасность этих детей, возникнет ситуация, когда общество будет не в состоянии поддерживать их всех. (Именно этот пример побудил Хардина написать свою статью.)

Все эти примеры показывают случаи чрезмерной эксплуатации возобновляемых ресурсов — структуру, с которой вы уже встречались в «системном зоопарке». Трагедия может произойти не только в результате того, что используются общие ресурсы, но и потому, что места для сброса отходов тоже становятся общими. Семья, компания или целая нация смогут снизить расходы, увеличить прибыль и ускорить свое развитие, если все сообщество примет решение бесследно уничтожать или перерабатывать продукты своей жизнедеятельности. Каждый из нас только выиграет, если отходов практически не будет (и никто — если их пустят вниз по течению или по ветру). Для того, кто загрязняет окружающую среду, нет никакой разумной причины перестать это делать. В таких

случаях обратная связь, влияющая на скорость использования общего ресурса (будь то источник или место слива отходов), слишком слаба.

Если вы считаете, что логику обычного потребителя трудно понять, задумайтесь о собственном поведении. Готовы ли вы использовать один автомобиль вместе с друзьями или соседями, чтобы уменьшить загрязнение воздуха? Всегда ли вы убираете за собой, если намусорите? Структура общин делает эгоистическое поведение гораздо более удобным и выгодным, чем поведение, основанное на осознании своей ответственности перед всем сообществом и его будущим.

Есть три способа избежать трагедии общин:

- *Просвещать и убеждать.* Надо помочь людям увидеть последствия безудержного использования общих ресурсов. Убедить воздерживаться от этого. Обращаться к их нравственности. Высказывать публичное неодобрение нарушителям.
- *Приватизировать ресурс.* Перераспределить его таким образом, чтобы каждый человек сам пожинал последствия своих действий. Если кому-то не хватит самообладания не выходить за пределы «пропускной способности» собственного ресурса, он нанесет вред только самому себе.
- *Контролировать ресурсы, находящиеся в общем пользовании.* Гарретт Хардин называет это «взаимным принуждением по взаимному согласию» большинства людей, которых оно затрагивает. Контроль принимает различные формы: от прямых запретов на определенные виды поведения до квотирования, выдачи разрешений, введения налогов или стимулов. Чтобы регулирование было эффективным, оно должно осуществляться с использованием сил поддержания порядка и системы наказаний.

Первый из этих способов — убедить людей сократить потребление общественного ресурса, используя для этого моральное давление. Второй — приватизация — позволяет обеспечить прямую обратную связь между состоянием ресурса и теми, кто его использует. И прибыль от использования, и потери от истощения ресурса непосредственно относятся к лицу, которое принимает решения. Потребитель в этом случае сможет злоупотребить ресурсом, но только в силу своего невежества или иррациональности. Третий способ позволяет создавать

косвенную обратную связь между состоянием ресурса и потребителем через регуляторов. Чтобы обратная связь работала, регулирующие органы должны эффективно контролировать и оценивать состояние общего ресурса, то есть быть компетентными. Они должны обладать эффективными средствами сдерживания и искренне заботиться о благе всего сообщества. (Они не могут быть неосведомлены, нерешительны или коррумпированы.)

Некоторые примитивные культуры эффективно управляли общими ресурсами на протяжении жизни многих поколений благодаря обучению и воспитанию. Однако Гарретт Хардин не считает, что этот способ достаточно надежен. Если защита общих ресурсов обеспечивается только уважением к традициям или «системой чести», то это далеко не надежный способ, так как вполне возможно, что появятся граждане, которые не чтят традиции и не имеют чести.

Приватизация более надежна, чем обучение, если общество хочет позволить некоторым людям учиться на собственных ошибках. Но многие ресурсы, такие как атмосфера или рыба в морях, просто не могут быть приватизированы. Для таких случаев остается возможность «взаимного принуждения по взаимному согласию».

Мы постоянно имеем дело с договоренностями о взаимном принуждении, большинство из которых настолько обиденны, что мы вряд ли их осознаём, даже когда им следуем. Каждая из них ограничивает свободу злоупотреблять общественным достоянием, сохраняя при этом свободу использовать его. Например:

- Общее пространство в центре перекрестка регулируется светофорами. Вы не проедете, когда захотите. Однако когда настанет ваша очередь, вы пересечете перекресток, причем это будет более безопасно, чем без светофора.
- Парковочные места в центре города четко разграничены. Вы не можете бесплатно припарковаться везде, где хотите, оставив машину на неограниченный срок. Но у вас больше шансов найти парковочное место, чем в случае, если бы эта система не существовала.
- Вы не можете извлечь выгоду из того, что чьи-то деньги хранятся в банке. Защитные устройства, сейфы, сигнализация, полиция и тюремная система не позволяют вам распорядиться этим

ресурсом. Но в то же время вы сами можете хранить деньги в банке, не беспокоясь об их сохранности.

- Вы не можете транслировать все, что пожелаете, на длинах волн, используемых радио или телевидением. Для этого необходимо получить разрешение от регулирующего органа. В случае отсутствия такого ограничения на нас обрушился бы хаотичный набор перекрывающих друг друга сигналов.
- Многие муниципальные системы уборки мусора стали настолько дорогостоящими, что с жителей домов начали взимать плату за вывоз мусора в зависимости от количества, которое они производят, — так общий ресурс превратился в регулируемую систему с оплатой по мере необходимости.

Обратите внимание на эти примеры: сколько разных форм принимает «взаимное принуждение по взаимному согласию»! Светофоры ограничивают доступ к общей площади, устанавливая очередность ее пересечения. Счетчики взимают плату за пользование парковкой. Банки физически ограждают свободный доступ к вкладам и предусматривают систему наказания. Разрешения на использование частот вещания выдаются государственным органом. Введение платы за вывоз мусора восстанавливает утраченную обратную связь, предоставляя тем самым каждой семье ощущать экономические последствия своих действий.

Большинство людей обычно соблюдает правила системы, если они взаимно согласованы и их цель ясна. Но все регулирующие системы должны использовать полицию и предусмотреть штрафы для тех, кто эти правила не соблюдает.

ЛОВУШКА: ТРАГЕДИЯ ОБЩИН

Когда ресурс доступен всем, извлечь выгоду от его использования может любой, но в случае злоупотребления ресурсом отдельными членами общины негативные последствия разделяют все. Так как обратная связь между состоянием ресурса и решениями его потребителей очень слабая, чрезмерное использование ресурса и его истощение происходят до тех пор, пока ресурс не станет недоступным для всех.

ВЫХОД

Воспитывать и убеждать потребителей, объясняя им последствия злоупотребления ресурсом. Восстановить или усилить обратную связь либо приватизировав ресурс,

чтобы каждый потребитель чувствовал прямые последствия своего злоупотребления, либо (поскольку не все ресурсы могут быть приватизированы) регулируя доступ потребителей к ресурсу.

Тенденция к снижению производительности

Во время кризиса британцы обнаружили, что... экономика продолжает стремиться в пропасть с невиданной ранее скоростью. Даже стихийные катастрофы сейчас рассматриваются как предвестники упадка. В воскресенье на главной странице Independent опубликовали статью: «Зловещее ощущение, что пожар в Виндзоре является симптомом для всей страны в целом, будто неумелость — главная характеристика нынешнего состояния нации».

«Мы знаем, что должны делать, но по какой-то причине этого не делаем», — сказал лорд Пестон, выразивший точку зрения представителей торговых и промышленных кругов.

Политики, бизнесмены и экономисты винят во всем некачественное образование, которое получает молодежь, недостаточную квалификацию работников и руководителей, сокращение инвестиций и плохое управление страной в целом.

Эрик Инсең, International Herald Tribune, 1992⁷

Некоторые системы не поддаются внешнему воздействию и поддерживаются в обычном неудовлетворительном состоянии: более того, со временем их состояние становится все хуже и хуже. Одно из названий такого архетипа — «тенденция к снижению производительности». Наглядные примеры проявления действия таких систем — потеря доли рынка в бизнесе, ухудшение качества обслуживания в больнице, увеличение уровня загрязнения рек и воздуха, набор веса вопреки всем диетам, состояние государственных школ Америки, мои планы бегать по утрам.

Участник в этом цикле обратной связи (британское правительство, бизнес, больница, человек с избыточным весом, школьный директор, бегун), как обычно, имеет перед собой цель или представление о том, в каком состоянии должна находиться система. Он сравнивает желаемое состояние системы с фактическим. Если обнаруживается расхождение, предпринимаются какие-то действия. Пока все это не что иное, как проявление

привычного для нас уравнивающего цикла обратной связи, который должен поддерживать производительность на желаемом уровне.

Но в этой системе существует различие между фактическим состоянием системы и тем, как воспринимается информация о реальном ее состоянии. *Участник склонен верить плохим новостям больше, чем хорошим.* Поскольку фактическая производительность все время варьируется, хорошие результаты наш ум отклоняет, считая их заблуждениями, а плохие остаются в памяти. Участник в этом случае считает, что ситуация хуже, чем есть на самом деле.

В описании этого трагического архетипа следует иметь в виду, что *желаемое состояние системы всегда зависит от того, каким оно воспринимается.* Стандарты не остаются абсолютными. Когда фактическая ситуация воспринимается исключительно негативно, падают и ожидания: «Ну, это максимум, чего следует ожидать», «Ну, мы не хуже, чем в прошлом году», «Ну, оглянитесь, у всех остальных тоже есть проблемы».

Уравнивающий цикл обратной связи, который должен поддерживать состояние системы на приемлемом уровне, подавляется усиливающим циклом обратной связи, направляющим систему под уклон. Чем хуже воспринимаемое состояние системы, тем ниже ожидания в отношении будущего состояния. Чем ниже ожидания, тем меньше расхождение между желаемым состоянием и фактическим, а поэтому требуется меньше корректирующих действий. Чем меньше совершается корректирующих действий, тем хуже становится состояние системы. И все это приводит к непрерывному падению производительности системы.

Другое название этой ловушки — «размывание целей». Ее еще называют синдромом «лягушки в кипятке». Рассказывают (я не знаю, правда ли это), что лягушка, внезапно попавшая в горячую воду, сразу же выпрыгнет из нее, но если поместить ее в холодную воду, которую постепенно нагревать, лягушка останется в воде, пока не погибнет. Небольшое повышение температуры не будет восприниматься ею как опасность. Тенденция к занижению результатов — это постепенный процесс. Если бы состояние системы резко ухудшилось, запустился бы немедленный процесс исправления ситуации. Но в случае постепенного ухудшения ситуации люди забывают, что раньше было лучше, мы снижаем ожидания, прикладываем все меньше усилий и демонстрируем все более низкие результаты.

Существует два способа противодействия размыванию целей. Один из них заключается в том, чтобы удерживать показатели системы на уровне, соответствующем установленному, независимо от результатов. Другой — сделать так, чтобы ожидания соответствовали лучшим значениям показателей в прошлом, а не худшим. Если воспринимать ситуацию оптимистично, а не трагически, если в качестве стандарта рассматривать лучшие результаты, а к худшим относиться только как к временной неудаче, то та же самая структура начнет постепенно приводить систему к более высоким результатам. Когда усиливающий цикл направляет систему вниз: «Чем хуже ситуация сейчас, тем хуже будет и в дальнейшем», измените его направление на противоположное: «Чем лучше ситуация сейчас, тем лучше все будет и в дальнейшем, если приложить дополнительные усилия».

Если бы я применила этот урок к моим утренним пробежкам, я бы уже начала бегать марафоны.

ЛОВУШКА: ТЕНДЕНЦИЯ К СНИЖЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Позволяя ранее полученным результатам, особенно если имеется негативная предвзятость в их восприятии, занижать наши ожидания, мы направляем усиливающий цикл обратной связи в системе таким образом, что производительность системы начнет стремительно падать.

ВЫХОД

Удерживать показатели системы на уровне, соответствующем установленному, независимо от производительности. Еще лучше, если стандарты будут повышаться за счет хороших результатов, а не понижаться из-за плохих. Используйте ту же структуру, но направьте ее движение в противоположную сторону.

Эскалация

Исламские боевики похитили израильского солдата в воскресенье и угрожали убить его, если не будет немедленно освобожден из заключения основатель имеющей влияние в секторе Газа мусульманской группировки... Похищение... привело к новой волне насилия... погибли три палестинца и один израильский солдат, застреленный из проезжавшего автомобиля, во время патрулирования территории на джипе.

Кроме того, в Газе происходили неоднократные столкновения между демонстрантами, бросающимися камнями, и израильскими войсками, которые стреляли по протестующим боевыми патронами и резиновыми пулями, — на данный момент не меньше 120 человек получили ранения.

Клайд Хаберман, International Herald Tribune, 1992⁸

Ранее в этой книге уже приводился пример эскалации — драка детей. Ты бьешь меня, поэтому я бью тебя немного сильнее, поэтому ты бьешь меня еще сильнее — и довольно скоро начинается настоящая драка.

«Я должен дать ему сдачи» — именно это решение приводит к эскалации. Эскалацию вызывает усиливающий цикл обратной связи, который создают конкурирующие участники, пытающиеся опередить друг друга. Цель одного элемента системы или участника не становится абсолютной (как в случае, например, с заданной температурой, равной 18 °С, которую должен поддерживать термостат), она связана с состоянием других частей системы. Как и многие другие системные ловушки, эскалация не всегда приводит только к плохим последствиям. Конкуренция, вызванная стремлением к достижению некой благой цели, например изобретению более эффективных компьютерных технологий или лекарства от СПИДа, может ускорить достижение цели всей системы. Но когда она усиливает враждебность и агрессию, увеличивает количество оружия, уровень шума и степень загрязнения, то оказывается действительно коварной и опасной ловушкой. Наиболее известные и ужасающие примеры таких ловушек — гонка вооружений и участки планеты, где соседствующие страны постоянно живут в состоянии войны друг с другом.

Каждый участник определяет желаемое состояние своей системы, основываясь на информации о состоянии системы соперника, и стремится обогнать его. Эскалация возникает не потому, что соседи поссорились, а из-за попыток превзойти их. Соединенные Штаты и Советский Союз на протяжении многих лет увеличивали количество единиц вооружения, чтобы обогнать соперника. Нарращивание вооружения у одной из сторон вынуждало вторую увеличивать выпуск военной техники. Каждая сторона обвиняла другую в эскалации конфликта, но на самом деле они провоцировали друг друга. На создание оружия

были потрачены триллионы долларов, а в итоге мы получили две сверхдержавы с подорванной экономикой и оружие столь ужасающей силы, что и сейчас оно угрожает всему миру.

Контрагитация — еще один пример эскалации. Один кандидат клеветает на другого, поэтому тот клеветает на первого, и так продолжается до тех пор, пока избиратели не усомнятся, что у кандидатов есть хоть какие-то положительные стороны. Это ставит под сомнение ценность демократии.

Еще один пример этого архетипа — ценовые войны. Один из конкурентов снижает цены, чтобы привлечь к себе клиентов. Это заставляет другого еще больше снизить цены на свои продукты, и так далее. Обе стороны теряют прибыль, но ни одна не отступает. Такая эскалация может закончиться банкротством одного из конкурентов.

Рекламные агентства наращивают эффективность воздействия рекламной кампании, пытаясь привлечь внимание потребителей. Одно агентство создает яркое, громкое и притягивающее внимание. Его конкурент выпускает что-то еще более смелое. Первому вновь приходится изобретать что-то. Реклама попадает во все актуальные системы распространения информации (почта, телефон и так далее), становясь все более навязчивой. Это продолжается до тех пор, пока чувства потребителя не притупляются до такой степени, что рекламодателю уже не удастся до него достучаться.

Эскалация приводит к увеличению громкости разговоров на вечеринках, длины лимузинов, вульгарности рок-групп.

Эскалация проявляется и в развитии и укреплении таких качеств, как миролюбие, вежливость, эффективность, тактичность. Но даже в этих случаях, когда, казалось бы, развитие идет в правильном направлении, эскалация может вызвать проблемы, поскольку ее нелегко остановить. Каждая больница старается превзойти остальные в мощности и дороговизне диагностического оборудования, что приводит к серьезному повышению стоимости медицинских услуг. Эскалация в области этики может привести к лицемерию вместо святости. Эскалация в искусстве может превратить барокко и рококо в абсолютный китч. Эскалация, ставшая результатом пропаганды защиты окружающей среды и здорового образа жизни, может привести к жесткому

и ненужному пуританству. Эскалацией управляет усиливающий цикл обратной связи. Все процессы и события в этом случае развиваются экспоненциально. Такое развитие очень быстро доходит до крайности, заставляя участников процесса конкурировать между собой в экстремальных условиях быстрее, чем кто-либо ожидает. Если не принять никаких мер, чтобы остановить этот цикл, печальные последствия для одного или обоих конкурентов гарантированы.

Один из возможных выходов — «одностороннее разоружение», то есть преднамеренное снижение деятельности своей системы, чтобы вызвать аналогичное снижение деятельности конкурента. В рамках логики системы это решение почти невыполнимо. Но на самом деле оно работает, если выполнять такое сокращение оборотов намеренно и если вы в состоянии пережить краткосрочное преимущество конкурента.

Другой изящный выход из системы эскалации — это переговоры о разоружении. По сути, это структурное изменение, то есть изменение устройства системы в целом. Оно помогает создать новый набор уравновешивающих циклов, которые удержат конкуренцию в определенных границах (вмешательство родителей в драку детей, правила размещения рекламы, введение миротворческих войск в зоны конфликта). Соглашение о разоружении обычно трудно дается, оно всегда неприятно для участвующих сторон. Но для каждой из них выйти из процесса эскалации намного лучше, чем продолжать невыносимую гонку.

ЛОВУШКА: ЭСКАЛАЦИЯ

Когда величина одного запаса изменяется с целью превзойти величину другого запаса (и наоборот), возникает эскалация. При этом усиливающий цикл обратной связи приводит систему к бесконтрольному росту вооружения, цен, предвыборной клеветы, громкости, насилия и так далее. Эскалация развивается экспоненциально и очень неожиданно приводит к плачевным результатам. Если ничего не предпринимать, все закончится крахом для одного из участников конфликта, поскольку экспоненциальный рост не может продолжаться вечно.

ВЫХОД

Прежде всего нужно стараться не попадать в эту ловушку. Если не удалось ее избежать, можно попробовать отказаться от конкуренции (разоружение в одностороннем порядке), тем самым прервав усиливающий цикл. Кроме этого, можно начать переговоры

о создании новой системы с уравнивающими циклами обратной связи, которые дадут возможность контролировать процесс эскалации.

Успех к успешному: конкурентное исключение

Самые богатые люди — верхняя часть от 1% обеспеченных налогоплательщиков — обладают множеством возможностей платить меньше налогов... Они стараются получить премии в текущем, а не в следующем году [когда налоги будут выше], обналичивают акции... иными словами, любыми возможными способами увеличивают свой доход.

Сильвия Назар, International Herald Tribune, 1992⁹

Использование накопленного богатства, привилегий, доступа к внутренней информации, позволяющее получать еще больше денежных средств, привилегий и доступа к информации, — пример архетипа, называемого «успех к успешному». Эту системную ловушку можно наблюдать всякий раз, когда победители конкурса получают вознаграждение — средства для еще более эффективной конкуренции в будущем. Этот усиливающий цикл обратной связи быстро делит систему на победителей, которые продолжают выигрывать, и проигравших, которые продолжают проигрывать.

Любой, кто играл в «Монополию», узнает этот архетип. Все игроки на старте имеют равные условия. Но тот, кто сумеет первым построить отель на «свои средства», будет получать «арендную плату» от других игроков, которую использует на приобретение еще большего количества отелей. Чем больше у вас отелей, тем больше вы можете их построить. Игра заканчивается, когда один из игроков скупает все или когда остальные игроки сдаются.

Когда-то в нашем районе проводился конкурс на самое красивое рождественское украшение дома гирляндами. Размер вознаграждения составлял 100 долларов. Семья, которая выиграла этот конкурс, когда его проводили первый раз, потратила 100 долларов на покупку новых украшений. После того как эта семья выигрывала конкурс три года подряд и с каждым годом убранство дома становилось все богаче, конкурс приостановили.

Кто имеет, тому дано будет. Чем больше побед в настоящем, тем больше шансов победить в будущем. Если соревнования происходят в условиях, когда ресурсы ограничены и победитель оставляет проигравших без ресурса, проигравшие в какой-то момент разорятся, не смогут принимать участие в соревнованиях или просто будут вечно голодать.

«Успех к успешному» — известная концепция в экологии, где ее называют «принципом конкурентного исключения». Этот принцип гласит, что два разных вида не могут сосуществовать в одной и той же экологической нише, конкурируя за одни и те же ресурсы. Поскольку эти виды отличаются друг от друга, один вид обязательно приспособится к существующим условиям лучше, чем второй, и сможет использовать ресурс более эффективно. Он получит большую часть ресурса, что даст ему возможность быстрее воспроизводить себя и продолжать выигрывать в этой борьбе. В конце концов это приведет не просто к доминированию вида, но и к полному исчезновению особей конкурента. Это произойдет не из-за прямого агрессивного соперничества, а путем присвоения всего ресурса, и в результате более слабому конкуренту не останется ни единого шанса на выживание.

О подобной ловушке писал Карл Маркс, критикуя капитализм. Поведение двух фирм, конкурирующих на одном рынке, будет аналогично поведению двух видов, конкурирующих в одной экологической нише. Одна из них в какой-то момент получит небольшое преимущество либо за счет более эффективной деятельности, либо за счет разумных инвестиций, более совершенных технологий, более крупных размеров взяток и так далее. С преимуществом фирма будет иметь более высокий доход и, соответственно, сможет больше инвестировать в производственные мощности, новые технологии, рекламу или взятки. Этот усиливающий цикл обратной связи позволит ей еще больше производить и зарабатывать. Если рынок ограничен и не работает антимонопольное законодательство, то эта фирма продолжит наращивать производственные мощности, а конкуренты в итоге не получают ничего.

Существует мнение, что распад Советского Союза опровергает теорию Карла Маркса. Однако его предположение о том, что рыночная конкуренция сама же и приводит к устранению конкуренции, постоянно находит подтверждение. Из-за усиливающей обратной связи количество

автомобильных компаний в Соединенных Штатах сократилось до трех (не до одной только благодаря антимонопольным законам). В большинстве крупных городов США издается только одна газета. В каждой рыночной экономической системе мы видим тенденцию сокращения количества фермерских хозяйств, в то время как их размеры увеличиваются.

Ловушка «успех к успешному» делает богатых богаче, а бедных беднее. Мало того что богатые имеют больше возможностей избежать выплаты налогов, чем бедные, но при этом:

- В большинстве обществ дети из бедных семей получают самое плохое образование, если вообще ходят в школу. Не имея нормального образования и соответствующих навыков, они могут претендовать только на низкооплачиваемую работу и не имеют шансов вырваться из нищеты¹⁰.
- Люди с низким доходом и отсутствием каких-либо материальных ценностей не могут брать кредиты в большинстве банков. Таким образом, они либо не могут инвестировать в увеличение капитала, либо вынуждены обращаться к ростовщикам, которые берут с них очень большие проценты. Даже когда процентные ставки не очень высоки, бедные отдают деньги, а богатые их получают.
- Большинству фермеров во многих странах приходится работать на чужой земле, взятой ими в аренду. Они должны отдавать часть своего урожая владельцу за возможность работать на этой земле, поэтому никогда не смогут купить собственный участок. Земледелец же использует средства, полученные от арендаторов, на приобретение новых участков.

Это лишь некоторые из примеров, показывающих, как действуют обратные связи, усиливая несправедливое распределение доходов, сбережений, уровня образования и возможностей. Так как бедные могут позволить себе покупать только небольшое количество чего-либо (продуктов питания, топлива, семян, удобрений), они платят больше. Поскольку они зачастую неорганизованны и косноязычны, на удовлетворение их потребностей выделяется непропорционально малая часть государственных расходов. Новые идеи и технологии доходят до них в последнюю очередь, а заболевания и загрязнение окружающей среды — в первую. Это люди, у которых нет другого выбора, кроме как

заниматься опасной низкооплачиваемой работой, их дети не прививаются от болезней. Им приходится жить в перенаселенных, преступных, неблагополучных районах.

Как выбраться из этой ловушки?

Биологическим видам и компаниям иногда удается избежать устранения, связанного с конкуренцией, благодаря *диверсификации*. Вид приспособится и найдет возможность использовать новые ресурсы. Компания предложит новый продукт или услугу, не конкурирующую напрямую с уже существующими. Рынки стремятся к созданию монополий, экологические ниши — к однообразию видов, но одновременно они образуют ответвления: новые рынки, новые виды. Со временем и они вступят в борьбу с конкурентами, и система продолжит двигаться в сторону конкурентного исключения. Однако диверсификация возможна не всегда. Особенно если монополизирующая фирма (или вид) имеет возможность устранять все ответвления — скупать их или лишать ресурсов, необходимых для существования. Диверсификация не работает в качестве стратегии для бедных.

Такой цикл «успех к успешному» можно держать под контролем, создавая петли обратной связи, которые не дадут возможность кому-либо из конкурентов полностью присвоить ресурс. Именно поэтому антимонопольные законы необходимы. (К несчастью, один из ресурсов, который могут заполучить крупные компании, — это способность ослабить действие антимонопольного законодательства.)

Самый очевидный выход из архетипа «успех к успешному» — периодическое «выравнивание игрового поля». Традиционные общества и разработчики игр инстинктивно вводят в свои системы способы выравнивания преимуществ, чтобы игра оставалась справедливой (или интересной). Каждая игра в «Монополию» начинается с равных для всех условий, поэтому у тех, кто проиграл в прошлый раз, есть возможность победить в следующий. Во многих видах спорта предусмотрена фора для более слабых игроков. В некоторых традиционных обществах существуют свои версии индейской церемонии потлач*, когда самые богатые члены общины раздают свое имущество самым бедным.

* Потлач — обычай ряда индейских народов северо-западного побережья Северной Америки — заключался в демонстративном раздавании и уничтожении материальных ценностей в присутствии специально приглашенных гостей и сопровождался обильным пиром.

Существует множество способов, позволяющих прервать процесс, когда богатые становятся еще богаче, а бедные еще беднее. Это могут быть специальные налоговые законы, предписывающие уплату более высоких процентов теми, у кого выше доходы; благотворительная деятельность; работа профсоюзов; всеобщее медицинское обслуживание и образование; большие налоги на наследуемое имущество (чтобы каждое новое поколение начинало «игру» с нуля). Во многих индустриально развитых странах применяют комбинацию таких способов, чтобы не попадаться в эту ловушку и сохранять всех участников в «игре». В традиционных культурах богатства перераспределяются через потлач или другие похожие церемонии: богатые вынуждены отдавать свои накопленные материальные ценности, но взамен они получают более высокий социальный статус.

Эти уравнивающие механизмы могут проистекать из общественной морали или из практического понимания того, что отчаявшиеся проигравшие способны просто уничтожить все игровое поле.

ЛОВУШКА: УСПЕХ К УСПЕШНОМУ

Если победители соревнований систематически получают вознаграждение (то есть средства, которые можно инвестировать в будущие победы), создается усиливающий цикл обратной связи. Если его не прервать, то победители в итоге заберут все ресурсы, а проигравшие устроятся.

ВЫХОД

Диверсификация, то есть разнообразие вариантов, которое позволит тем, кто проигрывает конкуренцию, использовать новые способы для выживания или победы. Строго ограничить максимально возможную долю выигрыша, который получит один победитель (антимонопольное законодательство). Внедрять механизмы, которые будут выравнять игровое поле, устраняя преимущества сильных игроков или увеличивая возможности слабых. Придумать такую награду за победу, которая не повлияет на распределение сил в следующих соревнованиях.

Поддержка со стороны: зависимость

Теперь вы имеете представление о том, в какой невероятной нисходящей спирали мы оказались. Поскольку все больше расходов перекладывается на частный сектор, большинство

его представителей перестают страховать своих работников. ...сейчас до 100 тыс. американцев в месяц теряют медицинскую страховку.

В основном это те, кто входит в государственную программу «Медикейд». Поскольку штаты не могут справиться с дефицитом, они выходят [из программы], или сокращают финансирование образования, детских программ, или повышают налоги, или забирают средства из других сфер инвестирования.

Билл Клинтон, International Herald Tribune, 1992¹¹

Если вы хотите разозлить сомалийца, заберите у него кат... Кат — это свежие нежные листья и стебли растения *catha edulis*... Фармакологически они относятся к амфетаминам... 22-летний Абдукадир Махмуд Фарах сказал, что впервые начал жевать кат, когда ему было 15 лет. «Причина в желании не думать о проблемах. Когда я принимаю кат, я становлюсь счастливым. Я могу делать все что угодно. Я не устаю».

Kum Б. Ручберг, International Herald Tribune, 1992¹²

Большинство людей понимает, что алкоголь, никотин, кофеин, сахар и героин обладают аддиктивными свойствами. Но не каждый признаёт, что зависимость принимает и другие обличья. Ее признаки можно наблюдать и в крупных системах: зависимость промышленности от государственных субсидий, зависимость фермеров от производства удобрений, зависимость экономики западных стран от дешевой нефти, зависимость производителей оружия от государственных контрактов.

Эта ловушка известна под многими названиями: зависимость, привыкание, перекладывание бремени на третью сторону. В структуре имеются запасы и входящие и исходящие потоки. Запас может быть как физическим (урожай кукурузы), так и метафизическим (чувство благополучия и самооценка). Запасы контролируются участником, корректирующим уравнивающий цикл обратной связи за счет изменения интенсивности входящих и исходящих потоков. Участник имеет цель, и он сопоставляет реальное состояние потока, а точнее — свое восприятие этого состояния, с желаемым, чтобы определить, какое действие необходимо предпринять.

Допустим, вы молодой парень, живете в стране, находящейся в состоянии военного конфликта, стране, где властвуют голод и разруха. Ваша цель — испытать ощущение собственного благополучия, почувствовать себя счастливым, энергичным и бесстрашным. Между вашим желаемым и фактическим состоянием лежит пропасть. И хотя существует много вариантов для ее ликвидации, вы начинаете принимать наркотики. Они не меняют сложившуюся ситуацию в лучшую сторону. Фактически наркотики делают ее только хуже. Но они моментально начинают влиять на *восприятие* вашего состояния, притупляя чувства и делая вас неустрашимым и мужественным. Аналогичным образом, если вы управляете неэффективной компанией, но у вас есть возможность получить государственные субсидии, вы будете продолжать делать деньги и получать хорошую прибыль, оставаясь уважаемым членом общества. Или, допустим, вы фермер, который пытается вырастить большой урожай кукурузы на истощенной земле, не предпринимая ничего для улучшения плодородия почвы. Беда в том, что такие ситуации, возникшие благодаря вмешательству извне, долго не существуют. Зависимость от внешних факторов выматывает. Субсидии тратятся. Удобрения расходуются.

Примеров зависимости и систем, которые перекаладывают свою ношу на других, вокруг нас множество.

- Ухаживать за пожилыми людьми, о которых раньше заботились в семьях, сложно. Поэтому возникло социальное обеспечение, появились сообщества пенсионеров и дома престарелых. Сейчас у большинства семей нет места, времени, навыков и готовности заботиться о старших.
- Междугородные перевозки осуществлялись по железным дорогам, а перевозки на короткое расстояние — на трамваях и метро, пока не вмешалось правительство и не построило хайвэй.
- Дети делали арифметические вычисления устно или на бумаге, пока не появились калькуляторы.
- Часть населения имела врожденный иммунитет к таким заболеваниям, как оспа, туберкулез и малярия, до тех пор пока в нашу жизнь не вошли вакцинация и лекарства.
- Современная медицина в целом перенесла ответственность за здоровье людей с их образа жизни на врачей.

Перенос бремени на третье лицо может быть благом. Часто это осуществляется целенаправленно, и в результате система поддерживается в желательном состоянии. Конечно, стопроцентная защита, которую обеспечивает вакцина от оспы, лучше, чем только частичная врожденная защита за счет естественного иммунитета. И некоторым системам действительно необходимо вмешательство со стороны!

Но вмешательство извне может стать системной ловушкой. Процесс, управляемый корректирующей обратной связью, выполняет плохую (или даже очень плохую) работу по поддержанию состояния системы.

Представитель стороны, собирающейся осуществить вмешательство в работу системы, наблюдает за тем, что происходит, чтобы взять на себя часть нагрузки. Такое вмешательство быстро приводит систему в состояние, которое всех устраивает. Вмешавшаяся сторона в этом случае благодарит сама себя.

Затем проблема возникает снова, поскольку ничего не было сделано для исправления ситуации. Вмешавшейся стороне приходится прилагать еще больше усилий для ее решения, снова маскируя реальное состояние системы и не влияя на саму проблему. Это приводит к тому, что придется искать и применять еще больше таких «решений».

Ловушка формируется, если вмешательство со стороны, будь оно активным или даже небрежным, подрывает первоначальную способность системы поддерживать себя. Если эта способность ослабевает, то для достижения желаемого эффекта требуется, чтобы поддержка со стороны стала еще более внушительной. Но в этом случае система становится еще слабее. Вмешавшаяся сторона, учитывая возрастающую слабость системы, считает необходимым увеличить поддержку. И так далее.

Почему кто-то попадает в такую ловушку?

Во-первых, вмешавшаяся сторона не может предвидеть, что ее первоначальное желание немного помочь запускает цепочку событий, приводящих к тому, что зависимость все усиливается и в итоге поддержка становится обременительной для вмешавшейся стороны. Американская система здравоохранения испытывает трудности именно в результате подобной последовательности событий.

Во-вторых, индивид или сообщество, принимающие помощь, не задумываются о долгосрочной утрате контроля и повышенной

уязвимости, которые приходят вместе с возможностью переложить проблемы на могущественную и влиятельную вмешавшуюся сторону. Если вмешательство — это наркотик, то вы становитесь зависимы. Чем сильнее вас затягивает эта цепь событий, в основе которой лежит зависимость, тем больше вероятность, что вы будете втянуты в нее снова.

О зависимости, по мнению ведущих группы анонимных алкоголиков, говорит следующий факт: человек повторяет одно и то же глупое поведение снова, и снова, и снова и почему-то ожидает получить другой результат.

Зависимость позволяет быстро устранить *симптомы* проблемы, препятствуя решению более сложной и долгосрочной задачи — реальной проблемы — и отвлекая от нее. Стратегии зависимости коварны, потому что их легко навязать и в них легко погрузиться.

Насекомые угрожают урожаю? Вместо того чтобы изучать методы ведения сельского хозяйства, и в частности монокультурного хозяйства, выяснять причины уничтожения естественных регуляторов экосистемы, вызвавшего массовое распространение вредителей, фермеры используют пестициды. Вредители исчезнут, но засилье монокультур еще больше навредит экосистеме. В результате нашествия вредителей участвятся, и для их уничтожения потребуется еще больше пестицидов в будущем.

Увеличивается цена на нефть? Почему бы, вместо того чтобы признать неизбежное истощение невозобновляемого ресурса и начать экономить или использовать другие виды топлива, не зафиксировать цену? (И Советский Союз, и Соединенные Штаты сделали это в качестве первого ответа на нефтяное эмбарго в 1970-х годах.) Таким образом, можно сделать вид, что ничего не происходит, и продолжать сжигать нефть, не решая проблему истощения ресурсов, что только ухудшает ситуацию.

Когда такая политика потерпит крах, мы можем начать войну за нефть. Или найдем новые месторождения. Подобно пьяному, шарящему по дому в надежде отыскать еще одну бутылку, мы будем загрязнять пляжи и захватывать последние уголки дикой природы в поисках еще одного месторождения нефти.

Процесс избавления от зависимости очень тяжелый. Это могут быть и физическая боль при героиновой ломке, и переживания, связанные с финансовыми проблемами от увеличения цен из-за снижения

потребления нефти, и последствия вторжения вредителей, пока естественные популяции хищников восстанавливаются. Отказ от зависимости означает, что, наконец реально оценив состояние системы (обычно признав, что оно стало значительно хуже), вы решили осуществить действия, которые зависимость позволяла откладывать. Иногда избавляться от зависимости можно постепенно. Иногда — в тех случаях, когда отклонение от нормы невелико, — применяя средства, не вызывающие привыкания (групповую поддержку для восстановления самооценки наркомана, строительство домов с повышенным энергосбережением и экономичные автомобили, чтобы уменьшить расход нефтепродуктов, поликультуры и севооборот, чтобы снизить уязвимость сельскохозяйственных культур для вредителей). Иногда нет другого выхода, кроме как резко отказаться от наркотиков и просто терпеть боль.

Это вызывает уважение: не каждый способен пройти через ломку, чтобы избавиться от зависимости. Но гораздо предпочтительнее не попадаться на крючок зависимости. Проблемы можно избежать, вмешавшись таким образом, чтобы *система окрепла и сумела взять на себя свое бремя*. Этот вариант — поддерживать систему в состоянии, когда она сама сможет себе помогать, — намного более простой и менее затратный, чем вариант брать решение системной проблемы на себя. Иногда либеральные политики делают вид, что этого не понимают. Секрет в том, чтобы начинать не с героического взятия системы под свой контроль, а с поиска ответов на ряд вопросов, в том числе:

- Почему механизмы естественной коррекции системы не работают?
- Как препятствия могут быть устранены?
- Каким образом механизмы естественной коррекции системы могут стать более эффективными?

ЛОВУШКА: ПОДДЕРЖКА СО СТОРОНЫ

Перекалывание обязательств, зависимость и привыкание возникают, когда действия, предпринятые для решения системной проблемы, уменьшают (или маскируют) симптомы, но саму проблему не решают. Будь это вещество, притупляющее восприятие, или политика, направленная на сокрытие проблем, выбор наркотика препятствует действиям, которые могли бы решить реальную проблему.

Если вмешательство, предпринятое для решения проблемы, ослабляет способность исходной системы к самовосстановлению, включается усиливающийся деструктивный цикл обратной связи. Состояние системы ухудшается; требуется все больше и больше действий для ее поддержания. Система будет все более зависимой от вмешательства извне и все менее и менее способной поддерживать желаемое состояние.

ВЫХОД

Лучший выход из этой ловушки — не попадать в нее. Будьте осторожны и постарайтесь не использовать поддержку, которая приводит к устранению симптомов или ослаблению сигналов, свидетельствующих о наличии проблемы, а на самом деле проблему не затрагивает. Отвлекитесь от краткосрочных методов поддержки и уделите внимание перестройке структуры в долгосрочной перспективе.

Если вы сами — та сторона, которая старается поддержать систему, работайте таким образом, чтобы восстановить или улучшить способность системы самостоятельно решать свои проблемы, а затем прекратите помогать. Если вы страдаете от зависимости, то, прежде чем избавляться от вмешательства, постарайтесь подстраховаться, восстановив способности системы к самоподдержанию. Сделайте это сразу. Чем дольше вы будете ждать, тем сложнее будет процесс выхода.

Обход правил

КЕЛЬВИН: Хорошо, Хоббс, у меня есть план.

ХОББС: Да?

КЕЛЬВИН: Если я буду делать десять спонтанных добрых поступков в день, начиная с сегодняшнего дня и до Рождества, Санта снисходительнее будет судить об остальной части этого года. Я смогу утверждать, что начал с чистого листа.

ХОББС: Ну, вот и твой шанс. Сьюзи идет сюда.

КЕЛЬВИН: Знаешь, лучше я начну завтра и буду делать по двадцать в день.

International Herald Tribune, 1992^{13*}

* «Кельвин и Хоббс» (англ. Calvin and Hobbes) — ежедневный комикс, который придумывал и рисовал американский художник Билл Уоттерсон. В нем отражены проказы шестилетнего мальчика Кельвина и его плюшевого тигра Хоббса. Комикс публиковался с 18 ноября 1985 года по 31 декабря 1995 года, на пике популярности он выходил в более чем 2400 газетах по всему миру.

Там, где есть правила, скорее всего, найдутся способы их обойти. То есть возможны действия, позволяющие уклониться от выполнения правил по сути — соблюсти букву закона, но не дух. Обход правил создаст проблему только тогда, когда он вызывает в системе сильные искажения и несвойственное ей поведение, которое потеряло бы всякий смысл в случае отсутствия этих правил. Если система выходит из-под контроля, обход правил приводит к тому, что поведение системы наносит большой ущерб.

Обход правил, который искажает природу, экономику, организации и человеческий дух, пагубен. Вот несколько примеров обхода правил, некоторые из них серьезные, некоторые — нет:

- департаменты правительств, университетов и корпораций нередко бессмысленно расходуют средства в конце финансового года только для того, чтобы избавиться от денег, потому что если они не потратят выделенные им бюджетные средства в текущем году, в следующем году им сократят бюджет.
- В 1970-х годах штат Вермонт принял закон о землепользовании под названием «Закон 250», который сильно усложнил оформление и переоформление земельного участка площадью 4 гектара или меньше. Теперь в Вермонте выставлено огромное количество участков площадью до 4 гектаров на продажу.
- Чтобы уменьшить импорт зерна и помочь местным фермерам, выращивающим зерновые культуры, в 1960-е годы европейские страны вводили ограничения на импорт кормового зерна. Пока разрабатывались ограничения, никто не вспомнил о крахмальном корне, называемом кассавой, который тоже используется как корм для животных. На кассаву ограничения не распространялись. Поэтому импорт кукурузы из Северной Америки был заменен на ввоз кассавы из Азии¹⁴.
- Закон об исчезающих видах (животных и растений, занесенных в Красную книгу США) ограничивает строительство там, где обитают виды, находящиеся под угрозой исчезновения. Некоторые землевладельцы, обнаружив, что на принадлежащих им землях обитает исчезающий вид животных, намеренно охотятся на него или травят, чтобы можно было начать застройку.

Стоит отметить, что обход правил создает *видимость* следования им.

Водители снижают скорость, когда видят поблизости полицейскую машину. Кормовое зерно больше не экспортируют в Европу. Застройку не ведут на территориях, где по документам зафиксировано присутствие исчезающих видов животных. Буква закона соблюдена, дух — нет. И это предупреждение о том, что при разработке закона нужно держать в уме всю систему, включая ее самоорганизующиеся возможности уклоняться от соблюдения правил.

Обход правил обычно возникает как ответ нижних уровней иерархии на чрезмерные, вредоносные, неработающие или нечеткие правила, поступающие сверху.

Существуют две типичные реакции на обход правил. Одна из них — попытка не допустить реакцию самоорганизующихся частей, ужесточив правила или принуждая их выполнять, — обычно это еще больше извращает систему. Это путь в ловушку.

Выход из ловушки, возможно, состоит в том, чтобы воспринимать обход правил как полезную обратную связь, а также пересматривать, улучшать, отменять или лучше объяснять правила. Разработка более совершенных правил позволяет, насколько это возможно, прогнозировать их влияние на подсистемы, включая любой обход правил, который мог бы последовать как реакция на них, а также структурировать правила, чтобы использовать самоорганизующиеся возможности системы.

ЛОВУШКА: ОБХОД ПРАВИЛ

Правила, разработанные, чтобы управлять системой, могут привести к попытке их обойти — искаженному поведению, которое создает видимость следования правилам или достижения целей, но фактически извращает систему.

ВЫХОД

Разработка новых или совершенствование действующих правил таким образом, чтобы направить креативность исполнителей не на обход правил, а на их выполнение.

Неправильная постановка цели

Правительство признало в пятницу то, о чем независимые экономисты говорили в течение нескольких месяцев: Япония не приблизится к тому, чтобы достичь поставленной правительством год назад цели в 3,5% роста...

ВВП вырос в 1991 году на 3,5% и в 1990 году на 5,5%. С начала этого финансового года... отмечались либо сокращение экономики, либо стагнация...

Теперь что касается прогноза... Давление со стороны политиков и бизнеса на Минфин, скорее всего, будет расти, чтобы ведомство приняло стимулирующие меры.

International Herald Tribune, 1992¹⁵

Как было показано в главе 1, один из самых мощных способов повлиять на поведение системы — воздействовать непосредственно на ее цель. Именно цель задает направление развития системы, определяет несоответствия, требующие действий по их устранению, показывает неудачи или успехи, на которые влияет уравнивающий цикл обратной связи. Если цель поставлена некорректно, если она не отражает реальное состояние системы, то система не обеспечит желаемый результат. Системы проявляют ужасную тенденцию — выполняют точно и только то, что вы просите у них. Почти как исполнение трех желаний в народных сказках. Будьте осторожны с формулировкой того, о чем вы просите.

Если ожидаемое состояние системы — национальная безопасность, которую определили как сумму средств, потраченных на вооруженные силы, система будет производить военные расходы. Будет ли при этом обеспечена национальная безопасность или нет, неизвестно. На самом деле безопасность окажется под угрозой, если расходы осуществляются за счет уменьшения инвестирования в другие отрасли экономики или если их используют на создание не соответствующего поставленным целям оружия.

Если ожидаемое состояние системы — хорошее образование, а оценивается достижение этой цели количеством денег, потраченных

на каждого ученика, можно не сомневаться, что деньги израсходуют. Если качество образования оценивается по показателям стандартизованных тестов, система обеспечит получение хороших результатов по стандартизированным тестам. И так произойдет вне зависимости от того, связана ли любая из этих мер с хорошим образованием. По крайней мере, об этом стоит задуматься.

В первые дни после введения в Индии программы планирования семьи достижение программных целей оценивалось количеством имплантированных ВМС (внутриматочных спиралей). Поэтому врачи, стремясь достичь своих целей, ставили спирали женщинам без их согласия.

Все это — примеры ситуаций, когда при построении системы преследуется неверная цель. Возможно, худшей ошибкой такого рода стало принятие валового национального продукта (ВВП) в качестве меры национального экономического успеха. ВВП — это совокупная стоимость товаров и услуг, произведенных экономикой. В качестве меры измерения благосостояния человека ВВП подвергался критике почти с момента его создания.

Валовой национальный продукт не отражает состояние здоровья наших детей, качество их образования или радость от игры. Он не включает в себя красоту нашей поэзии или крепость браков, интеллектуальный уровень публичных дебатов или честность должностных лиц. Он не измеряет ни наше остроумие, ни храбрость, ни мудрость, ни качество обучения, ни глубину сострадания, ни преданность своей стране. Короче говоря, он отражает все, кроме того, что делает жизнь стоящей¹⁶.

У нас есть национальная система бухгалтерского учета, которая не имеет никакого отношения к национальной экономике, потому что она не отчет о нашей жизни в наших домах, а всего лишь шкала, по которой можно оценить степень лихорадки нашего потребления¹⁷.

ВВП объединяет и хорошее, и плохое. (Если случается много дорожно-транспортных происшествий и выписывается много медицинских счетов и счетов за ремонт, то ВВП растет.) В нем учитываются только товары и услуги, продаваемые на рынке. (Если бы все родители наняли людей для воспитания своих детей, ВВП бы вырос.) Он не отражает

справедливость распределения. (Покупка дорогого второго дома богатой семьей способствует росту ВВП больше, чем недорогой единственный дом, приобретенный бедной семьей.) Он измеряет усилия, а не достижения, валовое производство и потребление, а не эффективность. Новые лампочки, которые дают такой же свет, но потребляют одну восьмую электричества и работают в десять раз дольше, способствуют падению ВВП.

ВВП — показатель производительности, им оцениваются произведенные и потребленные продукты за год, а не запасы капитала, дома и автомобили, компьютеры и стереосистемы, которые отражают реальное богатство и доставляют настоящее удовольствие. Можно утверждать, что лучшим обществом будет то, в котором запасы капитала могут поддерживаться и использоваться с наименьшей возможной производительностью, а не с самой высокой.

Хотя есть все основания желать, чтобы экономика процветала, нет никаких особых причин хотеть, чтобы ВВП вырос. Но правительства во всем мире реагируют на сигналы о падении ВВП, предпринимая многочисленные действия, чтобы поддерживать его рост. Многие из этих действий просто расточительны. Стимулируется неэффективное производство вещей, которых никто на самом деле не хочет. Некоторые из этих мер, такие как чрезмерная вырубка лесов, хороши только в целях стимулирования экономики в краткосрочной перспективе, но угрожают долгосрочному благополучию и экономики, и общества, и окружающей среды.

Если цель, поставленная перед обществом, — обеспечение роста ВВП, то общество сделает для этого все возможное. Оно не будет заботиться о благосостоянии, правосудии, справедливости или эффективности, если вы не определите цель и не будете регулярно их оценивать и делать соответствующие отчеты. Мир был бы совсем другим, если бы вместо того чтобы соревноваться, у кого самый высокий ВВП на душу населения, страны соревновались бы в том, у кого самый высокий показатель уровня богатства на душу населения при наименьшей производительности, или самая низкая детская смертность, или самая большая политическая свобода, или самая чистая окружающая среда, или наименьший разрыв между богатыми и бедными.

Стремление к неправильно поставленной цели, желание соответствовать неверно заданному показателю не что иное, как системная характеристика, почти противоположная обходу правил. При обходе правил система, чтобы уклониться от выполнения непопулярного или некорректно разработанного правила, выходит за его рамки, при этом формально исполняя его. Система с неправильно поставленной целью послушно следует правилу и выдает заданный результат, который далеко не всегда оказывается таким, каким вы хотите его видеть. Когда происходит что-то глупое, потому что «таковы правила», значит, у вас проблема с постановкой цели. Если происходит что-то глупое из-за извращения правил, значит, в вашей системе обходят правила. Оба эти искажения системы могут происходить одновременно с одним и тем же правилом.

ЛОВУШКА: НЕПРАВИЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ

Поведение системы особенно чувствительно к тому, какие цели преследуют циклы обратной связи. Если цели — индикаторы выполнения правил — определены неточно или неполно, система может послушно работать над получением результата, который на самом деле может оказаться совсем не таким, как ожидали, или ненужным.

ВЫХОД

Укажите параметры и цели, отражающие реальное благосостояние системы. Будьте особенно осторожны, чтобы не спутать усилия с результатом, иначе вы получите систему, которая будет производить усилия, а не результаты.

ИНТЕРЛЮДИЯ

Цель проектирования парусника

Когда-то люди принимали участие в гонках на парусных яхтах не ради того, чтобы получить приз миллион долларов или прославиться, а просто ради удовольствия.

Они соревновались на самых обычных судах, на которых они ловили рыбу, перевозили товары или просто выходили в море, чтобы поплавать по выходным.

Вскоре стало понятно, что гонки на парусниках значительно интереснее, если скорость и маневренность яхт примерно равны. Так сложились правила, и классы яхт стали определять в зависимости от длины корпуса, площади паруса и других параметров, а также ввели ограничение, в соответствии с которым в гонках могли участвовать яхты только одного класса.

И тогда начали проектировать яхты не для того, чтобы просто ходить под парусом, а для того, чтобы победить в гонках в категориях, определенных правилами. Конструкторы делали все, что только можно, чтобы увеличить скорость (ее буквально выжимали как последнюю каплю из каждого квадратного дюйма судна) или снизить до минимального значения возможную нагрузку. Такие яхты затайливо выглядели и странно управлялись. Это совсем не те парусники, на которых вы хотели бы сходить на рыбалку или выйти в воскресный день в море. По мере того как гонки становились более серьезными, правила ужесточались, а конструкции яхт казались более чем странными.

Сейчас гоночные парусники ходят экстремально быстро, очень чутки в управлении и практически немореходны. Соревноваться на них могут только тренированные и высокопрофессиональные команды. Никто и не думает об использовании яхт, принимающих участие в соревновании за Кубок Америки, для любых других целей, кроме как гонок в рамках правил. Конструкция яхт настолько оптимизирована под действующие правила, что любое изменение правил сделает их бесполезными.

ЧАСТЬ III

**МЕНЯЕМ СИСТЕМЫ
И СВОЙ ВЗГЛЯД НА МИР**

Глава 6

ТОЧКИ ВЛИЯНИЯ. СПОСОБЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИСТЕМУ

Компания IBM объявила о новом сокращении 25 тыс. рабочих мест и значительном снижении расходов на исследования. Расходы на исследования и разработку новых технологий в следующем году будут сокращены на миллиард долларов. Председатель совета директоров компании Джон Акерс сказал, что IBM по-прежнему остается мировым и промышленным лидером в области исследований, но он считает, что будет уделять основное внимание «сферам развития», имея в виду сферу обслуживания, которая требует меньше капиталовложений, хотя и прибыль в этом случае в долгосрочной перспективе будет меньше.

Лоуренс Малкин, International Herald Tribune, 1992¹

Итак, перед нами стоит вопрос: как изменять структуру систем, чтобы системы производили больше того, чего мы хотим от них получить, и меньше — чего не хотим. Джей Форрестер, имея за плечами опыт работы с системными проблемами корпораций, любит говорить, что обычный менеджер способен очень точно определить текущую проблему, найти структуру в системе, которая ее вызвала, и догадаться, где искать точки воздействия — те области в системе, произведя даже маленькое изменение в которых, можно вызвать существенное изменение в поведении системы в целом.

Идея точек влияния, используемая в системном анализе, не уникальна. Вспомните различные легенды и сказания: серебряная пуля, чудесное исцеление, секретный ход, магический пароль, одинокий герой, который меняет ход истории, способ прорваться или перепрыгнуть через огромные препятствия практически без затраты сил. Мы хотим

не только верить в то, что существуют точки влияния, но знать, где они находятся и как ими управлять. Точки влияния — это точки силы.

Но Форрестер обращает внимание еще и на то, что хотя люди, имеющие дело с системами, зачастую интуитивно знают, где найти точку влияния, но очень часто происходит так, что после воздействия на нее изменения в системе происходят в *неверном направлении*.

Классический пример такого проявления интуиции: мое собственное знакомство с системным анализом — модель *World**. Чтобы ответить на вопрос Римского клуба — международной группы бизнесменов, государственных деятелей и ученых — о том, как взаимосвязаны основные глобальные проблемы — нищета и голод, разрушение окружающей среды, истощение ресурсов, ухудшение состояния городской среды, безработица — и как они могут быть решены, Форрестер создал компьютерную модель и нашел ту область, на которую необходимо воздействовать, — рост². Не только рост населения, но и экономический рост. Чтобы обеспечить рост, приходится нести издержки, но мы видим выгоду и обычно не учитываем цену, которую приходится за это платить. Цена высока: нищета и голод, разрушение окружающей среды и так далее — весь перечень проблем, которые мы пытаемся решить с помощью роста! Тот рост, что нам нужен, — намного более медленный, он должен происходить по-разному, а в некоторых случаях лучше полное отсутствие роста или даже отрицательный рост.

Мировые лидеры правильно укрепились во мнении, что через экономический рост можно решить практически все проблемы, но только они *прикладывают все силы, направляя его не в ту сторону*.

Еще один из классических примеров Форрестера — исследование динамики развития города, опубликованное в 1969 году, в котором показано, что субсидирование мало доходной недвижимости — одна из точек влияния на систему³. Чем меньше субсидий выдается в этой сфере, тем лучше для города, даже для жителей с низким доходом. Эту

* World — многоуровневые компьютерные модели системной динамики мира. Первая модель была разработана в 1970 году по инициативе Аурелио Печчеи, основателя Римского клуба. Основным автором стал Джей Форрестер. Потом общее руководство созданием моделей перешло к Деннису Медоузу. Кроме него в проекте принимали участие Донелла Медоуз, Йорген Рандерс и Уильям Беренс III. 13 марта 1972 года широкой публике был впервые представлен коллективный труд группы разработчиков модели World-3, получивший название «Пределы роста. Доклад Римскому клубу».

модель разработали в то время, когда национальная политика требовала массово внедрять проекты жилищного строительства для граждан с низким доходом, и Форрестера высмеяли. С тех пор многие подобные дома для бедных снесли, и так произошло далеко не в одном городе.

Противоречащие логике и здравому смыслу — так Форрестер описывал сложные системы. Часто точки влияния не удается выявить интуитивно. Или, если мы их обнаружили, мы начинаем слишком часто нажимать на них, вынуждая систему двигаться в обратном направлении, систематически обостряя любые проблемы, которые пытаемся решить.

Я не нашла быстрых или простых формул, позволяющих найти точки влияния в сложных динамических системах. Дайте мне несколько месяцев или лет, и я их отыщу. И я на собственном горьком опыте убедилась, что, когда я их обнаружу, вряд ли мне кто-то поверит. Скорее всего, находка окажется слишком уж неожиданной и парадоксальной. И это обстоятельство заставляет опускать руки — особенно тех, кто пытается не просто понять функционирование сложных систем, но и сделать мир лучше.

Именно в момент такого разочарования я составила список областей системы, допускающих вмешательство. Это произошло на встрече, посвященной вопросу о последствиях различных режимов глобальной торговли. Я передаю этот неидеальный список в ваше полное распоряжение и прошу оставить пространство для его эволюции. То, что накопилось во мне в тот день, — следствие многолетнего тщательного анализа различных типов систем, проведенного разными умными людьми. Но сложные системы недаром так называются. В работе с ними обобщения опасны. Не относитесь к дальнейшему тексту как к истине в последней инстанции; это не рецепт поиска точек влияния. Скорее это предложение подумать над тем, как можно изменять системы.

Поскольку системы постоянно усложняются, их поведение становится неожиданным. Подумайте о своем текущем банковском счете. Вы выписываете чеки и кладете деньги на депозит. Небольшие суммы за счет начисления процентов продолжают накапливаться (если у вас достаточно большая сумма на вкладе), а за обслуживание — списываться. Если у вас нет денег на счете, будет расти долг. Теперь представьте,

что таких счетов — тысячи, а банк выдает кредиты, используя все эти объединенные колеблющиеся депозиты, которые через тысячи банков связаны с Федеральной резервной системой. Полагаю, вы поняли, как простые накопления и потоки могут создавать системы настолько динамичные и сложные, что вникнуть в них совсем не просто.

Вот почему точки влияния часто трудно найти интуитивно. Что ж, достаточно теории систем, переходим к списку.

12. Постоянные и переменные величины: субсидии, налоги, нормативы

Подумайте о наполнении ванны водой — пример, приведенный в главе 1. Интенсивность потока и скорость его изменения записываются численными значениями. Может быть, поворачивать краны очень трудно, поэтому требуется время, чтобы открыть воду или закрыть ее. Может быть, слив засорен и способен пропускать только слабый поток, вне зависимости от того, закрыт он или открыт. Может быть, напор воды из крана не уступит по силе струе из пожарного шланга. Некоторые из этих параметров физически стабильны и не изменяются, но многие из них не только могут варьироваться, но и являются хорошо известными точками влияния.

Рассмотрим государственный долг. Хотя мы считаем его запасом, по сути это денежная дыра. Скорость, с которой она увеличивается, называется годовым дефицитом. Доход от налогов сужает дыру, государственные расходы расширяют. Конгресс и президент проводят большую часть времени в спорах о множестве переменных, которые увеличивают (затраты) и уменьшают (доход от налогов) размер или глубину дыры. Поскольку эти потоки связаны с нами, избирателями, переменные имеют политический окрас. Но несмотря на все эти танцы с бубном и независимо от того, какая политическая партия находится у власти, денежная дыра уже много лет увеличивается, только с разной скоростью.

Чтобы регулировать уровень загрязнения воздуха, которым мы дышим, правительство устанавливает параметры, называемые стандартами качества атмосферного воздуха. Чтобы обеспечить постоянный

запас леса (или определенный денежный поток для лесозаготовительных компаний), устанавливаются годовые объемы заготовки леса. Корпорации регулируют такие параметры, как ставка заработной платы и цена продукта, чтобы определить уровень прибыли с учетом нижнего порога, так же как вы хотите, чтобы запас воды у вас в ванне не опускался ниже определенного уровня.

Площади земель, ежегодно остающихся на консервацию. Минимальная заработная плата. Суммы, которые мы тратим на исследования СПИДа или бомбардировщиков-невидимок. Комиссия за обслуживание, снимаемая банком с вашего счета. Все это аналогично открыванию и закрыванию кранов. Кстати, точно по такому же принципу увольняют людей и нанимают новых, в том числе и политиков. Если краны крутят разные руки, скорость поворота каждого из них может меняться, регулируя интенсивность потока воды. Но если одни и те же старые краны, подключенные к одной и той же старой системе, открывают и закрывают в соответствии с устаревшей информацией, ранее выбранными целями и правилами, то поведение системы не должно сильно измениться. Выборы Билла Клинтона определенно отличались от выборов Джорджа Буша-старшего, но не очень сильно, учитывая, что каждый президент действует в рамках одной и той же политической системы. (Изменение способа движения денег в этой системе оказало бы на выборы гораздо большее влияние, но не буду опережать события.)

Численные значения, величины потоков — за ними мало что стоит. Разбираться с деталями — все равно что переставлять шезлонги на «Титанике». Вероятно, 90%, нет — 95%, нет — 99% нашего внимания фокусируется на значениях переменных, но в них заложено не так уж много способов воздействия на систему. Дело не в том, что переменные не важны, — они могут быть важны, особенно в краткосрочной перспективе или для индивида, который находится непосредственно в потоке. Людей волнуют такие переменные, как налоги и минимальная заработная плата, и поэтому они сражаются за них в жестоких битвах. Но *изменение этих переменных редко что-то меняет в поведении экономической системы страны*. Если система находится в состоянии застоя, изменение переменных вряд ли ее запустит. Если в ней происходят

резкие изменения, не стабилизирует ее. Если выходит из-под контроля, не остановит этот процесс.

Независимо от того, кепку с чьим именем вы носите во время предвыборной кампании, это не приведет в порядок политическую систему. Федеральная резервная система, играющая с величиной процентной ставки, не смогла прервать экономический цикл. (Мы всегда забываем об этом, когда в экономике наступает подъем, и испытываем шок во время спадов.) Прошли десятилетия после введения самых строгих стандартов регулирования загрязнения воздуха в мире, и воздух Лос-Анджелеса стал менее грязным, но он не стал чистым. Если тратится больше средств на полицию, это не значит, что люди перестают совершать преступления.

Поскольку я собираюсь привести ряд примеров, которые показывают, что переменные все-таки могут быть точками влияния на систему, позвольте сделать здесь существенную оговорку. Переменные показатели становятся точками влияния, когда могут воздействовать на какой-либо из параметров в других пунктах моего списка. Например, процентные ставки или коэффициенты рождаемости влияют на усиливающие циклы обратной связи. Цели системы — это показатели, которые могут оказать сильное влияние.

Критически важные показатели такого рода не настолько широко распространены, как иногда кажется людям. Большинство систем эволюционировало или исходно было спроектировано таким образом, чтобы держаться подальше от диапазона критических переменных. Как правило, цифры не стоят пота, пролитого ради них.

Вот история, которую друг нашел в интернете и переслал мне, она хорошо иллюстрирует эту точку зрения:

«Когда я стал домовладельцем, я потратил много времени и сил, пытаюсь понять, какая арендная плата за сдаваемое жилье будет „справедливой“.

Я попытался рассмотреть все переменные, в том числе относительные доходы моих арендаторов, собственные доходы и потребности, текущие расходы на содержание жилья и капитальные затраты, справедливость и процентную долю ипотечных платежей, наконец, стоимость своего труда в доме и так далее.

Все это привело меня в абсолютное никуда. Наконец я пошел к финансовому консультанту. И вот что она мне сказала: „Вы действуете так, как будто есть тонкая область, в пределах которой арендная плата справедлива, а в любой точке выше или ниже вы будете чувствовать себя обманутым. Но фактически существует большое серое пространство, в котором и вы, и арендатор можете заключить хорошую или, по крайней мере, справедливую сделку. Перестаньте волноваться и продолжайте радоваться жизни“»⁴.

11. Буферы: соотношение величины стабилизирующих запасов и потоков

Представьте огромную ванну, которая очень медленно заполняется водой, и так же медленно вода из нее вытекает. Теперь представьте маленькую ванну, но потоки воды, втекающие и вытекающие из нее, очень сильные и быстрые. В этом и состоит различие между озером и рекой. Стихийные бедствия, вызванные разливами рек, случаются чаще, чем наводнения от разлива озер, поскольку большие по сравнению с входящими и исходящими потоками запасы более устойчивы, чем небольшие. В химии и других областях знаний большой стабилизирующий запас называют буфером.

Именно благодаря тому, что буферы обладают стабилизирующей способностью, вы держите деньги в банке, а не живете только на поток наличности, которая проходит через ваш карман. Именно поэтому магазины имеют склады вместо того, чтобы требовать поступления очередных поставок каждый раз, когда клиенты раскупили и унесли все товары домой. Именно поэтому мы должны поддерживать для животных, находящихся под угрозой исчезновения, более крупную популяцию, чем минимальная необходимая для воспроизводства. Почвы в восточной части Соединенных Штатов более чувствительны к кислотным дождям, чем почвы на западе, потому что в них нет больших буферов из кальция для нейтрализации кислоты.

Часто можно стабилизировать систему, увеличив емкость буфера⁵. Но если буфер слишком велик, система теряет гибкость. Она начинает реагировать слишком медленно. Соорудить и обслуживать большие

буферы некоторых систем, например водохранилища или материально-производственные запасы, достаточно дорого. Поэтому в предпринимательстве появилась концепция «точно в срок», когда товар не хранят на складе, а сразу доставляют клиенту. Иногда чувствительность к колебаниям или ликвидация последствий непредвиденных обстоятельств обходятся дешевле (во всяком случае, для некоторых компаний), чем постоянные затраты на содержание и обслуживание складов с запасами. К тому же компании со сведенными к минимуму складами могут более гибко реагировать на изменяющийся спрос.

Иногда воздействовать на систему и достигнуть цели можно, изменяя размер буферов. Но буферы обычно представляют собой физические объекты, изменять величину которых нелегко. Увеличение способности почв поглощать кислоту на Востоке США не приведет к уменьшению вреда от кислотных дождей. Объем водохранилища огромен, но буквально заточен в бетоне. Поэтому буферы в этом списке точек влияния находятся на одной из последних строк.

10. Структура запасов и потоков: физические системы и их точки пересечения

В структуре системы водоснабжения запасы, потоки воды и их физическое расположение могут оказывать огромное влияние на работу всей системы. Дорожная система Венгрии спланирована и построена таким образом, что проехать из одной части страны в другую можно только через Будапешт, соответственно, в городе значительно вырос уровень загрязнения воздуха и появились пробки. Исправить эту ситуацию, только взяв под контроль состав воздуха, поставив дополнительные светофоры или введя ограничение скорости, вряд ли получится.

Единственный способ исправить систему, которая спроектирована с ошибками, — это перестроить ее, если возможно. Эмори Ловинс и его команда из Института Роки-Маунтин*, изучая проблему энергосбережения, совершили чудо. Они получили великолепные результаты, просто выпрямив изогнутые трубы и увеличив диаметр

* Некоммерческая организация с головным офисом в Колорадо, которая занимается исследованиями в области возобновляемой энергетики.

слишком маленьких. Если бы мы осуществили аналогичные модификации во всех зданиях Соединенных Штатов, то могли бы закрыть многие электростанции.

Часто физическое восстановление — самый медленный и самый дорогой способ что-то изменить в системе. Некоторые структуры, имеющие запасы и потоки, изменить нельзя вообще. «Бэби-бум» — всплеск рождаемости — в США сначала вызвал увеличение нагрузки на систему образования начальной школы, затем на средние школы, затем на колледжи, затем на рабочие места и на жилье, и теперь мы решаем проблему пенсионного обеспечения этого поколения. Мы мало что можем с этим поделать, потому что пятилетние дети становятся шестилетними, а 60-летние взрослые становятся 65-летними пенсионерами. Этот процесс предсказуем, и остановить его нельзя.

То же самое можно сказать и о времени жизни молекул хлорфторуглеродов, разрушающих озоновый слой, о скорости, с которой загрязняющие вещества вымываются из водоносных горизонтов, о том, что замена неэффективного автопарка занимает от десяти до двадцати лет.

Физическая структура в системе очень важна, но редко становится точкой влияния, потому что в ней, как правило, слишком сложно что-то изменить. Но если система правильно спроектирована, точки влияния заложены в систему. Когда система уже выстроена, воздействовать на нее можно, лишь понимая ее ограничения и выявляя узкие места. Использовать систему нужно с максимальной эффективностью, не допуская отклонений, которые могут снизить ее производительность.

9. Запаздывания: время отклика на изменение системы

Запаздывания в циклах обратной связи — основной фактор, определяющий поведение системы. Именно они вызывают колебания системы. Если для достижения своей цели вы пытаетесь пополнить запасы (например, материально-производственные запасы на складе), но получаете информацию о состоянии запасов с задержкой, то не приближаетесь к ней. Точно так же и в другом случае: информация поступает вовремя, но вы на нее не реагируете или реагируете с запаздыванием.

Например, чтобы построить электростанцию, понадобится несколько лет, срок ее эксплуатации — тридцать лет. При таких запаздываниях невозможно построить необходимое количество электростанций, чтобы обеспечить быстро меняющийся спрос на электроэнергию. Прилагая огромные усилия и выделяя средства на прогнозирование, электроэнергетическая отрасль почти во всем мире все равно подвергается сильным колебаниям: не реализует избыточные мощности или испытывает нехватку ресурсов. Система просто не в состоянии реагировать на краткосрочные изменения, когда в ней происходят такие длительные запаздывания. Вот почему огромные системы централизованного планирования, такие как в Советском Союзе или *General Motors*, обязательно функционируют плохо.

Зная, что запаздывания важны, мы видим их повсеместно. Например, разница между временем, когда загрязняющее вещество сбрасывается на землю, и тем, когда оно попадает в грунтовые воды; или промежуток между рождением ребенка и временем, когда этот ребенок сам готов стать родителем; или период между первым успешным испытанием новой технологии и моментом ее внедрения; или время, затрачиваемое на то, чтобы цена адаптировалась к дисбалансу спроса и предложения.

Решающее значение имеет *запаздывание в скорости изменения запасов*, управляемых обратной связью. Слишком короткие вызывают резкие колебания, амплитуда которых скачкообразно меняется в ответ на задержку ответа. Слишком большие запаздывания, в зависимости от их длительности, вызывают затухающие, непрерывные или устойчивые колебания. Длительные задержки в системе с пороговым значением опасны тем, что система перейдет его и выйдет из строя.

Я бы назвала длительность запаздывания одной из самых эффективных точек влияния, если бы не тот факт, что задержки не так легко изменить. Процессы занимают столько времени, сколько нужно. Вы не измените существенно продолжительность строительства или время формирования основной части капитала, не повлияете на процесс взросления ребенка или на скорость роста леса. Обычно проще *замедлить скорость изменения*, чтобы неизбежные запаздывания обратной связи не вызывали столько проблем. Вот почему темпы роста

в моем списке занимают более высокую строку, чем длительность запаздываний.

И именно поэтому в модели *World* Форрестера замедление экономического роста более важно, чем ускорение темпов научно-технического развития и свободные рыночные цены. Все это лишь попытка ускорить темп корректирования работы системы. Но все эти физические проявления запасов капитала в мире — заводы и котельные, воплощенные в бетоне работающие технологии — могут меняться только со своей скоростью, даже оказавшись лицом к лицу с новыми ценами и новыми идеями, а цены и идеи тоже не меняются мгновенно, что уж говорить о мировой культуре. Замедление системы — это одна из точек воздействия. Лучше воспользоваться ею и замедлить систему, чтобы технологии и цены могли соответствовать системе, чем пытаться избавиться от запаздываний.

Если в вашей системе есть запаздывание, на которое можно повлиять, имейте в виду, что это вызовет серьезные последствия. Осторожно! Убедитесь, что изменение проводится в правильном направлении! (Например, сокращение объема информации и запаздываний денежных переводов на финансовых рынках приведет к бешеному бегу по кругу.)

8. Балансирующие циклы обратной связи: зависимость силы обратной связи от воздействий внешних условий, которые она пытается корректировать

Теперь перейдем от рассмотрения физической составляющей системы к ее информационной и управляющей составляющим, среди которых можно найти больше точек влияния на систему.

Балансирующие циклы обратной связи встречаются во всех системах. И в системах живой природы, которая их развивает, и в социуме, где люди изобретают их для управления важными запасами и удержания в безопасных границах. Балансирующий цикл в системе термостата — классический пример. Его цель — поддерживать запас системы, называемый «температурой помещения», на постоянном уровне, близком к желаемому. У каждого балансирующего цикла есть

цель (ее задают настройки термостата), устройство, осуществляющее мониторинг и подающее сигнал в случае отклонения от цели (термостат), и ответный механизм (обогреватель и/или кондиционер, вентиляторы, насосы, трубопроводы, топливо и так далее).

В сложной системе обычно имеется множество балансирующих циклов обратной связи, которые она может привести в действие, поэтому система способна корректироваться самостоятельно в зависимости от разных условий и влияний. Некоторые из таких циклов могут быть неактивными большую часть времени — как, например, система аварийного охлаждения на атомной электростанции или способность тела потеть или дрожать, чтобы поддерживать температуру, — но наличие таких циклов критично, если возникает необходимость в течение длительного времени поддерживать нормальную работу системы.

Одна из больших ошибок заключается в том, что мы убираем из системы «аварийные» ответные механизмы, потому что зачастую они не используются и кажутся дорогими. В краткосрочной перспективе их отсутствие или отключение никак не проявляется. В долгосрочной — кардинально ограничивает диапазон условий, в которых система существует. Один из самых душераздирающих примеров подобных действий — посягательство на места обитания видов, находящихся под угрозой исчезновения. Другой пример — наше пренебрежительное отношение к самим себе, когда мы не оставляем себе времени ни на отдых, ни на восстановление, ни на общение и медитацию.

Сила балансирующего цикла обратной связи проявляется в способности удерживать величину определенного запаса на уровне или вблизи ее цели (это зависит от ее параметров и связей), в точности и скорости мониторинга, быстроте и силе ответа, направлении и интенсивности корректирующего потока. Иногда точки влияния на систему следует искать среди этих параметров.

Посмотрите на рынки, которые служат хорошим примером систем с балансирующим циклом обратной связи, перед которыми преклоняется масса экономистов. Они действительно могут быть примером чудесной самокоррекции, так как цены меняются таким образом, чтобы регулировать спрос и предложение, поддерживая их в равновесии. Цена — главная составляющая информации, влияющей как

на продавцов, так и на покупателей. Чем дольше цена остается ясной, недвусмысленной, актуальной и отвечающей действительности, тем более слаженно будут действовать рынки. Цены, которые отражают полную стоимость продукта, расскажут покупателям, сколько на самом деле они могут себе позволить, и привлекут эффективных производителей. Компании и государства чрезвычайно озабочены точками влияния, заложенными в ценах, но они слишком часто сознательно направляют их в неправильное русло субсидиями, налогами и другими мерами, запутывающими систему.

Подобные усовершенствования ослабляют силу обратной связи рыночных сигналов, искажая информацию в свою пользу. *Реальные* способы достичь цели в этой ситуации — это удерживать участников от таких усовершенствований. Следовательно, на игровом поле необходимы антимонопольное законодательство, законы, регулирующие достоверность рекламы, способы компенсации затрат на защиту окружающей среды (например, введение налога на загрязнение), отказ от неуместных субсидий и другие способы выравнивания рынка.

Усиление и возможность сделать прозрачными такие рыночные сигналы, как учет затрат по полной себестоимости, никуда не денутся в наши дни. Но становятся более слабыми другие балансирующие циклы обратной связи, в число которых входит демократия. Эту великую систему изобрели, чтобы между людьми и их правительством находился саморегулирующийся цикл обратной связи. Люди, знающие, чем занимаются избранные ими представители, реагируют, голосуя за или против них. Этот процесс зависит от свободного, полного потока непредвзятой информации, курсирующего между избирателями и лидерами. Миллиарды долларов тратятся на то, чтобы ограничить, исказить эти информационные потоки и доминировать над ними. Дайте людям, желающим исказить сигналы рыночных цен, возможность влиять на власти, позвольте дистрибьюторам информации проявить корысть, и ни один из важных балансирующих циклов обратной связи не будет работать хорошо. И рынок, и демократия рухнут.

Сила балансирующего цикла обратной связи соотносится с воздействием, которое она призвана корректировать. Если воздействие усиливается, то и сила обратной связи также растет. Система термостата

работает нормально и в холодный зимний день, но если открыть все окна, то его мощности не хватит на то, чтобы компенсировать перепад между температурой вне помещения и желаемой температурой. Демократия работает лучше без применения силы, используемой для промывания мозгов централизованными массмедиа. Традиционного контроля над рыбным промыслом хватало до тех пор, пока эхолоты, дрейфтерные неводы и другие технологии не дали возможность выловить всю рыбу нескольким участникам. Мощь крупной индустрии требует ответной реакции большого правительства, чтобы держать все под контролем. Глобальная экономика делает важным глобальное регулирование.

К примерам усиления балансирующего цикла обратной связи, которое улучшает способность системы к саморегулированию, можно отнести:

- Профилактическую медицину, физические упражнения и хорошее питание, которые укрепляют способность организма бороться с болезнями.
- Комплексную борьбу с вредителями, использующую деятельность естественных хищников, охотящихся на вредителей.
- Закон о свободе информации, ограничивающий право правительства на секретную деятельность.
- Системы мониторинга и контроля, позволяющие отслеживать урон, наносимый окружающей среде.
- Защиту свидетелей.
- Компенсационные сборы, налоги на загрязнение и экологические облигации, которые возвращают обществу скрытые затраты, послужившие выгоде частных лиц.

7. Усиливающий цикл обратной связи: возрастание силы воздействия цикла

Балансирующий цикл обратной связи саморегулируется; усиливающий цикл обратной связи сам себя усиливает. Чем больше он работает, тем больше возрастает его сила, дающая ему возможность работать еще больше, сдвигая поведение системы в одном направлении. Чем больше людей подхватывают грипп, тем больше других людей от них

заражаются. Чем больше детей рождается, тем больше будет взрослых, у которых родятся еще дети. Чем больше у вас денег на банковском счете, тем больше выплачиваемые вам проценты и тем больше общая сумма. Чем больше почва подвержена эрозии, тем меньше растений на ней вырастет, тем меньше корней и листьев будет оберегать землю от дождя, тем больше почва будет истощаться. Чем больше высокоэнергетических нейтронов имеют критическую массу, тем чаще происходит их столкновение с ядром и тем больше образуется новых высокоэнергетических нейтронов, приводящих к ядерному взрыву или разрушению ядерного реактора из-за его расплавления.

Усиливающий цикл обратной связи — источник роста, взрыва, эрозии и разрушения в системах. Система с неконтролируемым усиливающим циклом обратной связи в конечном счете уничтожит сама себя. Поэтому таких систем мало. Обычно в какой-то момент начинает работать балансирующий цикл. Эпидемия закончится либо потому, что все, кто мог, заразились, либо потому что власти предпримут решительные шаги, чтобы избежать распространения болезни. Уровень смертности достигнет уровня рождаемости или люди увидят последствия бесконтрольного роста населения и станут меньше рожать. Почва размоется до коренных пород, и спустя миллион лет коренные породы сформируют новую почву, либо люди остановят чрезмерное стравливание пастбища, построят противозерозионные плотины, высадят деревья и покончат с эрозией.

Первая группа примеров показывает, что произойдет, если усиливающий цикл обратной связи будет продолжать работать, вторая — что случится, если вмешаться в работу системы и повлиять на способность цикла самостоятельно усиливаться. Уменьшение коэффициента усиления усиливающего цикла — то есть замедление его роста — обычно более эффективный способ воздействия на систему, чем усиление балансирующего цикла, и поступить так более предпочтительно, чем дать возможность системе действовать самостоятельно.

Темпы роста населения и экономического роста в модели *World* — важные точки влияния, потому что, замедляя рост этих показателей, мы получаем время на запуск множества балансирующих циклов через технологии, рынки и другие способы адаптации (каждый из которых имеет свои ограничения и запаздывания). Это напоминает ситуацию,

когда во время слишком быстрой езды на автомобиле проще снизить скорость, вместо того чтобы устанавливать более надежные тормоза или обращаться к автопилоту.

В обществе существует множество усиливающих циклов обратной связи, которые вознаграждают победителей соревнований ресурсами, дающими возможность заполучить новый, еще больший выигрыш, — ловушка «успех к успешному». Богатые люди получают проценты, бедные им их выплачивают. Богатые платят бухгалтерам и подкупают политиков, снижающих для них налоги, бедные не могут себе это позволить. Богатые оставляют своим детям наследство и дают им хорошее образование. Программы, направленные против бедности, — слабые балансирующие циклы, которые пытаются противостоять этим мощным усиливающим циклам. Гораздо эффективнее в таких случаях было бы ослабить усиливающие циклы. Например, ввести прогрессивный налог на доход, налог на наследство и внедрить высококачественное образование для всех. Если богатые могут влиять на правительство, чтобы ослабить, а не усилить эти меры, то само правительство переходит от балансирующей структуры к усиливающей, которая дает успех только уже успешным.

Точки влияния на рождаемость, процентные ставки, интенсивность эрозии почвы, систему «успех к успешному» можно найти в любом месте, в котором есть модель «чем больше ты имеешь, тем больше у тебя шансов получить еще больше».

6. Информационные потоки: структуры, в которых не все имеют доступ к информации

В главе 4 вы познакомились с историей о том, как в голландских домо-владениях на потребление электричества влияет место установки электросчетчиков. При прочих равных условиях в тех домах, в которых счетчик установлен на видном месте в прихожей, расход энергии на 30% меньше.

Мне нравится эта история, потому что это пример сильной точки влияния на информационную структуру системы. В этом случае мы не меняем настройку параметров, не происходит усиления или

ослабления существующего цикла обратной связи. Это новый цикл, обеспечивающий обратную связь там, где раньше ее не было.

Отсутствие информационных потоков — одна из самых частых причин неисправности системы. Добавление или восстановление информации оказывает сильное влияние на работу системы, и зачастую осуществить это проще и дешевле, чем восстанавливать материальную инфраструктуру. Причина трагедии системы ресурсов общего пользования, разрушающей мировую коммерческую рыболовную отрасль, в слабой обратной связи между контролем над популяцией рыбы и решениями инвестировать в строительство рыболовных судов. Вопреки мнению экономистов, *цена* на рыбу не обеспечивает необходимую обратную связь. Когда популяция рыб становится меньше, цена на добычу подскакивает, и становится более выгодным выловить всю уцелевшую рыбу. Это пример извращенной обратной связи — усиливающего цикла обратной связи, который приводит к катастрофе. Нужна не информация о цене, а информация о количестве рыб в популяции.

Важно, чтобы восстановленная обратная связь доставляла информацию в нужное место и в явной форме. Возьмем другой пример трагедии общин. Недостаточно предупредить всех жителей, пользующихся колодцем, о падении уровня грунтовых вод. Это приведет к тому, что люди ринутся выкачивать последнюю воду из колодца. Более эффективно постепенно повышать цену на воду тогда, когда скорость откачки воды превысит скорость ее возобновления.

Нетрудно найти и другие наглядные примеры обратной связи. Представьте, что налогоплательщики будут сами определять, на что государство потратит их налоги (высшая степень демократии!). Представьте, что любой город или компания, устанавливающие водозаборную трубу в реку, обязаны поставить ее *ниже* по течению, чем трубу для выброса сточных вод. Представьте, что любое частное или должностное лицо, которое решает вложиться в ядерную энергетику, должно будет размещать отходы этого предприятия на своем газоне. Представьте, что политиков, развязывающих войну, призовут на линию фронта (это известный пример).

У некоторой части людей есть сложившаяся тенденция избегать ответственности за свои поступки. Именно поэтому мы часто видим

отсутствие обратной связи. Именно поэтому такие точки влияния популярны у обычных людей и непопулярны у властей. Этот способ воздействия эффективен, если есть силы заставить власти им воспользоваться (либо обойти власти, чтобы добиться своего).

5. Правила: поощрения, наказания, ограничения

Правила системы определяют ее сферу деятельности и содержание, ее границы и степень свободы. Не убий. Каждый человек имеет право на свободу слова. Договоренности должны исполняться. В США президент исполняет свои обязанности четыре года и не может избираться более чем на два срока. В бейсболе девять человек играют в команде, надо дотронуться до каждой базы, три страйка — и аут. Если вас поймали при ограблении банка, вы сядете в тюрьму.

Когда Михаил Горбачев пришел к власти в Советском Союзе, он объявил гласность и начал в стране перестройку. В Советском Союзе произошли огромные изменения.

Конституции — самые сильные примеры социальных правил. Физические законы, например второй закон термодинамики, — законы абсолютные, не важно, понимаем мы их или нет и нравятся они нам или нет. Законы, наказания, система поощрений и неофициальные общественные соглашения — правила, выстроенные в порядке убывания их значимости.

Чтобы показать силу правил, я прошу моих студентов придумать альтернативные варианты правил для колледжа. Предположим, ученики ставят оценки учителям или оценивают друг друга. Или, допустим, нет оценок. Ты приходишь в колледж, когда хочешь чему-то научиться, и уходишь, когда получаешь нужное знание. Или, например, что срок пребывания в должности профессора зависит от его способности решать проблемы в реальном мире, а не от количества публикаций. Допустим, оценки получает целый класс, а не отдельный студент.

Если мы попытаемся представить себе измененные правила и то, как это повлияет на нас, то сможем понять силу правил. Они — сильные точки влияния. Власть над правилами — реальная сила. Вот почему образуется лобби, когда конгресс создает новые законы, и вот

почему Верховный суд, интерпретирующий законы и дающий определения — то есть создающий правила, по которым устанавливаются новые правила, — имеет бóльшую власть, чем конгресс. Если вы хотите понять главные причины сбоев в работе системы, обратите внимание на законы и на тех, кто обладает властью над ними.

Вот почему мое понимание работы систем, основанное на интуиции, стало подавать мне тревожные сигналы, когда мне объяснили новую систему мировой торговли. Это система с правилами, созданными корпорациями, поддерживаемыми корпорациями, в интересах корпораций. Такие правила исключают практически любую возможность какой-либо обратной связи с другими секторами общества. Бóльшая часть встреч была закрыта даже для прессы (никаких информационных потоков, никакой обратной связи). Это затягивает нации в усиливающие циклы, «тянущие на дно», они соревнуются друг с другом в ослаблении экологических и социальных гарантий ради привлечения новых инвестиций. Это рецепт раскручивания разнузданного цикла «успеха к успешному», и это будет продолжаться до тех пор, пока корпорации не соберут в своих руках огромную власть и не создадут громоздкую систему централизованного планирования, чем и уничтожат сами себя.

4. Самоорганизация: возможность добавлять, изменять или развивать структуры системы

Самая потрясающая способность биологических и некоторых социальных систем заключается в том, что они могут полностью измениться, создавая совершенно новые структуры и способы поведения. В биологических системах эта способность называется эволюцией. В экономике — техническим прогрессом или социальной революцией. На языке профессионалов-системщиков это называется самоорганизацией.

Самоорганизация означает изменение любого аспекта системы из перечисленных ниже: добавление совершенно новых физических структур, таких как мозги, или крылья, или компьютеры, добавление новых балансирующих или усиливающих циклов или новых правил. Способность к самоорганизации — самое сильное проявление устойчивости.

Система, которая способна развиваться, переживает практически любое воздействие. Иммунная система человека начинает вырабатывать новые ответные реакции на некоторые типы негативного влияния, с которыми она раньше не сталкивалась. Человеческий мозг способен освоить новую информацию и рождать совершенно новые мысли.

Способность к самоорганизации кажется такой удивительной, что мы склонны смотреть на нее как на нечто загадочное, чудесное, посланное небесами. Экономисты часто относятся к технологиям как к магии: нечто появляется из ниоткуда, ничего не стоит, но благодаря этому продуктивность увеличивается на какой-то постоянный процент каждый год. Веками люди воспринимали впечатляющее разнообразие природы с таким же благоговением. Только божественный создатель мог сотворить такое.

Дальнейшее исследование самоорганизующихся систем показывает, что божественному создателю, если таковой есть, не обязательно было творить чудеса эволюции. От него требовалось лишь написать невероятно умные *правила самоорганизации*. Эти правила в основном регулируют, как, где, при каких условиях система может внести в себя новые элементы или избавиться от старых. Как показал анализ сотен самоорганизующихся компьютерных моделей, сложные и восхитительные схемы могут развиваться, действуя в соответствии с довольно простым набором правил. Генетический код внутри ДНК, который является основой всей биологической эволюции, содержит всего четыре буквы, складывающиеся в слова по три буквы. Эта модель и правила повторения и перестановки не менялись примерно в течение трех миллиардов лет, но в результате возникло невообразимое разнообразие неудачных и успешных саморазвивающихся существ.

Самоорганизация дает эволюции что-то вроде первичного сырья — изменчивый запас информации, из которой можно выбрать возможные варианты, а также выступает средством для экспериментов, выбора и тестирования новых моделей. Исходным сырьем для биологической эволюции послужила ДНК, когда одним из источников разнообразия становилась спонтанная мутация, а механизмом тестирования — изменяющаяся окружающая среда, в которой некоторые особи не выживают и не производят потомства. В сфере технологий первичное

сырье — фундаментальные знания, которые накапливаются и хранятся в библиотеках и головах ученых. Здесь источником разнообразия будет выступать творческое начало человека (каким бы оно ни было), а в качестве селективного механизма — готовность рынка платить за изобретение, или государства либо фондов вкладываться в него, или соответствие изобретения нуждам человечества.

Осознавая возможности самоорганизации систем, вы начинаете понимать, почему биологи преклоняются перед биоразнообразием даже больше, чем экономисты перед технологиями. Невероятно разнообразный запас вариаций ДНК, развивавшийся и накапливавшийся миллиарды лет, служит источником эволюционного потенциала, так же как научные библиотеки и лаборатории с университетами, в которых обучаются ученые, служат источником технологического потенциала. Позволить виду погибнуть — это преступление против системы. Это подобно случайному уничтожению всех копий выпусков некоего периодического научного издания или определенного типа ученых.

То же самое можно сказать и о человеческих культурах, ставших хранилищем всего разнообразия поведения, накопленного не за миллиарды, но за сотни тысяч лет. Это запас, из которого рождается социальная эволюция. К сожалению, люди ценят крайне важный эволюционный потенциал культур даже меньше, чем ценность каждой генетической вариации в популяции сурков. Я думаю, это происходит из-за того, что практически каждая культура верит в то, что она превосходит другие.

Засилье одной культуры подрывает обучаемость и уменьшает устойчивость. Любая система — биологическая, экономическая или социальная, — если она костенеет настолько, что теряет способность развиваться, если она пренебрегает экспериментами и уничтожает материал для инноваций, обречена на смерть на этой разнообразной планете.

То, где в этом случае находится точка влияния на систему, не вызывает сомнений. Но решение использовать ее непопулярно. Поощрение изменчивости и экспериментирования означает потерю контроля. Дайте тысяче цветов зацвести, и *что-нибудь* да случится. Кто этого хочет? Лучше обезопасить себя и надавить на эту точку в неправильном направлении, уничтожив биологическое, культурное, социальное и рыночное разнообразие.

3. Цели: предназначение или функция системы

Стремление к регулированию в результате разрушает разнообразие. Именно поэтому цель как предназначение системы — более чувствительная точка влияния, чем способность системы к самоорганизации. Если цель — взять под контроль одной системы централизованного планирования как можно больше чего-либо в мире (империя Чингисхана, церковь, Китайская Народная Республика, Wal-Mart*, Disney), то всё — материальные запасы и их движение, циклы обратной связи, информационные потоки и даже самоорганизующееся поведение — будет направлено на достижение этой цели.

Поэтому я не могу спорить о том, будут ли достижения генной инженерии «плохими» или «хорошими». Как и в случае любых технологий, это зависит от того, кто использует их и с какой целью. Единственное, что можно точно сказать: если корпорация прибегнет к таким технологиям с целью создать востребованный на рынке продукт, то цель у нее — отличная, но в этом случае будет работать совершенно другой селективный механизм и совершенно иное направление эволюции, чем все, что до этого было на планете.

На несложных примерах работы простой системы с одним-единственным циклом вы видели, что большинство балансирующих циклов обратной связи имеет внутри системы собственные цели: поддерживать уровень воды в ванне, комфортную температуру в помещении, величину запасов на складе, количество воды в водохранилище. Эти цели — важные точки влияния на элементы системы, и многие люди осознают это. Если вы хотите, чтобы в комнате стало теплее, надо изменить настройки термостата. Однако существуют более крупные и менее очевидные, но более важные точки влияния, и они действуют на всю систему сразу.

Даже люди внутри системы часто не понимают, какой общей цели они служат. «Чтобы получать прибыль», — так сказали бы представители многих корпораций, но это только правило, необходимое условие, чтобы быть в игре. В чем смысл игры? Чтобы увеличивать свою долю

* Wal-Mart — американская компания, управляющая крупнейшей в мире сетью оптовой и розничной торговли.

рынка, все больше и больше вовлекать весь мир — клиентов, поставщиков, регуляторов — под контроль корпорации, чтобы ее операции становились более защищенными от нестабильности. Джон Кеннет Гэлбрейт давно понял, что цель корпорации — поглотить все⁶. У раковой опухоли такая же цель. На самом деле это цель любой биологической популяции, но только ничего хорошего нельзя ожидать, если это стремление не подавляется балансирующим циклом обратной связи более высокого уровня, который никогда не позволит неожиданно появившейся сущности, управляемой усиливающим циклом, захватить мир. Цель сохранить конкуренцию на рынке должна перекрывать цель каждой отдельной корпорации уничтожить конкурентов. То же правило действует и в экосистемах: цель поддерживать равновесие и давать возможность для развития всех популяций должна быть выше, чем цель каждой популяции размножаться без ограничений.

Некоторое время назад я говорила, что замена игроков в системе — это невысокий уровень вмешательства, пока игроки находятся в старой системе. Исключение из этого правила работает только тогда, когда единственный игрок, завладев властью, получает возможность изменить цель всей системы. Я с удивлением думаю о том, что с приходом очередного лидера, будь то Дартмутский колледж или нацистская Германия, провозгласившего новую цель, сотни, а то и тысячи или миллионы прекрасно образованных, разумных людей начинают двигаться в другом направлении.

Именно это сделал Рональд Рейган, и мы видели, как это происходит. Незадолго до того, как Рейган занял свой пост, президент мог сказать: «Спрашивай не о том, что правительство может сделать для тебя, спроси, что ты можешь сделать для правительства», и никто бы не рассмеялся. Рейган говорил снова и снова, что цель не в том, чтобы люди помогали правительству, и не в том, чтобы правительство помогало людям, но в том, чтобы оно слезло с шеи народа. Кто-то поспорит, что большие изменения в системе и увеличение власти корпораций позволили ему это сделать. Однако изменение содержания публичного дискурса в США, да и во всем мире, при Рейгане стало свидетельством того, что разъяснение смысла, повторение, защита и утверждение новых целей — действительно точка влияния.

2. Парадигмы: мировоззренческие установки, на основе которых складывается система (формируются ее цели, структура, правила, запаздывания, параметры)

Приведем еще одно известное высказывание Джея Форрестера о системах: «Неважно, как написано налоговое законодательство страны. В умах людей существует общее представление о том, каким должно быть справедливое распределение налогов. Что бы ни говорил закон, через честные пути и нечестные, через сложности, мошенничество, освобождение от налогов или прибавление отчислений, через постоянное изменение правил фактические налоговые платежи будут подгоняться под общепринятую идею „справедливости“».

В сознании общества существуют общие невысказанные представления и убеждения о том, как устроен этот мир. Их не высказывают, потому что нет необходимости: все и так уже знают их. Деньги измеряют что-то реальное и имеют реальное выражение; поэтому люди, которым платят меньше, буквально стоят меньше. Рост — это хорошо. Природа — это запас ресурсов, конвертируемых для достижения человеческих целей. Эволюция остановилась с появлением *Homo sapiens*. Кто-то может «владеть» землей. Это лишь часть общепринятых допущений современной западной культуры, все они совершенно ошеломили другие культуры, для которых такие предположения совсем не очевидны.

Парадигмы — ключ к пониманию систем. На основе разделяемых всеми участниками социальных соглашений о природе реальности, формируются цели систем и информационные потоки, обратные связи, запасы и все остальное, что имеет отношение к системам. Никто не сказал об этом лучше, чем Ральф Уолдо Эмерсон:

«Каждая нация и каждый человек тотчас же окружают себя материальными предметами, которые точно соответствуют состоянию их мыслей. Посмотрите, как каждое правдивое или ошибочное утверждение, каждая мысль в чьей-нибудь голове воплощаются в формах общества, дома, города, языка, церемоний и газет. Посмотрите на нынешние идеи... взгляните, как

древесина, кирпичи, известь и камень обрели удобную форму, покорившись главной идее, царящей в умах многих людей. Из этого, конечно, следует, что едва заметное расширение идей может привести к разительным переменам во внешнем мире»⁷.

Древние египтяне строили пирамиды, потому что верили в загробную жизнь. Мы строим небоскребы, потому что считаем, что место в деловом центре города чрезвычайно важно. Будь то Коперник и Кеплер, доказавшие, что Земля не центр Вселенной, или Эйнштейн, предполагавший, что материя и энергия переходят друг в друга, или Адам Смит, утверждавший, что эгоистичные действия отдельных игроков рынка чудесным образом в совокупности способствуют общему благу, это люди, которым удалось вмешаться в систему через ее парадигмы. Они попали в точку влияния, через которую полностью изменили систему.

Можно возразить, что парадигмы изменить сложнее, чем что бы то ни было в системе, поэтому этот пункт должен быть в самом низу нашего списка, а не на втором месте. Но в процессе изменения установок людей нет ничего физически сложного или дорогого, и он даже не слишком медленный. У отдельного человека такое изменение может произойти за миллисекунду. Все, что нужно, это щелчок в голове, когда пелена спадает с глаз и складывается новое видение мира. Процесс изменения системы взглядов целого общества значительно сложнее и более длительный, общество сопротивляется посягательствам на общепринятые предубеждения сильнее, чем чему-либо еще.

Итак, каким способом можно изменить парадигму? Томасу Куну, написавшему эпохальную книгу о смене парадигм в науке, есть что сказать по этому поводу⁸. Необходимо обращать внимание на аномалии и неудачи в старых парадигмах. Необходимо продолжать уверенно говорить и действовать в рамках новой системы взглядов. Надо, чтобы приверженцы новой парадигмы заняли посты, на которых общество могло бы их видеть, и имели реальную власть. Не стоит тратить время на ретроградов, лучше работать с теми, кто активно поддерживает перемены, и с большинством из золотой середины — людей, открытых новому.

Специалисты, разрабатывающие модели систем, говорят, что мы меняем парадигму, создавая модели; модель системы позволяет нам выйти из нее и увидеть в целом. Я пишу об этом, потому что моя парадигма изменилась именно таким образом.

1. Выход за пределы парадигмы

Существует еще одна точка влияния, более мощная, чем изменение парадигмы. Надо оставаться свободным от привязанности к одной системе мышления, быть гибким, осознавать, что ни одна парадигма не может быть истинной, что все, включая то, что формирует вашу собственную мировоззренческую позицию, чрезвычайно ограниченно отражает ваше восприятие огромной и удивительной вселенной, которая лежит далеко за рамками человеческого понимания. Это не что иное, как способность на инстинктивном уровне достичь парадигмы, предполагающей, что есть и другие системы взглядов, и увидеть, что сам процесс такого постижения очень увлекателен. Позволить себе через уход в неведомое достичь того, что буддисты называют просветлением.

Людям, цепляющимся за парадигмы (а это почти все мы), стоит пересмотреть свои взгляды и допустить возможность того, что все, что они знают, — на самом деле полная чепуха, что события раскручиваются совершенно в другом направлении. Нет ни власти, ни контроля, ни понимания, нет даже причины существовать, а тем более действовать. Нет никакой уверенности в том, что какое-либо из мировоззрений верно. Но на самом деле для любого человека, кто смог задуматься над этим хотя бы на мгновение, эта мысль станет основой радикальных изменений. Если ни одна парадигма не верна, можно выбрать такую, которая будет помогать в достижении целей. Если вы не знаете, где найти цель, прислушайтесь к Вселенной.

Только те люди, чья система взглядов шире, чем общепринятая, справляются с зависимостями, живут в постоянном удовольствии, крушат империи, именно таких людей бросают в тюрьмы, сжигают на кострах, распинают или расстреливают, но память о них сохраняется веками.

Еще очень многое следовало бы сказать, чтобы определить все те точки, через которые можно изменить систему. Приведенный здесь список предварительный, и порядок пунктов также не окончателен. К каждому пункту можно добавить исключения, которые могут подвинуть его вверх или вниз. Размышления, которые легли в основу этого списка, проскальзывали в моем подсознании годами, вовсе не делая меня суперженщиной. Чем сильнее воздействие, тем больше система будет противиться изменениям, поэтому общества так часто истребляют просвещенных людей.

Получить доступ к волшебным точкам влияния не так просто, даже если мы знаем, где они расположены и в каком направлении на них нужно воздействовать. Нет легких способов овладеть мастерством. Необходимо усердно работать над этим и, анализируя ли систему, отбрасывая ли устоявшиеся взгляды и представления, не бояться окунуться с головой в омут неведения и смиренно признать себе в незнании. В конце концов окажется, что мастерство — это в меньшей степени способность давить на точки влияния и в большей — способность продуманно, с глубиной и некоторой долей безумия отпустить систему и двигаться с ней в такт.

Глава 7

ЖИЗНЬ В МИРЕ СИСТЕМ

В нашем мире сложно не то, что он неразумен, и даже не то, что он разумен. Чаще всего беда в том, что он разумен — но не совсем. Жизнь не бессмыслица, и все же логике она не по зубам. На вид она чуть-чуть логичней и правильной, чем на самом деле; разумность ее — видна, бессвязность — скрыта.

Г. К. Честертон¹, писатель, XX в.

Люди, воспитанные в индустриальном мире и с энтузиазмом воспринимающие системное мышление, как правило, склонны допускать большую ошибку. Они часто полагают, что системный анализ, увязывание огромного количества разных параметров и мощные компьютеры дадут возможность прогнозировать и контролировать развитие ситуаций. Такая ошибка возникает из-за того, что мировоззрение индустриального мира предполагает существование ключа к предсказанию и контролю.

Поначалу я тоже так полагала. Мы все так считали, будучи энергичными студентами великого университета, именуемого Массачусетским технологическим институтом. Невинные и очарованные тем, что мы видели сквозь призму нового подхода, мы делали то, что и многие исследователи. Мы преувеличивали свои результаты. Мы не намеревались обманывать окружающих, а лишь выражали таким образом собственные ожидания и надежды. Системное мышление было больше, чем тонкая и запутанная игра разума. Оно должно было *заставить системы работать*.

Подобно путешественникам, которые обнаружили Западное полушарие в попытке отыскать путь в Индию, мы нашли кое-что, что

оказалось совершенно не тем, что мы искали. Это было настолько новое, так сильно отличалось от искомого, что мы даже не знали, что делать. Погрузившись в системное мышление, мы поняли, что находка имела большее значение, чем предполагалось, но не в том смысле, в котором изначально задумывали.

Наше первое «пробуждение» случилось в момент, когда до нас дошло, что одно дело — понять, как исправить систему, но совершенно другое — подобраться к ней поближе и на самом деле ее исправить. Мы много дискутировали на тему «реализации», где главной задачей было найти способ заставить менеджеров, мэров и директоров следовать нашим советам.

По правде говоря, даже *мы сами* не слушались собственных советов. Мы читали лекции на тему зависимостей, но не могли отказаться от кофе. Мы знали все о динамике систем, о том, как они могут увести от цели, но уклонялись от выполнения собственных программ бега по утрам. Мы предупреждали о ловушках эскалации конфликтов и перекладывания бремени, а затем сами же попадались в эти ловушки в собственных браках.

Социальные системы не что иное, как внешнее выражение культурного мышления и основных человеческих потребностей, эмоций, достоинств и слабостей. Изменить их сложнее, чем сказать об этом, и даже человек, который понимает, что такое «хорошо», необязательно будет делать то, что хорошо.

Мы столкнулись с другой проблемой. Наши знания принципов функционирования систем помогли понять многие вещи, но не *все*. Более того, с каждым ответом появлялся как минимум еще один новый вопрос. Как и все другие изобретения, придуманные человеком, чтобы лучше понять микро- и макромир, наш инструмент тоже позволял обнаружить невероятные вещи, а вместе с ними и тайны. Эти тайны лежали в области человеческого разума, сердца и души. Далее приводятся примеры лишь некоторых вопросов, которые возникли у нас во время работы.

Разгадывание систем... вызывает еще больше вопросов!

Специалисты, размышляющие о системах, не первые и не единственные люди, которые задают подобные вопросы.

Новый информационный цикл обратной связи в *данной* точке системы заставит ее работать лучше. Но органы принятия решения не принимают необходимую информацию! Они ее не замечают, не доверяют ей и не знают, как ее интерпретировать.

Если *данный* цикл обратной связи можно было бы сориентировать на определенное значение, то система выдала бы результат, который всех устроит. (Не вырабатывать больше энергии, а предоставлять больше услуг, где она используется. Не ВВП, а материальный достаток и безопасность. Не рост, а прогресс.) Нам не нужно менять значения, необходимо лишь заставить систему работать с реальными значениями.

Допустим, перед вами система, которая кажется искаженной по всем пунктам. Она провоцирует неэффективность, уродство, разрушение окружающей среды и человеческое страдание. Однако если от нее избавиться, то никакой системы вообще не останется. Нет ничего страшнее, чем остаться без системы (когда я писала об этом, я имела в виду коммунистическую систему СССР, но это не единственный возможный пример).

Люди, находящиеся внутри какой-либо системы, мирятся с неблагоприятной политикой, потому что боятся перемен. Не верят, что существует система лучше. Считают, что не в их власти что-то требовать или вносить изменения.

В попытке найти ответы мы обнаружили, что существуют целые отрасли знаний, библиотеки, полные книг, масса историй, в рамках которых задавались те же вопросы. И мы даже иногда находили ответы на некоторые из них. Уникальным в нашем исследовании был тот факт, что системное мышление, подкрепленное достижениями в области техники и математики, использованное в компьютерах и зародившееся в попытке научиться предсказывать и контролировать, ставит исследователей лицом к лицу с самыми глубокими человеческими тайнами.

Почему люди активно сортируют и отбирают информацию определенным образом? Как они определяют, что пропустить, а что принять; с чем работать, а что игнорировать? Почему получается так, что одну и ту же информацию разные люди по-разному воспринимают и приходят к разным выводам?

Что представляют собой ценности? Откуда они берутся? Они универсальны или определяются культурой? Что заставляет людей или общество отказываться от «истинных ценностей» и принимать дешевые фальшивки? Как настроить цикл обратной связи на качество, которое невозможно измерить, вместо количества, которое измерить можно?

Почему периоды с минимальной структуризацией и максимальной свободой творчества так пугают? Почему определенный взгляд на мир так широко распространен, что ведомства, технологии, производства, здания и города создаются в соответствии с ним? Как системы создают культуру? Как культура создает системы? Если культуре и системе недостает чего-то, обязательно ли условие, что измениться они могут лишь через хаос и разрушение?

Почему людей так легко убедить в их беспомощности? Почему они становятся такими циничными, когда речь идет об их способности изменить что-то согласно своему видению? Почему они более склонны слушать тех, кто убеждает их в том, что они не могут ничего изменить, чем людей, убеждающих их в том, что это возможно?

Системное мышление показывает даже самому яркому технократу, что для того чтобы существовать в мире сложных систем, одной технократии мало.

Самоорганизующиеся нелинейные системы с обратными связями по своей природе непредсказуемы. Они не поддаются контролю. Их можно понять лишь в общем виде. Цель точно предсказать будущее и подготовиться к нему — недостижима. Сложная система, которая делала бы все, что желает создатель, просуществовала бы в лучшем случае лишь короткое время. Мы никогда не сможем полностью осознать

этот мир, особенно в том смысле, который предполагает современная редукционистская наука. Сама наука, от квантовых теорий до математики хаоса, приводит нас к неопределенностям. Любую цель, которая не будет тривиальной, мы не сможем оптимизировать. Мы даже не знаем, что именно оптимизировать. Мы не можем следить за всем. Мы не сможем установить правильные отношения с природой, друг с другом и созданными нами же общественными институтами, если будем подходить к вопросу с точки зрения всезнающего завоевателя.

Тем, кто привык вести себя подобно всезнающему завоевателю, тяжело принять неопределенность, свойственную системному мышлению. Если невозможно что-то понять, предсказать и поставить под контроль, то что же остается делать?

Стоит только перестать слепо верить в иллюзию контроля, системное мышление приведет нас и к другому очевидному выводу. Он заключается в том, что есть много того, что необходимо сделать, но эта «деятельность» отличается от привычной. Будущее невозможно предсказать, но его можно представить и воплотить в жизнь. Системы невозможно контролировать, но их можно создавать и переделывать. Мы не можем вмешиваться в мир с уверенностью, что не будет никаких сюрпризов, но мы можем ожидать непредсказуемые повороты событий, учиться благодаря им и даже извлекать пользу. Мы не можем навязывать системам свои желания. Мы можем прислушиваться к тому, что системы нам говорят, и найти способ, как связать особенности системы и наши ценности, чтобы создать что-то лучше, чем то, что можно создать, лишь опираясь на нашу волю.

Мы не можем контролировать системы или до конца их понять, но мы можем двигаться с ними в такт!

В какой-то степени я это уже знала. Я научилась двигаться в такт с непостижимыми силами, когда сплавлялась по рекам на каяке, выращивала растения, играла на музыкальных инструментах, каталась на лыжах. Все эти увлечения требуют повышенного внимания, вовлеченности в процесс и реагирования на обратную связь. Я просто не думала, что те же требования применимы к интеллектуальной работе, к управлению, к общению с людьми.

Но в каждой созданной мной компьютерной модели я улавливала намеки на это. Успешная жизнь в мире систем требует большего, чем

просто умение считать. Она требует всех присущих человеку качеств: рациональности, способности отличать правду от фальши, интуиции, сострадания, воображения и морали².

Я бы хотела завершить эту главу, подытожив все «системные мудрости», которые я почерпнула, когда моделировала сложные системы и общалась с создателями таких систем. Это ключевые уроки, концепции и практические моменты, которые так глубоко пронизывают область систем, что человек, который начинает на каком-то уровне ее постигать, будет их применять не только в профессиональной сфере, но и в обыденной жизни. Они представляют собой поведенческие последствия мировоззрения, которое основано на идеях обратной связи, нелинейности и системах, ответственных за собственное поведение. Когда некий профессор из Дартмута отметил, что мы «другие», и задумался почему, я думаю, что именно эти различия он и имел в виду.

Вероятнее всего, список неполный, так как я все еще остаюсь ученицей школы систем. Этот список не уникальная особенность системного мышления — существует много способов научиться танцевать в такт с системой. Но здесь в качестве вводного урока по танцам перечислены практические методы, которые мои коллеги, осознанно или нет, усваивают, начиная работать с новыми системами.

Уловите ритм системы

Прежде чем вмешаться в работу системы, понаблюдайте за тем, как она себя ведет. Будь то музыка, поток реки или колебание цен на рынке, уловите и изучите их ритм. Если речь идет о социальной системе, посмотрите, как она работает. Узнайте ее историю. Расспросите людей, долго бывших в этой системе, о том, что произошло. По возможности найдите или составьте временной график с реальными показателями системы: человеческая память не всегда надежна, когда речь идет о точном времени.

Совет обманчиво кажется простым. До тех пор пока сами не попытаетесь применить его на практике, вы не поверите, от какого количества ошибок такой метод способен уберечь. Анализ поведения системы вынуждает работать с фактами, а не с теориями. Именно факты способны

предотвратить соскальзывание к собственным и чужим убеждениям или заблуждениям.

Удивительно, сколько существует заблуждений. Люди клянутся, что количество осадков сокращается, однако если вы посмотрите на данные, то обнаружите, что происходит изменение климата: засухи становятся сильнее, но и потопаы имеют бóльшие масштабы. Меня убеждали в том, что цена на молоко растёт, когда она на самом деле падала, что процентные ставки падают, когда они увеличивались, что дефицит составлял бóльшую часть ВВП, чем когда-либо ранее, на самом же деле все это было не так.

Особенно интересно следить, как различные элементы системы изменяются, выявлять, связаны ли они между собой или нет. Наблюдение за тем, что действительно происходит, вместо выслушивания человеческих теорий, может развеять много легкомысленных гипотез. Каждый сотрудник администрации штата Нью-Гэмпшир уверен, что рост экономики в городе приведет к снижению налогов, но если нарисовать график зависимости налогов от показателей роста экономики, то можно увидеть разброс точек столь же хаотичный, как и расположение звезд на небе над Нью-Гэмпширом. Никакой зависимости между этими двумя показателями не существует.

Для изучения поведения системы в первую очередь необходимо применять динамический, а не статический анализ — не только ответить на вопрос: «Что не так?», но и «Как мы тут оказались?», «Какие другие варианты поведения возможны?» и «Если не изменить направление, то где мы окажемся?» Учитывая сильные стороны системы, можно спросить: «Что именно здесь хорошо работает?» А изучив истории изменения нескольких параметров и построив на их основе один график, можно понять не только, какие элементы образуют систему, но и как они взаимосвязаны.

Наконец, если оценку работы системы мы будем начинать с изучения ее истории, то избавимся от ошибки — перестанем определять проблему системы, не основываясь на ее реальном поведении, а прибегая к любимому способу решения («Проблема в том, что надо добыть больше нефти», «Проблема в том, что надо запретить аборт», «Проблема в том, что нам не хватает продавцов», «Проблема в том, что надо найти способ

стимулировать дальнейший рост города»). Прислушайтесь к обсуждению любого вопроса, будь то в кругу семьи, на совещании или в СМИ, и обратите внимание, как люди пересказывают к решениям в режиме «предсказать, контролировать и навязать собственную волю», не обращая внимания на то, что происходит с системой и почему.

Сделайте свои ментальные модели доступными

Когда мы рисуем диаграммы и составляем уравнения, мы обязаны четко формулировать свои предположения и записывать их в доступной форме. Каждое предположение или допущение, имеющее отношение к системе, должно быть размещено таким образом, чтобы все (включая вас самих) смогли их увидеть. Наши модели должны быть завершенными и логичными. Наши предположения не могут быть абстрактными (ментальные модели очень абстрактны), и если есть противоречие, то его необходимо вынести на обсуждение в дальнейшем.

Совсем не обязательно для демонстрации ментальной модели рисовать диаграммы и писать уравнения, но такая практика полезна. Можно изложить ее на словах, используя таблицы, рисунки или стрелки, которые показывают взаимосвязи в модели. Чем чаще вы это практикуете, тем более четким и гибким становится ваше мышление, тем быстрее замечаются и исправляются ошибки. Гибкость мышления — способность раздвигать границы, замечать переход системы к новому поведению и совершенствовать ее структуры — просто необходима в мире гибких систем.

Помните, что все, что знаете вы, и все, что знают другие люди, лишь модель. Покажите свою модель там, где ее заметят. Попросите ваших слушателей сделать критические замечания и высказать свою точку зрения. Вместо того чтобы специализироваться на объяснении одной-единственной гипотезы или модели, соберите как можно больше мнений других людей. Считайте их верными до тех пор, пока не найдете доказательств, что это не так. Только так вы объективно увидите, что ваше предположение неверно, в противном случае оно могло бы ассоциироваться с вашей личностью, и от него вам было бы сложно избавиться.

Выставление моделей напоказ, тщательная их проработка, проверка, поиск доказательств и безжалостное отсеивание, если они неверны, — не что иное, как применение научного подхода. Такой подход, к сожалению, редко используется даже в сфере науки, особенно социальных дисциплин, и почти не используется в менеджменте, управлении и повседневной жизни.

Признавайте, уважайте и распространяйте информацию

Вы уже видели, как информация удерживает элементы системы вместе и как отложенная, искаженная, рассеянная или утерянная информация вызывает сбои в работе циклов обратной связи. Специалисты, принимающие решения, не могут реагировать на информацию, которая до них не доходит, не могут дать правильный ответ на неверную информацию и не могут вовремя откликнуться на запоздалую информацию. Предполагаю, что основная часть ошибок в работе систем происходит в основном из-за искажений, запаздывания или отсутствия информации.

Если бы я могла, то к десяти заповедям я бы добавила еще одну: «Не искажай, не задерживай и не утаивай информацию». Можно очень легко извратить работу системы, для этого достаточно вмешаться в ее информационные потоки. А можно заставить систему работать более эффективно, если своевременно предоставлять ей более четкую и полную информацию.

Например, в 1986 году в США был утвержден документ под названием «База данных по выбросам токсичных веществ». В соответствии с федеральным законодательством компании ежегодно должны подавать сведения по всем источникам загрязнения воздуха на своих заводах. А по закону о свободе информации (с точки зрения систем — один из важнейших законов в стране) эти данные общедоступны. В июле 1988 года опубликовали первые данные по химическим выбросам. Хотя выбросы оказались ниже допустимых значений, они портили репутацию компаний, когда их названия публиковали в местных газетах под заголовком «Горячая десятка главных загрязнителей». Это все, что произошло. Не было ни судебных исков, ни требований о сокращении

количества выбросов, ни штрафов. Однако в течение двух лет выбросы химических токсичных веществ сократились на 40% (по крайней мере, такую информацию дали СМИ). Некоторые компании разработали и внедрили программы по сокращению выбросов на 90%, и все благодаря тому, что ранее утаиваемую информацию опубликовали³.

Информация — это сила. Любой человек, заинтересованный в том, чтобы добиться власти, быстро начинает это понимать. СМИ, пиарщики, политики, рекламные агентства, которые регулируют большую часть общественного потока информации, имеют больше власти, чем предполагает большинство людей. Они отбирают и направляют информацию. Зачастую они это делают ради личной выгоды. Неудивительно, что наши социальные системы так часто выходят из-под контроля.

Аккуратно используйте слова и обогатите ваш язык системными концептами

Наши информационные потоки облачены в основном в языковую форму. Наши ментальные модели вербальны. Уважительное отношение к информации подразумевает, во-первых, стремление не засорять язык, разговаривать на наиболее чистом его варианте. Во-вторых, желание обогатить свой словарный запас, чтобы можно было обсуждать все сложности и тонкости работы систем.

Фред Кофман как-то написал в журнале о системах:

«Язык... может служить инструментом, с помощью которого мы создаем новые понятия и новые реалии, когда начинаем говорить о них. Кстати, мы не говорим о том, что видим, *мы видим только то, о чем можем говорить*. Наши взгляды на мир зависят от взаимодействия нервной системы и языка: оба работают в качестве фильтров, через которые мы воспринимаем мир... Язык и информационные системы организации не служат объективным средством описания внешнего мира — они конструируют на фундаментальном уровне восприятие и действия всех ее членов. Перестройка измерительной и коммуникативной систем общества означает изменение всех потенциальных взаимодействий

на самом базовом уровне. Язык... как отображение реальности более первичен, чем стратегия, структура или... культура»⁴.

Общество, которое непрерывно говорит о продуктивности, но которое едва понимает значение слова «устойчивость», вероятнее всего, будет продуктивным, но неустойчивым. Общество, которое не понимает значение термина «ограниченная емкость», превысит свои нормы емкости. Общество, которое говорит о «создании рабочих мест» как о том, что могут делать лишь компании, не будет вдохновлять людей создавать рабочие места ни для себя, ни для других. Такое общество не будет ценить своих работников за их роль в «создании прибыли». И конечно, общество, которое называет межконтинентальную баллистическую ракету «Миротворцем», говорит о «побочном ущербе», «окончательном решении» и «этнической чистке», пользуется, по словам Уэнделла Бэри, «тиранийским» языком.

«Мне кажется, что на протяжении последних полутора веков мы наблюдаем растущую тенденцию искажения и разрушения смыслов языка. Я уверен в том, что такая возрастающая нестабильность языка по времени точно соответствует дезинтеграции людей и обществ...»

Затем он добавляет:

«В такой деградирующей системе учета язык почти утратил свою власть средства коммуникации, так как его осознанно используют, чтобы он не обозначал ничего конкретного. Внимание акцентируется на процентах, категориях, абстрактных функциях... Человек, пользующийся таким языком, вряд ли будет отстаивать его и защищать. Единственное его практическое применение — поддержка „экспертным мнением“ уже начавшегося обширного и обезличенного технологического развития... Этот тиранический язык — тиранийский»⁵.

Первый шаг на пути формирования бережного отношения к языку заключается в том, чтобы сохранять его точность, смысловую

наполненность и правдивость — часть необходимых действий, позволяющих поддерживать чистоту информационных потоков. Второй шаг — увеличение словарного запаса языка, чтобы он соответствовал нашему возрастающему уровню понимания систем. Если у эскимосов так много слов, обозначающих снег, то лишь потому, что они научились его использовать. Они превратили снег в ресурс, в систему, с которой можно двигаться в такт. Индустриальное общество только начинает придумывать и использовать слова для описания систем, потому что оно только недавно стало обращать внимание на них и использовать сложные системы. *Допустимая емкость, структура, разнообразие* и даже *система* — старые термины, которые наделяются более широкими и точными значениями. Новые слова еще предстоит придумать.

Мой текстовый редактор имеет функцию проверки орфографии и грамматики и позволяет добавлять слова, которых ранее не было в его словаре. Интересно взглянуть на термины, которые мне пришлось добавить при написании книги: *обратная связь, производительность, самоорганизация, устойчивое развитие*.

Обращайте внимание на то, что важно, а не только на то, что можно посчитать

Наша культура, помешанная на цифрах, подкинула нам идею о том, что все, что поддается исчислению, гораздо важнее, чем то, что мы подсчитать не можем. Задумайтесь об этом на минуту. Это значит, что для нас количество важнее качества. Если количество задает цели наших циклов обратной связи, если количественный показатель стоит в центре внимания и языка, и общества, если мы мотивируем себя, оцениваем себя и вознаграждаем себя, исходя из своей способности производить количество, то количество и будет результатом. Посмотрите вокруг и составьте свое мнение о том, что в большей степени характеризует мир, в котором вы живете, — количество или качество.

Нам неоднократно приходилось выслушивать насмешки со стороны коллег, работающих в этой же области, по поводу того, что в своих моделях мы использовали такие переменные, как «предвзятость», «самооценка» или «качество жизни». Так как для компьютерных расчетов

требуются цифровые значения, нам неоднократно приходилось придумывать количественные шкалы для измерения качественных показателей. «Допустим, предвзятость изменяется от -10 до $+10$, где 0 — к вам относятся непредвзято, -10 — крайнее предубеждение против вас, $+10$ — крайне позитивная предвзятость, означающая мнение окружающих, что вы не можете ошибаться. Теперь, допустим, уровень предвзятости по отношению к вам оценили значением -2 , или $+5$, или -8 . Как бы это отразилось на вашей работе?»

Взаимосвязь между предвзятостью и производительностью труда как-то раз даже действительно пришлось добавить в модель⁶. Исследование заказала компания, которая хотела понять, какую политику лучше проводить по отношению к работникам — представителям меньшинств и как помочь им продвигаться по карьерной лестнице. Все принимавшие участие в опросе единогласно согласились, что между предвзятостью и производительностью труда действительно существует взаимосвязь. Выбор шкалы для измерения взаимосвязи между этими параметрами значения не имел, она могла быть в пределах от 1 до 5 или от 0 до 100. Но не учитывать в процессе исследования такой параметр, как предвзятость, в данном случае было бы ошибкой. Когда сотрудников попросили показать на графике, как они оценивают связь между их производительностью и предвзятым отношением к ним, то мы получили одну из самых сильных нелинейных зависимостей, которые я когда-либо видела при моделировании.

Если делать вид, что чего-то трудно измеримого не существует, то мы можем создать модели, имеющие определенные недостатки. Вы уже знакомы с системными ловушками, которые возникают в случаях, когда цели задаются таким образом, что в них учитывается параметр, который легко измерить, а не тот, что действительно важен. Не попадайтесь в эту ловушку. Людям свойственна способность не только считать, но и оценивать качество. Станьте своего рода «ходячим и говорящим счетчиком Гейгера», который регистрирует наличие или отсутствие определенного качества.

Если вы встретили нечто уродливое, то скажите об этом. Если что-то низкокачественное, неприемлемое, несоразмерное вредит морали, истощает экологию или умаляет человеческое достоинство, то не принимайте

этого. Не позволяйте фразе «если это невозможно измерить, то это нужно игнорировать» сбивать себя с толку. Никто не может дать точное определение справедливости, демократии, безопасности, свободы, истины или любви и измерить их. Никто не может точно определить моральные ценности. Однако если никто за них не заступится, если системы не включают их, если мы не будем их упоминать, то они перестанут существовать.

Используйте стратегию обратной связи в системах с обратной связью

Президент Джимми Картер обладал необычной способностью мыслить категориями обратных связей и создавать стратегии на их основе. К сожалению, ему было сложно объяснить свою логику прессе и обществу, которые не понимали, что такое обратная связь.

Во времена, когда объемы импортируемой нефти находились на высоком уровне, он предложил ввести топливный налог, величина которого была бы пропорциональна доле импортируемой нефти в общем количестве потребляемого топлива. Если бы импорт продолжал расти, налог продолжал бы увеличиваться до тех пор, пока не упал бы спрос, что привело бы к продвижению заменителей и сокращению импорта. Если бы импорт упал до нуля, то и налог стал бы равен нулю.

Налог не был введен.

Картер также пытался решить проблему нелегальных иммигрантов из Мексики. Он предположил, что до тех пор, пока возможности и уровень жизни в США и Мексике так сильно различаются, иммиграцию не остановить. Вместо того чтобы тратить средства на сооружение границ и содержание пограничных служб, говорил он, лучше оказывать помощь мексиканской экономике до тех пор, пока иммиграция не остановилась бы.

Этого также не произошло.

Думаю, вам понятно, почему управлять саморегулирующейся динамической системой с обратной связью, используя статичные негибкие методы, нельзя. Гораздо проще, эффективнее и дешевле разработать политику, которая будет изменяться в зависимости от состояния системы. Особенно в тех случаях, когда в системе существуют большие

неопределенности. Лучшие системы содержат не только циклы, но и метациклы обратной связи, которые изменяют, корректируют и расширяют обычные петли обратной связи. Такие системы включают *обучение* в процесс управления.

Хороший исторический пример такой системы — Монреальский протокол, принятый с целью защиты озонового слоя. В 1987 году, когда протокол был подписан, определенной уверенности в том, какой вред наносится озоновому слою, какова скорость его разрушения и какое действие оказывают различные химические вещества, ни у кого не было. Протокол содержал план уменьшения производства вредных химических веществ и предусматривал необходимость контроля ситуации и повторного собрания международного конгресса для изменения плана в случае, если вред окажется меньше или больше установленного. Тремя годами позднее, в 1990 году, в план-график внесли изменения, предусматривающие новые сроки его исполнения, а также добавили ряд других вредных химических веществ, так как вред, наносимый озоновому слою, оказался значительно выше, чем предполагалось в 1987 году.

Это и есть стратегия обратной связи, нацеленная на обучение. Мы все надеемся, что ее приняли вовремя.

Действуйте ради блага всей системы

Помните: иерархии существуют, чтобы удовлетворять потребности более низких уровней, а не более высоких. Не доводите до максимума отдельные части системы или подсистемы в ущерб целому. Как однажды сказал Кеннет Боулдинг, не утруждайтесь оптимизировать что-то, когда это совершенно никому не нужно. Стремитесь улучшать общие показатели системы, такие как рост, стабильность, разнообразие, устойчивость и самодостаточность, независимо от того, сложно ли их оценить в численном выражении или нет.

Прислушайтесь к мудрости системы

Поддерживайте и поощряйте силы и структуры, которые позволяют системе работать самостоятельно. Обратите внимание на то, что

большинство таких сил и структур располагается на нижнем уровне иерархии. Не вмешивайтесь необдуманно в работу системы, чтобы не разрушить ее способность к самоподдерживанию. Прежде чем попытаться что-то изменить с целью улучшить работу системы, обратите внимание на те положительные моменты, которые уже в ней заложены.

Один мой друг, Натан Грей, сотрудник гуманитарной организации, однажды находился в Гватемале. Он рассказал, насколько был разочарован работой иностранных агентств, намеревавшихся «создать рабочие места», «увеличить предпринимательские способности» и «привлечь внешних инвесторов». Сотрудники этих агентств проходили мимо цветущего местного рынка людей, плетущих корзины, торговцев овощами, мясников, продавцов сладостей. Все они демонстрировали предпринимательские способности, занимая рабочие места, которые сами для себя создали. Натан разговаривал с людьми на рынке, расспрашивал их о жизни и бизнесе и пытался понять, что не давало этим бизнесам расти и увеличивать прибыль. Он пришел к выводу, что им нужны не внешние инвесторы, а внутренние. Небольшие займы, выданные под разумные процентные ставки, и обучение письму, чтению и счету принесли бы больше пользы местному сообществу, нежели строительство завода при помощи внешних инвесторов.

Распределите ответственность в системе

Эта рекомендация и для тех, кто занимается анализом систем, и для тех, кто создает их. При проведении анализа определяйте, за счет каких факторов система сама задает свое поведение. Обращайте внимание на ключевые события в системе — внешние факторы, которые провоцируют определенное поведение этой системы. Иногда эти внешние факторы можно контролировать (например, сокращение количества патогенных микроорганизмов в питьевой воде с целью снижения риска заражения опасными инфекциями). Иногда это невозможно. А иногда поиск виноватых или попытка контролировать внешние факторы отвлекает от простого решения — повышения уровня ответственности в самой системе.

Внутренняя ответственность подразумевает, что система построена таким образом, что обратная связь о последствиях принятых решений быстро поступает непосредственно к лицу, принимавшему решение. Пилот, управляющий самолетом, такой внутренней ответственностью обладает. Он напрямую будет испытывать последствия своих решений.

В Дартмутском колледже понизили уровень внутренней ответственности, когда убрали термостаты из классов и кабинетов и передали процесс принятия решений о температурных режимах центральному компьютеру. Это было сделано с целью экономии энергии. Однако с точки зрения нижних уровней иерархии основным негативным последствием стали большие колебания комнатной температуры. Когда в моем офисе становилось слишком тепло, вместо того чтобы самой убавить значения термостата, мне приходилось звонить в главный офис, который вносил изменения не сразу (иногда это занимало часы или даже дни), а иногда изменение температуры было настолько сильным, что в помещении становилось холодно и приходилось снова звонить. Один из возможных способов повысить, а не понизить ответственность в этой системе заключался в том, чтобы разрешить профессорам самим регулировать температуру в кабинетах и выставлять им счета за потребленную энергию, тем самым приватизируя общий ресурс.

Создание системы с внутренней ответственностью подразумевает, например, требование к городам или компаниям, сливающим отходы в реки, устанавливать водозаборные трубы *ниже по течению*, чем трубы, через которые они осуществляют слив отходов. Это означает, что ни страховые компании, ни общественные фонды не должны покрывать медицинские расходы за последствия курения или за аварии, в которых мотоциклист был без шлема, а водитель не пристегнул ремень. Это означает, что конгресс больше не сможет издавать законы, от которых члены конгресса освобождаются (существует много правил, от исполнения которых освобождены члены конгресса, включая политику равных возможностей при найме и необходимость подготовки заключений о воздействии на окружающую среду). Большую часть

внутренней ответственности системы утратили, когда правители, объявляющие войну, освобождались от личного участия в ней на поле боя. Ведение военных действий стало еще более безответственным, когда появилась возможность нажать на кнопку и нанести огромные разрушения, находясь на таком расстоянии, что самих разрушений не будет видно.

Гарретт Хардин говорил о противниках абортов, что они применяют на практике внутреннюю ответственность только в том случае, если будут готовы взять нежеланного ребенка на воспитание!⁷

Эти несколько примеров достаточно ясно демонстрируют, как мало наша нынешняя культура уделяет внимания ответственности внутри действующих систем и что в создаваемых системах лица, принимающие решения, не ощущают последствий своих действий.

Будьте скромными — продолжайте учиться

Системное мышление научило меня больше доверять своей интуиции и одновременно готовиться к неожиданностям. Работа с системами, с компьютером, с природой, с людьми и организациями постоянно напоминает мне о том, насколько несовершенны мои ментальные модели, насколько сложен окружающий мир и сколько в нем всего, чего я не знаю.

Когда вы чего-то не знаете, не стоит врать или стесняться, лучше просто учиться. Учимся мы через эксперименты, или, как сказал Бакминстер Фуллер, путем проб и ошибок, ошибок и еще раз ошибок. В мире сложных систем недопустимо устремляться вперед с категоричными, неуклонными убеждениями. «Придерживаться курса» можно лишь в том случае, если вы уверены, что вы на правильном пути. Притворяться, что у вас все под контролем, когда на самом деле это не так, — отличный способ не только набить себе шишки, но и отказать себе в возможности чему-либо научиться. Правильный подход заключается в том, чтобы учиться, продвигаясь вперед небольшими шагами, постоянно отслеживая достижения и оставляя за собой право изменить направление движения в случае необходимости.

Это сложная задача. И надо иметь в виду, что ошибки будут и что придется их признавать. Психолог Дон Майкл называет это «принятием ошибок». Требуется большое мужество, чтобы признать и принять свои ошибки.

«Ни мы сами, ни наши коллеги, ни люди, которые во всем этом участвуют... не можем наверняка знать, что происходит или может произойти, если мы поведем себя так, словно у нас на руках находятся все факты, будто мы знакомы со всеми нюансами, знаем точно, какие могут быть результаты, и уверены в том, что достигнем самых предпочтительных. Более того, если в случае поиска ответов на сложные социальные вопросы мы будем вести себя так, словно точно знаем, что делаем, то мы просто-напросто подорвем доверие к себе... Недоверие к институтам и авторитетным лицам растет. Сам факт признания неопределенности мог бы воспрепятствовать такой тенденции»⁸.

Принятие ошибок становится обязательным условием для обучения. Необходимо искать, использовать — и распространять — информацию о том, что пошло не так, почему успех не достигнут. И принятие ошибок, и жизнь с высоким уровнем неуверенности увеличивают нашу личную и социальную уязвимость. Мы склонны скрывать свою уязвимость и от себя, и от окружающих. Однако... чтобы быть тем человеком, который действительно принимает на себя ответственность... необходимо обладать знаниями и осознавать себя как личность на более высоком уровне, нежели тот, которым обладает большинство в современном обществе»⁹.

Цените сложность

Признайте: вселенная беспорядочна. Она нелинейна и динамична. В ней постоянно что-то происходит. Ее поведение всегда носит временный, переходный характер и далеко от математически точного равновесия. Она самоорганизуется и развивается, одновременно создает и разнообразие, и однородность. Именно в этом заключается красота

мира. Именно поэтому он такой интересный. Именно это заставляет его работать.

Человеческое сознание по какой-то причине предпочитает прямые линии, а не кривые, целые числа, а не дроби, однородность, а не разнообразие, определенность, а не тайны. Но есть что-то еще внутри каждого из нас, что заставляет проявлять противоположные тенденции, и это не случайно, так как мы все развивались из сложных систем с обратными связями, сформированы ими и сами же их представляем. Но какая-то наша часть — та, что сравнительно недавно появилась, — проектирует здания в форме коробок непременно с прямыми линиями и плоскими поверхностями. Другая же часть интуитивно признаёт, что природа создает свое разнообразие при помощи фракталов, прорисовывая мельчайшие детали при любых масштабах — от микроскопических до макроскопических. Эта наша часть воздвигает готические соборы и ткёт персидские ковры, пишет симфонии и романы, шьет карнавальные костюмы и изобретает искусственный интеллект, при этом надеясь все творения мельчайшими деталями — такими же сложными, как мир вокруг.

Мы можем ценить и поощрять самоорганизацию, творческий беспорядок, разнообразие и многосторонность. Некоторые из нас даже составляют моральный кодекс, как, например, это сделал Альдо Леопольд в своей этике земли: «Вещь правильна, когда у нее есть тенденция сохранять целостность, стабильность и красоту биологического сообщества. Она неправильна, когда имеет обратную тенденцию»¹⁰.

Раздвигайте временные горизонты

Одним из худших нововведений, придуманных человечеством, стала ставка кредитования, что повлекло за собой появление понятий «срок окупаемости» и «учетная ставка», которые предоставляют рациональный количественный повод игнорировать долгосрочные перспективы.

Официальный временной горизонт современного индустриального общества не охватывает события, которые произойдут после следующих выборов или по окончании срока окупаемости инвестиций.

Временные границы в семьях все-таки еще затрагивают более длительные периоды — жизнь детей и внуков. Многие культуры американских индейцев просчитывали последствия своих действий вплоть до седьмого колена. Чем шире действующие горизонты времени, тем больше шансов на выживание.

Как сказал Кеннет Боулдинг:

«Существует много исторических фактов, подтверждающих, что общество, перестающее себя определять в контексте последующих поколений и лишаящееся позитивного видения будущего, вскоре утрачивает и способность решать проблемы настоящего и распадется... Всегда было что-то вдохновляющее в том, чтобы жить подобно птицам, но забота о потомстве у птиц имеет иное значение; может, нам всем стоит... дружно выйти на улицу и, уподобившись птицам, жизнерадостно напачкать где-нибудь? Однако, будучи человеком старой закалки, которому свойственно думать о завтрашнем дне, я не могу принять такое поведение...»¹¹

Строго говоря, системы не воспринимают четкое деление на краткосрочное и долгосрочное. Феномены, происходящие в разных временных масштабах, вложены друг в друга. Действия, совершенные в настоящий момент, имеют как немедленные последствия, так и последствия, которые могут проявиться через десятки лет. Сегодня мы испытываем последствия решений, принятых вчера, десять лет назад и сотню лет назад. Связь быстрых и медленных процессов иногда крайне сильна, а иногда слаба. Когда медленные процессы доминируют, кажется, что ничего не происходит; когда быстрые берут верх, то все происходит с ошеломляющей скоростью. Системы постоянно объединяют и разъединяют крупное с мелким, быстрое с медленным.

Когда вы идете по извилистой, незнакомой тропе, где вероятно неожиданная встреча с диким животным и повсюду преграды, вы вряд ли будете смотреть только под ноги, просчитывая лишь следующий шаг. Также было бы глупо устремить взор вдаль и игнорировать то, что находится под ногами. Необходимо следить и за тем, и за другим — за системой целиком.

Выходите за рамки своей области

Не важно, какую специальность вы получили, что написано в учебниках и даже то, что вы считаете себя высококлассным специалистом в своей области, — следуйте за системой, куда бы она ни вела. Она точно будет проходить сквозь традиционные границы учебных дисциплин. Чтобы понять систему, необходимо уметь учиться, не ограничивая себя специализацией в одной из дисциплин, будь то экономика, химия, психология или теология. Нужно освоить научные термины, принять то, что говорят специалисты в данной области, понять то, что они видят сквозь призму своих представлений, и отбросить искажения, которые вызваны узостью и неполнотой их перспективы. Задача не из легких.

Чтобы увидеть систему в целом, требуется больше, чем просто «междисциплинарность», которая подразумевает собрание специалистов из разных областей науки и ведение пустых разговоров. Междисциплинарный подход работает только тогда, когда существует реальная проблема, которую необходимо решить, а представители различных наук озабочены непосредственно решением задачи, а не своей академической правотой. Им придется войти в режим обучения, и признать себя в своем незнании, и быть открытыми для получения знаний друг от друга и от системы.

Это возможно. Мало того, это увлекательно.

Интересуйтесь жизнью во всех ее проявлениях

Жизнь в мире сложных систем будет успешной, если вы не только раздвинете временные горизонты и границы восприятия, но и, в первую очередь, станете интересоваться ею во всех проявлениях, не оставаясь безразличным и бездушным человеком. Конечно, вроде бы так и должно быть, для того и существуют моральные принципы. Но если одной морали недостаточно, то системное мышление предоставляет практические аргументы, которые подкрепляют этические доводы. В реально существующей системе все взаимосвязано. Ни одна часть человечества не обособлена ни от других людей, ни от глобальной экосистемы. В этом взаимосвязанном мире сердце не способно выжить,

если откажут легкие, компания не сможет эффективно работать, если ее служащие не достигнут результата, богачи Лос-Анджелеса не смогут существовать, если не будет бедняков, Европа не выживет без Африки, а глобальная экономика рухнет, если погибнет глобальная окружающая среда.

Что же касается всего остального, большинство людей уже знают о взаимосвязях в системе, благодаря которым моральные и практические правила начинают совпадать. Людям просто необходимо поверить в то, что они и так уже знают.

Не переставайте стремиться к лучшему

Пример самого разрушительного системного архетипа — «тенденция к снижению производительности» — процесс, с помощью которого современное индустриальное общество разрушает моральные устои. Ловушка сработала по классическому сценарию, а последствия стали ужасающими.

Примеры далеко не лучшего поведения людей превозносятся, преувеличиваются СМИ и признаются обществом. Этого можно было ожидать. В конце концов, все мы люди. Более многочисленные примеры проявления настоящих положительных человеческих качеств при этом игнорируются. Ну да, это не ново, это — исключения, а мы не святые. Не всем же так себя вести.

Как следствие, занижаются ожидания. Разрыв между желаемым поведением и тем, что мы наблюдаем, сокращается. Все реже приходится видеть случаи проявления благородства. Общество пропитано цинизмом. Государственные деятели не скрывают свою аморальность и не несут за это ответственности. Идеализм высмеивается. Разговоры о морали вызывают подозрение. Гораздо проще на публике говорить о ненависти, нежели о любви. Литературный критик и натуралист Джозеф Вуд Кратч выразился так:

«Никогда прежде человек не был так удовлетворен тем, чем он *обладает*, и не был столь уверен в своей возможности *делать* все, что придет ему в голову. И он еще никогда не принимал столь

низкую оценку того, *что* он собой представляет. Тот же научный подход, позволивший ему обрести богатство и власть, привел к тому, что биология и психология досконально объяснили человеческую природу, или по меньшей мере все то, что раньше считалось уникальным или даже таинственным... При всем материальном богатстве и власти человек беден духовно»¹².

Мы знаем, что делать, если в системе есть стремление к худшему. Не придавайте плохим новостям больше веса, чем хорошим. Оставайтесь на высоте!

Системное мышление лишь дает совет. Оно не может что-то сделать за нас. Мы снова видим пропасть, которая существует между пониманием и практической реализацией. Само по себе системное мышление не построит мост через нее, но подведет нас к пределу, до которого можно воспользоваться системным анализом, и укажет, что может и должно быть сделано силой человеческого духа.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Глоссарий

Архетипы — распространенные системные структуры, создающие характерные модели поведения.

Балансирующий (стабилизирующий, уравнивающий) цикл обратной связи — стабилизирующий, целенаправленный, регулирующий цикл обратной связи, также известный как «цикл отрицательной обратной связи»; оказывает противодействие любому изменению системы или изменяет направление внешнего воздействия.

Динамика — изменение поведения системы или любого из ее элементов во времени.

Динамическое равновесие — состояние, при котором уровень или величина запаса остаются неизменными, несмотря на наличие входящих и исходящих потоков. Состояние динамического равновесия возможно только в том случае, когда сумма всех входящих потоков системы равна сумме всех исходящих.

Запас — накопление материи или информации в системе за время ее существования.

Иерархия — вид организации системы, в которой более крупные системы состоят из более мелких (подсистем).

Линейная зависимость — связь между двумя элементами в системе, при которой изменение результата всегда пропорционально изменению причины. На графике изображается в виде прямой линии. Результаты можно суммировать.

Нелинейная зависимость — связь между двумя элементами в системе, при которой причина не вызывает пропорционального (линейного) изменения результата.

Обратимое доминирование — изменение во времени относительной силы конкурирующих циклов обратной связи.

Ограниченная рациональность — логика, которая приводит к решениям или действиям, имеющим смысл в рамках одной части системы, но не являющимся рациональными в более широком контексте.

Ограничивающий (лимитирующий) фактор — входящий поток системы, ограничивающий ее деятельность в определенный момент.

Поток — материя или информация, которая пополняет или истощает запас в течение определенного периода времени.

Самоорганизация — способность системы структурировать себя, создавать новые структуры, учиться и порождать многообразие.

Система — совокупность элементов или частей, организованных и взаимосвязанных в структуру, которая создает характерные модели поведения, часто называемые «назначением» или «целью».

Субоптимизация — поведение, обусловленное доминированием целей подсистем, которые начинают преобладать над общими целями системы.

Усиливающий цикл обратной связи — усиливающий или увеличивающий цикл обратной связи, также известный как «цикл положительной обратной связи», поскольку он усиливает изменения, не меняя их направления. Такие циклы могут быть как вредными, так и полезными.

Устойчивость (упругость) — способность системы восстанавливаться (возвращаться к предыдущему состоянию) после внешних воздействий.

Цикл (петля, контур) обратной связи — механизм, позволяющий изменять входящие и исходящие потоки в зависимости от изменения уровня запаса. Это замкнутая на запасе цепочка причинно-следственных связей, которые функционируют через набор решений и действий, зависящих от значения запаса.

Краткое изложение системных принципов

Системы

- Система больше, чем сумма ее частей.
- Многие связи в системах осуществляются через потоки информации.
- Наименее очевидно выраженная часть системы — ее назначение (функция) или цель — часто становится главным фактором, определяющим поведение системы.
- Структура системы определяет ее поведение. Поведение системы проявляется в виде ряда событий во времени.

Запасы, потоки и динамическое равновесие

- Запасы отражают характер изменения потоков внутри системы.
- Если сумма входящих потоков превышает сумму исходящих потоков, уровень запаса будет расти.
- Если сумма исходящих потоков превышает сумму входящих потоков, уровень запаса будет падать.
- Если сумма входящих потоков равна сумме исходящих потоков, уровень запаса не изменится; система будет находиться в состоянии динамического равновесия.
- Уровень запаса может быть увеличен за счет уменьшения скорости исходящего потока или увеличения скорости входящего потока.
- Запаздывания в изменении запаса могут служить в системах буфером или амортизатором.
- Запасы позволяют входящим и исходящим потокам быть независимыми друг от друга.

Циклы (петли) обратной связи

- Цикл обратной связи представляет собой замкнутую цепочку причинно-следственных связей, связанных с запасом, которые реализуются через наборы решений, действий или физических законов, зависящих от величины запаса.
- Уравновешивающие циклы обратной связи — это стремящиеся привести к равновесию или целенаправленные структуры

- в системах, обеспечивающие одновременно их стабильность и сопротивляемость изменениям.
- Усиливающие циклы обратной связи усиливают сами себя, что приводит к экспоненциальному росту или полному разрушению системы с течением времени.
 - Информация, получаемая через цикл обратной связи, даже если эта связь нематериальная, может влиять только на поведение системы в будущем. Сигнал нельзя доставить достаточно быстро, чтобы немедленно изменить поведение системы, определяемое воздействием текущей обратной связи.
 - Чтобы поддерживать уровень запаса неизменным и компенсировать входящие и исходящие потоки, балансирующий цикл обратной связи должен иметь четко поставленную цель, влияющую на величину запаса. В противном случае процесс обратной связи не достигнет цели или превысит необходимые показатели.
 - Системы с одинаковыми структурами обратной связи ведут себя схожим образом.

Обратимое доминирование, запаздывания и колебания

- Сложное поведение систем часто возникает в результате смены доминирующих циклов обратной связи, то есть доминирующим становится то один цикл, то другой.
- Запаздывания в балансирующем цикле обратной связи вызывают в системе колебания.
- Изменение величины запаздывания может сильно повлиять на поведение системы.

Сценарии поведения систем и имитационные модели

- Модели системной динамики дают возможность создавать различные сценарии поведения системы в будущем и отвечать на вопрос «что, если?..».
- Практическая польза от создания модели зависит не от того, насколько реалистичны сценарии развития системы (поскольку никто не может знать этого точно), а от того, насколько реалистичны примеры поведения системы.

Ограничения в системах

- Физические экспоненциально растущие системы должны иметь как минимум один усиливающий цикл обратной связи, приводящий к их росту, и по меньшей мере один балансирующий цикл, ограничивающий его, поскольку ни одна система не может бесконечно расти в конечной среде.
- Невозобновляемые ресурсы ограничены величиной запасов.
- Возобновляемые ресурсы ограничены скоростью их добычи и воспроизводства.

Устойчивость, самоорганизация и иерархия

- У устойчивости всегда есть пределы.
- Управляя системами, следует учитывать не только их производительность или стабильность, но и устойчивость.
- Многие системы обладают свойством самоорганизации — способностью структурировать себя, создавать новые структуры, учиться, изменяться и порождать многообразие.
- Иерархические системы развиваются снизу вверх. Цель верхних слоев иерархии — реализация целей нижних слоев.

Причины возможного неожиданного поведения систем

- Многие взаимосвязи в системах нелинейны.
- Обособленно существующих систем нет. Мир — это сплошная непрерывная среда. Где наметить границу системы, зависит от цели.
- В любой момент времени наиболее важен для системы тот входящий поток, воздействие которого наиболее сильно ограничивает систему.
- Любой физический объект с несколькими входящими и исходящими потоками имеет множество пределов.
- У роста всегда есть предел.
- Величина, возрастающая по экспоненциальному закону, достигает предела за удивительно короткий промежуток времени.
- При длительных запаздываниях в циклах обратной связи важно уметь предвидеть события.

- Ограниченная рациональность каждого участника системы может приводить к решениям, которые не способствуют благополучию системы в целом.

Мировоззрение и модели

- Наши представления о мире — это модели.
- Наши модели неплохо соотносятся с реальным миром.
- Наши модели очень далеки от полного представления реального мира.

Выходы из системных ловушек

Сопrotивление внешнему воздействию

Ловушка

Сопrotивление внешнему воздействию может возникнуть, когда различные участники системы стараются использовать запас системы для достижения своих целей. Любые действия кого-либо из участников (особенно если они эффективны) просто перетягивают запас на свою сторону, препятствуя тем самым достижению целей других участников, и создают дополнительное сопротивление. В результате реализуется нежелательный для всех сценарий, но каждый из участников прикладывает значительные усилия для поддержания этой ситуации.

Выход

Отпустите ситуацию. Соберите всех участников и используйте энергию, ранее затраченную на сопротивление, на поиски взаимовыгодных способов реализации целей каждого. Определите наиболее важную цель, представляющую интерес для всех участников.

Трагедия общин

Ловушка

Когда ресурс доступен всем, извлечь выгоду от его использования может любой, но в случае злоупотребления ресурсом отдельными членами общины негативные последствия разделяют все. Так как обратная связь между состоянием ресурса и решениями его потребителей очень

слабая, чрезмерное использование ресурса и его истощение могут происходить до тех пор, пока ресурс станет недоступным для всех.

Выход

Воспитывать и убеждать потребителей, объясняя им последствия злоупотребления ресурсом. Восстановить или усилить обратную связь, либо приватизировав ресурс, чтобы каждый потребитель чувствовал прямые последствия своего злоупотребления, либо (поскольку не все ресурсы могут быть приватизированы) регулируя доступ потребителей к ресурсу.

Тенденция к снижению производительности

Ловушка

Позволяя ранее полученным результатам, особенно если имеется негативная предвзятость в их восприятии, занижать наши ожидания, мы направим усиливающий цикл обратной связи в системе таким образом, что производительность системы начнет стремительно падать.

Выход

Удерживать показатели системы на уровне, соответствующем установленным показателям, независимо от производительности. Еще лучше, если стандарты будут повышаться за счет хороших результатов, а не понижаться за счет плохих. Используйте ту же структуру, но направьте ее движение в противоположную сторону.

Эскалация

Ловушка

Когда величина одного запаса изменяется с целью превзойти величину другого запаса (и наоборот), возникает эскалация. При этом усиливающий цикл обратной связи приводит систему к процессу бесконтрольного возрастания количества вооружения, цен, предвыборной клеветы, шума, насилия и так далее. Эскалация развивается экспоненциально и может очень неожиданно привести к плачевным результатам. Если ничего не предпринимать, все закончится крахом для одного из участников конфликта, поскольку экспоненциальный рост не может продолжаться вечно.

Выход

Прежде всего, нужно стараться не попадать в эту ловушку. Если не удалось ее избежать, можно попробовать отказаться от конкуренции (разоружение в одностороннем порядке), тем самым прервав усиливающий цикл. Кроме этого, можно начать переговоры о создании новой системы с балансирующими циклами обратной связи, которые дадут возможность контролировать процесс эскалации.

Успех к успешному**Ловушка**

Если победители соревнований систематически получают вознаграждение (то есть средства, которые можно инвестировать в будущие победы), создается усиливающий цикл обратной связи. Если этот цикл не прервать, победители в итоге заберут все ресурсы, а проигравшие устроятся.

Выход

Диверсификация, то есть разнообразие вариантов, которое позволит тем, кто проигрывает конкуренцию, использовать новые способы для выживания или победы. Следует строго ограничить максимально возможную долю выигрыша для одного победителя (антимонопольное законодательство). Внедрять механизмы, которые будут выравнивать игровое поле, устраняя преимущества сильных игроков или увеличивая возможности слабых. Придумывать такие награды за победу, которые не повлияют на распределение сил в следующих соревнованиях.

Поддержка со стороны**Ловушка**

Переключивание обязательств, зависимость и привыкание возникают, когда действия, предпринятые для решения системной проблемы, уменьшают (или маскируют) симптомы, но саму проблему не решают. Будь это вещество, притупляющее восприятие, или политика, направленная на то, чтобы скрыть основные проблемы, выбор наркотика препятствует действиям, которые могли бы решить реальную проблему.

Если вмешательство, предпринятое для решения проблемы, ослабляет способность исходной системы самовосстанавливаться, включается усиливающий деструктивный цикл обратной связи. Состояние системы ухудшается; требуется все больше и больше действий для ее поддержания. Система будет становиться все более зависимой от вмешательства извне и все менее и менее способной поддерживать желаемое состояние.

Выход

Лучший выход из этой ловушки — стараться не попадать в нее. Будьте осторожны и постарайтесь не использовать поддержку, которая приводит к устранению симптомов или ослаблению сигналов, свидетельствующих о наличии проблемы, а на самом деле проблему не затрагивает. Отвлекитесь от краткосрочных методов поддержки и уделите внимание долгосрочной реструктуризации.

Обход правил

Ловушка

Правила, разработанные для того, чтобы управлять системой, могут привести к попытке их обойти — искаженному поведению, которое создает видимость следования правилам или достижения целей, но фактически извращает систему.

Выход

Разработка новых или совершенствование действующих правил таким образом, чтобы направить креативность исполнителей не на обход правил, а на их выполнение.

Неправильная постановка цели

Ловушка

Поведение системы особенно чувствительно к тому, какие цели преследуют циклы обратной связи. Если цели — индикаторы выполнения правил — определены неточно или неполно, система может послушно работать над получением результата, который на самом деле может оказаться совсем не таким, как ожидали, или ненужным.

Выход

Укажите параметры и цели, отражающие реальное благосостояние системы. Будьте особенно осторожны, чтобы не спутать усилия с результатом, иначе вы получите систему, которая будет производить усилия, а не результаты.

Точки влияния на поведение систем (в порядке возрастания эффективности)

12. **Постоянные и переменные величины:** субсидии, налоги, нормативы.
11. **Буферы:** соотношение величины стабилизирующих запасов и потоков.
10. **Структура запасов и потоков:** физические системы и их точки пересечения.
9. **Запаздывания:** время отклика на изменение системы.
8. **Балансирующие циклы обратной связи:** зависимость силы обратной связи от воздействий внешних условий, которые она пытается корректировать.
7. **Усиливающий цикл обратной связи:** возрастание силы воздействия цикла.
6. **Информационные потоки:** структуры, имеющие и не имеющие доступ к информации.
5. **Правила:** поощрения, наказания, ограничения.
4. **Самоорганизация:** возможность добавлять, изменять или развивать структуры системы.
3. **Цели:** назначение или функция системы.
2. **Парадигмы:** мировоззренческие установки, на основе которых складывается система (формируются цели, структура, правила, задержки, параметры).
1. **Выход за пределы парадигмы.**

Рекомендации для тех, кто живет в мире систем

1. Уловите ритм системы.
2. Сделайте свои ментальные модели доступными.
3. Признавайте, уважайте и распространяйте информацию.
4. Аккуратно используйте слова и обогатите ваш язык системными концептами.
5. Обращайте внимание на то, что важно, а не только на то, что можно посчитать.
6. Используйте стратегию обратной связи в системах с обратной связью.
7. Действуйте ради блага всей системы.
8. Прислушивайтесь к мудрости системы.
9. Распределите ответственность в системе.
10. Будьте скромными — продолжайте учиться.
11. Цените сложность.
12. Раздвигайте временные горизонты.
13. Не оставайтесь только в рамках своей области.
14. Интересуйтесь жизнью во всех ее проявлениях.
15. Не переставайте стремиться к лучшему.

Модельные уравнения

О системах можно многое узнать, не используя компьютер. Однако стоит только начать изучать поведение даже очень простых систем, как может возникнуть желание узнать побольше о создании собственных формальных математических моделей систем. Модели, о которых рассказано в этой книге, изначально создавались с помощью программного обеспечения *STELLA*, разработанного компанией *isee systems* (ранее *High Performance Systems*). Уравнения в этом разделе записаны так, чтобы их можно было без труда перевести в программные средства для моделирования, такие как *Vensim* (*Ventana Systems*), *STELLA* или *iThink* (*isee systems*).

Приведенные модельные уравнения использовались для создания девяти динамических моделей, описанных в главах 1 и 2. «Преобразователи» могут быть константами или рассчитываться на основе других элементов модели системы. Время обозначается буквой t , а промежуток времени от одного вычисления до следующего — dt .

Глава 1

Уровень воды в ванне (к рис. 5, 6 и 7)

Запас: *вода в ванне* (t) = *вода в ванне* ($t - dt$) + (*входящий поток* – *исходящий поток*) $\times dt$.

Начальное значение запаса: *вода в ванне* = 50 л.

t = мин.;

dt = 1 мин.

Время = 10 мин.

Входящий поток: *входящий поток* = 0 л/мин. за время с 0 до 5 мин.;

5 л/мин. за время с 6 до 10 мин.;

Исходящий поток: *исходящий поток* = 5 л/мин.

Охлаждение или нагрев чашки кофе (к рис. 10 и 11)

Охлаждение

Запас: *температура кофе* (t) = *температура кофе* ($t - dt$) – (*охлаждение* $\times dt$).

Начальное значение запаса: *температура кофе* = 100 °С, 80 °С и 60 °С — для трех разных моделируемых экспериментов.

t = мин.;

dt = 1 мин.

Время остывания = 8 мин.

Исходящий поток: *остывание* = *разность температур* $\times 10\%$.

Преобразователи: *разность температур* = *температура кофе* – *температура воздуха в помещении*;

температура воздуха в помещении = 18 °С.

Нагрев

Запас: *температура кофе* (t) = *температура кофе* ($t - dt$) + (*нагрев* $\times dt$).

Начальное значение запаса: *температура кофе* = 0 °C, 5 °C и 10 °C — для трех разных моделируемых экспериментов.

t = мин.;

dt = 1 мин.

Время нагрева = 8 мин.

Входящий поток: *нагрев* = *разность температур* \times 10%.

Преобразователи: *разность температур* = *температура воздуха в помещении* – *температура кофе*;

температура воздуха в помещении = 18 °C.

Банковский счет (к рис. 12 и 13)

Запас: *сумма на банковском счете* (t) = *сумма на банковском счете* ($t - dt$) + (*начисленные проценты* $\times dt$).

Начальное значение запаса: *сумма на банковском счете* = 100 долл.

t = годы;

dt = 1 год.

Время накопления = 12 лет.

Входящий поток: *начисленные проценты* (долл./год) = *сумма на банковском счете* \times *процентная ставка*.

Преобразователи: *процентная ставка* = 2%, 4%, 6%, 8% и 10% годовых — для пяти разных вариантов.

Глава 2**Термостат (к рис. 14–20)**

Запас: *температура в помещении* (t) = *температура в помещении* ($t - dt$) + (*тепло от обогревателя* – *тепло, выходящее наружу*) $\times dt$.

Начальное значение запаса:

температура в помещении = 10 °C (обогрев холодного помещения);

температура в помещении = 18 °C (охлаждение теплого помещения).

t = часы;

dt = 1 ч.

Время работы термостата = 8 ч., 24 ч.

Входящий поток: тепло от обогревателя = минимальное от разницы между желаемой и фактической температурой в комнате или $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Исходящий поток: тепло, выходящее наружу = расхождение между температурой внутри и снаружи $\times 10\%$ (для дома с хорошей изоляцией);

тепло, выходящее наружу = разница между температурой внутри и снаружи $\times 30\%$ (для дома с плохой изоляцией).

Преобразователи: настройка термостата = $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Разница между желаемой и фактической температурой в помещении = максимум от (установка термостата – температура в помещении) или 0.

Разница между температурой внутри и снаружи = комнатная температура – $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при постоянной температуре снаружи (рис. 16–18)).

Разница между температурой внутри и снаружи = комнатная температура – температура снаружи в течение 24 часов (рис. 19 и 20).

Изменение температуры снаружи показано на рисунке.



Изменение температуры снаружи — от $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ днем до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ночью в течение 24 часов

Численность населения (к рис. 21–26)

Запас: численность населения (t) = численность населения ($t - dt$) + (рождаемость – смертность) $\times dt$.

Начальное значение запаса: *численность населения* = 6,6 млрд человек.

t = годы;

dt = 1 год.

Период времени, на который делается расчет = 100 лет.

Входящий поток: *рождаемость* = *численность населения* × *коэффициент рождаемости*.

Исходящий поток: *смертность* = *численность населения* × *коэффициент смертности*.

Преобразователи:

Рис. 22:

коэффициент смертности = 0,009 (9 смертей на 1000 человек);

коэффициент рождаемости = 0,021 (21 рождение на 1000 человек).

Рис. 23:

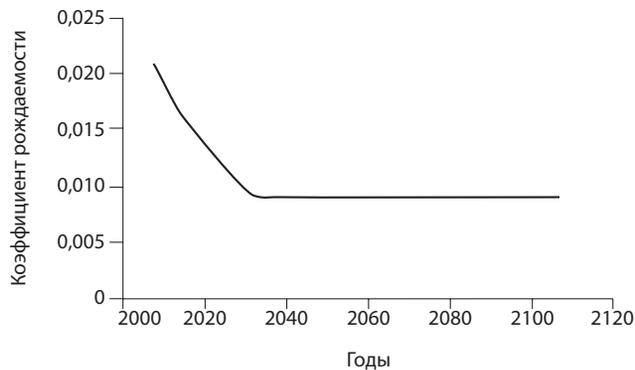
коэффициент смертности = 0,030;

коэффициент рождаемости = 0,021.

Рис. 24:

коэффициент смертности = 0,009;

коэффициент рождаемости = сначала 0,021, затем падает до 0,009, как показано на графике ниже.

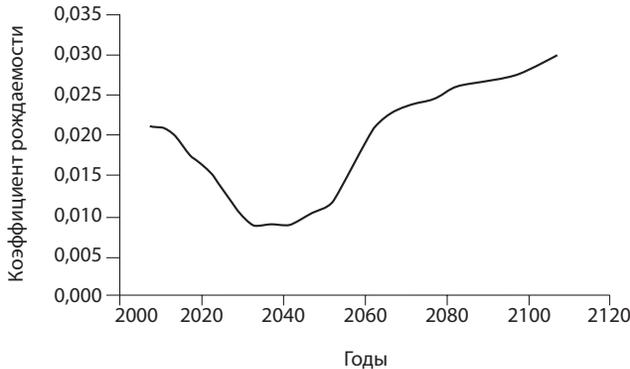


Изменение коэффициента рождаемости (к рис. 24)

Рис. 26:

коэффициент смертности = 0,009;

коэффициент рождаемости = сначала 0,21, падает до 0,009, но затем повышается до 0,30, как показано на графике ниже.



Изменение коэффициента рождаемости (к рис. 26)

Капитал (к рис. 27 и 28)

Запас: $\text{капитал}(t) = \text{капитал}(t - dt) + (\text{инвестиции} - \text{амортизация}) \times dt$.

Начальное значение запаса: $\text{капитал} = 100$.

t = годы;

$dt = 1$ год.

Период времени, на который делается расчет = 50 лет.

Входящий поток: $\text{инвестиции} = \text{годовой объем производства} \times \text{доля инвестиций}$.

Исходящий поток: $\text{амортизация} = \text{капитал} / \text{продолжительность жизни капитала}$.

Преобразователи:

$\text{годовой объем производства} = \text{капитал} \times \text{объем производства на единицу капитала}$;

$\text{продолжительность жизни капитала} = 10, 15 \text{ и } 20 \text{ лет}$ — для трех разных вариантов моделей;

$\text{доля инвестиций} = 20\%$;

$\text{объем производства на единицу капитала} = 1/3$.

Коммерческие товарные запасы автомобилей на складе (к рис. 29–36)

Запас: количество автомобилей на складе завода (t) = количество автомобилей на складе завода ($t - dt$) + (поставки – продажи) $\times dt$.

Начальное значение запаса: количество автомобилей на складе у дилера = 200 шт.;

t = дни;

dt = 1 день.

Период времени, на который делается расчет = 100 дней.

Входящие потоки: поставки от производителя = 20 (за время от 0 до 5 дней);

заказ производителю = t – задержка доставки (время от 6 до 100 дней).

Исходящие потоки: продажи = минимальное значение или запаса автомобилей на складе у дилера или потребительского спроса.

Преобразователи:

потребительский спрос = 20 автомобилей в день (за время с 0-го по 25-й день);

t = 22 автомобиля в день (за время с 26-го по 100-й день);

ожидаемые продажи = среднее значение продаж за время задержки восприятия;

желаемый запас на складе = ожидаемые продажи \times 10%;

расхождение = желаемое количество на складе – количество автомобилей у дилера;

заказ производителю = максимальное значение от ожидаемых продаж + расхождение или 0 для рис. 32;

заказ производителю = максимальное значение от ожидаемых продаж + расхождение / задержка отклика) или 0 для рис. 34–36.

Запаздывания:

Рис. 30:

запаздывание восприятия = 0;

запаздывание отклика = 0;

запаздывание поставки = 0.

Рис. 32:

запаздывание восприятия = 5 дней;

запаздывание отклика = 3 дня;

запаздывание поставки = 5 дней.

Рис. 34:

запаздывание восприятия = 2 дня;

запаздывание отклика = 3 дня;

запаздывание поставки = 5 дней.

Рис. 35:

запаздывание восприятия = 5 дней;

запаздывание отклика = 2 дня;

запаздывание поставки = 5 дней.

Рис. 36:

запаздывание восприятия = 5 дней;

запаздывание отклика = 6 дней;

запаздывание поставки = 5 дней.

Невозобновляемый запас ограничивает использование возобновляемого (к рис. 37–41)

Запас: $\text{ресурс}(t) = \text{ресурс}(t - dt) - (\text{добыча} \times dt)$.

Начальное значение запаса:

$\text{ресурс} = 1000$ — для рис. 38, 40 и 41;

$\text{ресурс} = 1000, 2000$ и 4000 — для трех разных сравнительных моделей на рис. 39.

Исходящий поток: $\text{добыча} = \text{капитал} \times \text{выработка на единицу производственного капитала}$.

$t = \text{годы}$;

$dt = 1 \text{ год}$.

Период времени, на который делается расчет = 100 лет.

Запас: $\text{капитал}(t) = \text{капитал}(t - dt) + (\text{инвестиции} - \text{амортизация}) \times dt$.

Начальное значение запаса: $\text{капитал} = 5$.

Входящий поток: инвестиции = минимальное значение от прибыли или цели по прибыли (зависит от того, что меньше).

Исходящий поток: $\text{амортизация} = \text{капитал} / \text{срок службы капитала}$.

Преобразователи:

$\text{время жизни капитала} = 20$ лет;

$\text{прибыль} = (\text{цена} \times \text{добыча}) - (\text{капитал} \times 10\%)$;

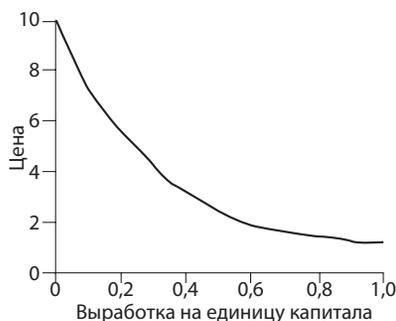
$\text{цель по прибыли} = \text{капитал} \times 10\%$ — для рис. 30–40;

$\text{цель по прибыли} = \text{капитал} \times 6\%, 8\%, 10\%$ и 12% — для четырех разных сравнительных моделей на рис. 40;

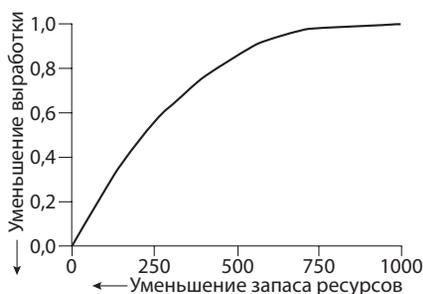
$\text{цена} = 3$ — рис. 38, 39 и 40;

$\text{цена} = 1,2$ (рис. 41), когда выработка на единицу капитала высока, затем возрастает до 10, когда выработка на единицу производственного капитала падает, как показано на рисунке ниже.

Выработка на единицу производственного капитала начинается со значения 1, когда величина запаса ресурсов высока, но падает до 0, когда она снижается, как показано на графике ниже.



Изменение цены в зависимости от выработки на единицу капитала



Эффективность выработки

Возобновляемый запас ограничивает использование возобновляемого запаса (к рис. 42–45)

Запасы: $\text{ресурс}(t) = \text{ресурс}(t - dt) + (\text{возобновление} - \text{урожай}) \times dt$.

Начальное значение запаса: $\text{ресурс} = 1000$.

Входящий поток: $\text{возобновление} = \text{ресурс} \times \text{скорость возобновления}$.

Исходящий поток: $\text{урожай} = \text{капитал} \times \text{выработка на единицу производственного капитала}$.

$t = \text{годы}$;

$dt = 1 \text{ год}$.

Период времени, на который делается расчет = 100 лет.

Запасы: $\text{капитал}(t) = \text{капитал}(t - dt) + (\text{инвестиции} - \text{амортизация}) \times dt$.

Начальное значение запаса: $\text{капитал} = 5$.

Входящий поток: минимальное значение из $\text{инвестиции} = \text{прибыль}$ или цель по прибыли .

Исходящий поток: $\text{амортизация} = \text{капитал} / \text{срок службы капитала}$.

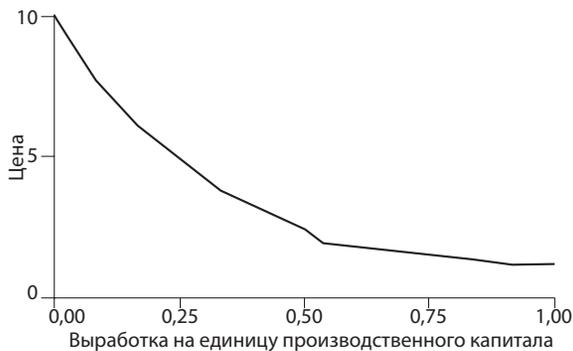
Преобразователи:

$\text{продолжительность жизни капитала} = 20 \text{ лет}$;

$\text{цель по прибыли} = \text{капитал} \times 10\%$;

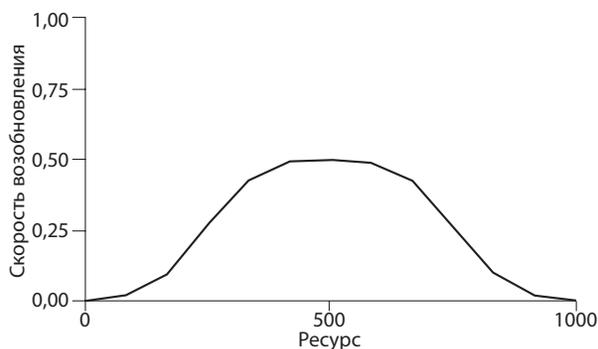
$\text{прибыль} = (\text{цена} \times \text{урожай}) - \text{капитал}$.

Цена начинается со значения 1,2, когда выработка на единицу производственного капитала высока, и увеличивается до 10, когда выработка на единицу производственного капитала падает. Это такая же нелинейная зависимость между ценой и доходом, что и в предыдущей модели.



$\text{Скорость возобновления} = 0$, когда запас или полностью заполнен, или полностью истощен.

В середине диапазона скорость возобновления достигает 0,5, как показано на графике ниже.



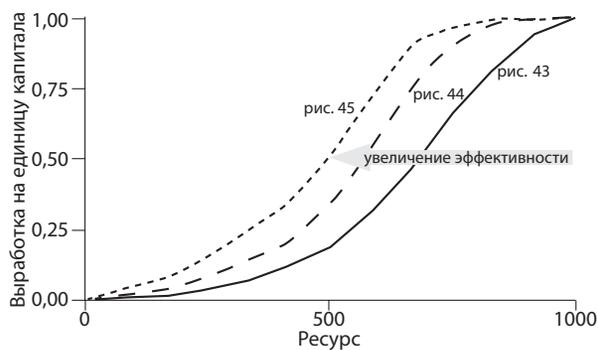
Выработка на единицу капитала — начальное значение = 1, когда запаса достаточно, но затем нелинейно снижается по мере уменьшения запаса ресурса.

Выработка на единицу капитала увеличивается:

наименьшая эффективность (для случая, показанного на рис. 43);

средняя эффективность (для случая, показанного на рис. 44);

наибольшая эффективность (для случая, показанного на рис. 45).



ПРИМЕЧАНИЯ

Введение

1. Russell Ackoff, The Future of Operational Research Is Past, Journal of the Operational Research Society 30, no. 2 (February 1979): 93–104.
2. Idries Shah, Tales of the Dervishes (New York: E. P. Dutton, 1970), 25.

Глава 1

1. Poul Anderson, цит. по Arthur Koestler, The Ghost in the Machine (New York: Macmillan, 1968), 59.
2. Ramon Margalef, Perspectives in Ecological Theory, Co-Evolution Quarterly (Summer 1975), 49.
3. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика). М. : Прогресс, 1971.
4. Honoré Balzac, цит. по George P. Richardson, Feedback Thought in Social Science and Systems Theory (Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1991), 54.
5. Jan Tinbergen, цит. по George P. Richardson, Feedback Thought in Social Science and Systems Theory, 44.

Глава 2

1. Эйнштейн А. О методе теоретической физики // Эйнштейн А. Физика и реальность. М. : Наука, 1965. С. 61–66.
2. Концепцию «системного зоопарка» разработал профессор Хартмут Боссель из Университета Касселя в Германии. Три его последние книги из серии «Системный зоопарк» содержат описания систем и моделей более чем ста «животных», о некоторых из них

рассказывается здесь: Hartmut Bossel, *System Zoo Simulation Models* — Vol. 1: Elementary Systems, Physics, Engineering; Vol. 2: Climate, Ecosystems, Resources; Vol. 3: Economy, Society, Development (Norderstedt, Germany: Books on Demand, 2007).

3. Для дополнительной информации см. главу “Population Sector” в Dennis L. Meadows et al., *Dynamics of Growth in a Finite World* (Cambridge MA: Wright-Allen Press, 1974).
4. Для дополнительной информации см. 2-ю главу в издании: Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й. *Пределы роста. 30 лет спустя*. М. : Академкнига, 2008.
5. Jay W. Forrester, 1989. “The System Dynamics National Model: Macrobehavior from Microstructure”, in P. M. Milling and E. O. K. Zahn, eds., *Computer-Based Management of Complex Systems: International System Dynamics Conference* (Berlin: Springer-Verlag, 1989).

Глава 3

1. Леопольд О. *Календарь песчаного графства*. М. : Мир, 1983. С. 146.
2. C. S. Holling, ed., *Adaptive Environmental Assessment and Management* (Chichester UK: John Wiley & Sons, 1978), 34.
3. Ludwig von Bertalanffy, *Problems of Life: An Evaluation of Modern Biological Thought* (New York: John Wiley & Sons Inc., 1952), 105.
4. Jonathan Swift, “Poetry, a Rhapsody, 1733”. In *The Poetical Works of Jonathan Swift* (Boston: Little Brown & Co., 1959).
5. Взято в перефразированном виде из издания: Herbert Simon, *The Sciences of the Artificial* (Cambridge MA: MIT Press, 1969), 90–91 and 98–99, MA: MIT Press, 1969), с. 90–91 и 98–99.

Глава 4

1. Wendell Berry, *Standing by Words* (Washington, DC: Shoemaker & Hoard, 2005), 65.
2. Kenneth Boulding, “General Systems as a Point of View”, in Mihajlo D. Mesarovic, ed., *Views on General Systems Theory, proceedings of the Second Systems Symposium, Case Institute of Technology, Cleveland, April 1963* (New York: John Wiley & Sons, 1964).

3. Глик Дж. Хаос. Создание новой науки. СПб. : Амфора, 2001. С. 35–36.
4. История восстановлена по нескольким источникам: C. S. Holling, “The Curious Behavior of Complex Systems: Lessons from Ecology”, in H. A. Linstone, *Future Research* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1977); B. A. Montgomery et al., *The Spruce Budworm Handbook*, Michigan Cooperative Forest Pest Management Program, Handbook 82–87, November, 1982; *The Research News*, University of Michigan, April–June, 1984; Kari Lie, “The Spruce Budworm Controversy in New Brunswick and Nova Scotia”, *Alternatives* 10, no. 10 (Spring 1980), 5; R. F. Morris, “The Dynamics of Epidemic Spruce Budworm Populations”, *Entomological Society of Canada*, no. 31 (1963).
5. Garrett Hardin, “The Cybernetics of Competition: A Biologist’s View of Society”, *Perspectives in Biology and Medicine* 7, no. 1 (1963): 58–84.
6. Форрестер Дж. Динамики развития города. М. : Прогресс, 1974.
7. Vaclav Havel, from a speech to the Institute of France, quoted in the *International Herald Tribune*, November 13, 1992, p. 7.
8. Dennis L. Meadows, *Dynamics of Commodity Production Cycles* (Cambridge MA: Wright-Allen Press, Inc., 1970).
9. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов. В 2 т. М. : Наука, 1993.
10. Herman Daly, ed., *Toward a Steady-State Economy* (San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1973), 17; Herbert Simon, “Theories of Bounded Rationality”, in R. Radner and C. B. McGuire, eds., *Decision and Organization* (Amsterdam: North-Holland Pub. Co., 1972).
11. Термин «разумная достаточность» (satisficing) (смешение «удовлетворять» (satisfy) и «быть достаточным» (suffice)) впервые использовался Гербертом Саймоном для описания решений, которые соразмерно удовлетворяют потребность, но не пытаются максимизировать результаты на фоне неполной информации. Simon, *Models of Man* (New York: Wiley, 1957).
12. Philip G. Zimbardo, “On the Ethics of Intervention in Human Psychological Research: With Special Reference to the Stanford Prison Experiment”, *Cognition* 2, no. 2 (1973): 243–256.
13. Эту историю мне рассказали на конференции в Дании, 1973 г.

Глава 5

1. Взято в перефразированном виде из интервью Барри Джеймса: Barry James, "Voltaire's Legacy: The Cult of the Systems Man", International Herald Tribune, December 16, 1992, p. 24.
2. John H. Cushman, Jr., "From Clinton, a Flyer on Corporate Jets?" International Herald Tribune, December 15, 1992, p. 11.
3. World Bank, World Development Report 1984 (New York: Oxford University Press, 1984), 157; Petre Muresan and Ioan M. Copil, "Romania", in B. Berelson, ed., Population Policy in Developed Countries (New York: McGraw-Hill Book Company, 1974), 355–384.
4. Alva Myrdal, Nation and Family (Cambridge, MA: MIT Press, 1968). Original edition published New York: Harper & Brothers, 1941.
5. "Germans Lose Ground on Asylum Pact", International Herald Tribune, December 15, 1992, p. 5.
6. Garrett Hardin, "The Tragedy of the Commons", Science 162, no. 3859 (13 December 1968): 1243–1248 (перевод см.: <http://www.inliberty.ru/library/211-tragediya-resursov-obshchego-polzovaniya>).
7. Erik Ipsen, "Britain on the Skids: A Malaise at the Top", International Herald Tribune, December 15, 1992, p. 1.
8. Clyde Haberman, "Israeli Soldier Kidnapped by Islamic Extremists", International Herald Tribune, December 14, 1992, p. 1.
9. Sylvia Nasar, "Clinton Tax Plan Meets Math", International Herald Tribune, December 14, 1992, p. 15.
10. См. Jonathan Kozol, Savage Inequalities: Children in America's Schools (New York: Crown Publishers, 1991).
11. Цит. по Thomas L. Friedman, "Bill Clinton Live: Not Just a Talk Show", International Herald Tribune, December 16, 1992, p. 6.
12. Keith B. Richburg, "Addiction, Somali-Style, Worries Marines", International Herald Tribune, December 15, 1992, p. 2.
13. Calvin and Hobbes comic strip, International Herald Tribune, December 18, 1992, p. 22.
14. Wouter Tims, "Food, Agriculture, and Systems Analysis", Options, International Institute of Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria no. 2 (1984), 16.
15. "Tokyo Cuts Outlook on Growth to 1.6%", International Herald Tribune, December 19–20, 1992, p. 11.

16. Выступление Роберта Кеннеди в Университете Канзаса, Лоренс, Канзас, 18 марта 1968 года. Доступно на сайте <http://www.jfklibrary.org/Historical+Resources/Archives/Reference+Desk/Speeches/RFK/RFKSpeech68Mar18UKansas.htm>. Accessed 6/11/08.
17. Wendell Berry, *Home Economics* (San Francisco: North Point Press, 1987), 133.

Глава 6

1. Lawrence Malkin, “IBM Slashes Spending for Research in New Cutback”, *International Herald Tribune*, December 16, 1992, p. 1.
2. Форрестер Дж. *Мировая динамика*. М. : АСТ, 2003.
3. Форрестер Дж. *Динамика развития города*. М. : Прогресс, 1974.
4. Благодарность Давиду Хольмстрему из Сантьяго, Чили.
5. См. модель колебаний цен на сырьевые товары: Dennis L. Meadows, *Dynamics of Commodity Production Cycles* (Cambridge, MA: Wright-Allen Press, Inc., 1970).
6. John Kenneth Galbraith, *The New Industrial State* (Boston: Houghton Mifflin, 1967).
7. Ralph Waldo Emerson, “War”, lecture delivered in Boston, March, 1838. Reprinted in *Emerson’s Complete Works*, vol. XI (Boston: Houghton, Mifflin & Co., 1887), 177.
8. Thomas Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: University of Chicago Press, 1962).

Глава 7

1. Честертон Г. К. *Ортодоксия* / Пер. Н. Л. Трауберг, Л. Б. Сумм. Белорусская православная церковь, 2014. Гл. 6 (<http://chesterton.velchel.ru/index.php?cnt=9&sub=5&page=1>).
2. Для примера того, как системное мышление и другие человеческие качества могут сочетаться в рамках корпоративного управления, см.: Питер Сенге. *Пятая дисциплина. Искусство и практика самообучающейся организации*. М. : Олимп-Бизнес, 2003.
3. Philip Abelson, “Major Changes in the Chemical Industry”, *Science* 255, no. 5051 (20 March 1992), 1489.
4. Fred Kofman, “Double-Loop Accounting: A Language for the Learning Organization”, *The Systems Thinker* 3, no. 1 (February 1992).

5. Wendell Berry, *Standing by Words* (San Francisco: North Point Press, 1983), 24, 52.
6. Эту историю мне рассказал Эд Робертс из Pugh-Roberts Associates.
7. Garrett Hardin, *Exploring New Ethics for Survival: the Voyage of the Spaceship Beagle* (New York, Penguin Books, 1976), 107.
8. Donald N. Michael, “Competences and Compassion in an Age of Uncertainty”, *World Future Society Bulletin* (January/February 1983).
9. Donald N. Michael quoted in H. A. Linstone and W. H. C. Simmonds. eds., *Futures Research* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1977), 98–99.
10. Альдо Леопольд. *Календарь песчаного графства*. М. : Мир, 1980.
11. Kenneth Boulding, “The Economics of the Coming Spaceship Earth”, in H. Jarrett, ed., *Environmental Quality in a Growing Economy: Essays from the Sixth Resources for the Future Forum* (Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1966), 11–12.
12. Joseph Wood Krutch, *Human Nature and the Human Condition* (New York: Random House, 1959).

Дополнительная литература по теме

В дополнение к источникам, указанным в сносках, можно порекомендовать еще несколько книг. В областях системного мышления и системной динамики в настоящее время существует очень много литературы, охватывающей разные дисциплины.

Системное мышление и моделирование

Книги

Хартмут Боссель, *Systems and Models: Complexity, Dynamics, Evolution, Sustainability* (Нордерштедт, Германия: Books on Demand, 2007). Всесторонний учебник, в котором представлены фундаментальные концепции и подходы к пониманию и моделированию сложных систем, формирующих динамику нашего мира. С большим библиографическим списком по данной теме.

Хартмут Боссель, *System Zoo Simulation Models*, том 1: *Elementary Systems, Physics, Engineering*; том 2: *Climate, Ecosystems, Resources*; Том 3: *Economy, Society, Development* (Нордерштедт, Германия: Books on Demand, 2007). Сборник описаний, результатов и упражнений к более

чем ста имитируемым моделям динамических систем из самых разных областей науки.

Хартмут Боссель. Показатели устойчивого развития: теория, метод, практическое использование. Отчет, представленный на рассмотрение Балатонской группы. Тюмень : Изд-во Ин-та проблем освоения Севера СО РАН, 2001.

Джей Форрестер, *Principles of Systems* (Кембридж, MA: Pegasus Communications, 1990). Это первый текст о системной динамике, опубликованный в 1968 году.

Джей Форрестер. Индустриальная динамика. М. : Прогресс, 1971.

Джей Форрестер. Мировая динамика. М. : Наука, 1978.

Эрвин Ласло, *A Systems View of the World* (Крескил, NJ: Hampton Press, 1996).

Эрвин Ласло. Теория целостности Вселенной: наука и поле акаши. М. : Весь, 2011.

Джордж П. Ричардсон, *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory* (Филадельфия: University of Pennsylvania Press, 1991). Масштабная, разнообразная и увлекательная история развития концепций обратной связи в социальной теории.

Линда Бут Свини, Деннис Медоуз. Сборник игр для развития системного мышления. М. : Просвещение, 2007. Подборка из 30 упражнений для развития системного мышления и представлений о мысленных моделях.

О'Коннор Дж., Макдермотт Й. Искусство системного мышления. Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем. М. : Альпина Бизнес Букс. 2006.

Организации, сайты, периодические издания и программное обеспечение

Creative Learning Exchange — организация, занимающаяся развитием «системных умов» по модели образования K-12. Сайт издательства CLE для преподавателей и студентов: www.clexchange.org.

isee systems — разработчик программ *STELLA* и *iThink* для моделирования динамических систем: www.iseesystems.com.

Pegasus Communications — издатель двух вестников (*The Systems Thinker* и *Leverage Points*) и множества книг по системному мышлению: www.pegasuscom.com.

System Dynamics Society — международный форум для исследователей, преподавателей, консультантов и практикующих специалистов, посвященный проблемам разработки и использования системного мышления и системной динамики во всем мире. *The System Dynamics Review* — официальный журнал *System Dynamics Society*: www.systemdynamics.org.

Ventana Systems — разработчик программного обеспечения *Vensim* для моделирования динамических систем: vensim.com.

Системное мышление и бизнес

Питер Сенге. Пятая дисциплина. Искусство и практика обучающейся организации. М. : Олимп-Бизнес, 2009. Системное мышление в бизнес-среде, а также более отвлеченные инструменты, дополняющие системное мышление, такие как создание гибких ментальных моделей и визуализация.

Питер Сенге и др. Танец перемен: новые проблемы самообучающихся организаций. М. : Олимп-Бизнес, 2004.

Деннис Шервуд. Видеть лес за деревьями. Системный подход для совершенствования бизнес-модели. М. : Альпина Паблишер, 2012.

Джон Стерман, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World* (Бостон: Irwin McGraw Hill, 2000).

Системное мышление и окружающая среда

Эндрю Форд, *Modeling the Environment* (Вашингтон, DC: Island Press, 1999).

Системное мышление, общество и социальные изменения

Джоанна Мэйси, *Mutual Causality in Buddhism and General Systems Theory* (Олбани, NY: State University of New York Press, 1991).

Деннис Медоуз, Йорген Рандерс, Донелла Медоуз, Уильям Беренс. Пределы роста. М. : Изд-во МГУ, 1991.

Деннис Медоуз, Йорген Рандерс, Донелла Медоуз. За пределами роста. М. : Прогресс; Пангея, 2004.

Деннис Медоуз, Йорген Рандерс, Донелла Медоуз. Пределы роста. 30 лет спустя. М. : Академкнига, 2008.

Донелла Медоуз, Дженнифер Робинсон. Электронный оракул. Компьютерные модели и решение социальных проблем. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015.

Донелла Медоуз, *The Global Citizen* (Вашингтон, DC: Island Press, 1991).

БЛАГОДАРНОСТИ

Очень многие люди помогли издать эту книгу. В своей оригинальной рукописи Донелла (Дана) Медоуз выражала особую благодарность *Balaton Group*, группе анализа экологических систем в Касселе, программе экологических исследований в Дартмуте, Яну и Марго Болдуину, издательству *Chelsea Green Publishing*, Хартмуту и Райку Босселю, *High Performance Systems* (в настоящее время известны как *isee systems*), а также многим читателям и рецензентам. Она также отметила роль ее «фермерской семьи» — людей, кто на протяжении многих лет жил и работал на органической ферме в Плейнфилде, в Нью-Гэмпшире.

Как редактор, который подготовил рукопись Даны к публикации, я хотела бы поблагодарить также Энн и Ханса Цуллигер, Фонд третьего тысячелетия, руководство и персонал Института устойчивости: они оказывали неоценимую поддержку в работе над этим проектом. Критические замечания многих рецензентов — Хартмута Боссея, Тома Фиддамана, Криса Содерквиста, Филадельфа Райса, Денниса Медоуза, Бет Савин, Хелен Уэббро, Джима Шлея, Питера Штейна, Берта Козна, Хантера Ловинса и студентов Школы управления Президио — помогли сделать эту книгу полезной для всех. Вся команда *Chelsea Green Publishing* принимала участие в переработке сложной рукописи в удобную книгу. Я благодарю всех за ту работу, что они провели, работу, которая поможет всем нам лучше понимать нашу родную планету.

И наконец, я благодарю Дану Медоуз за все, что я узнала от нее в процессе работы над этой книгой.

Диана Райт

ОБ АВТОРЕ

Донелла Медоуз (1941–2001) была ученым, специализировавшимся в области химии и биофизики (Ph. D., Гарвардский университет). В 1970 году она присоединилась к команде Массачусетского технологического института под руководством Денниса Медоуза, разработавшей глобальную компьютерную модель *World-3*, при помощи которой исследуется динамика численности населения и экономический рост на планете. В 1972 году в соавторстве с другими специалистами опубликовала книгу «Пределы роста», в которой доступным языком описывались идеи проекта *World-3*. «Пределы» были переведены на 28 языков и вызвали дискуссии по всему миру о том, какое влияние на планету может оказать дальнейшее развитие производства, и о том, какой выбор должны сделать люди. После этого Медоуз написала еще девять книг, в которых рассматривались вопросы, касающиеся глобального моделирования и устойчивого развития систем. В течение 15 лет она вела еженедельную колонку «Гражданин мира», в которой старалась продемонстрировать текущее состояние общества и сложность взаимосвязей в мире.

В 1991 году Медоуз получила награду в области охраны природы и окружающей среды от фонда Пью, а в 1994 году — стипендию Мак-Артура. В 1996 году она основала Институт устойчивого развития, в задачи которого входило объединение принципов системного мышления и обучения для решения экономических, экологических и социальных проблем. С 1972 года до своей смерти в 2001 году Дана преподавала на кафедре экологических исследований Дартмутского колледжа.

ПРОДАЖИ

МЕНЕДЖМЕНТ

ИСТОРИИ УСПЕХА

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

ПЕРЕГОВОРЫ

HR

МИФ Бизнес

Все книги по бизнесу

и маркетингу:

mif.to/business

mif.to/marketing

Узнавай первым

о новых книгах,

скидках и подарках

из нашей рассылки

mif.to/b-letter

#mifbooks    

Научно-популярное издание

Донелла Медоуз

Азбука системного мышления

Главный редактор *Артем Степанов*

Ответственный редактор *Наталья Довнар*

Арт-директор *Алексей Богомолов*

Литературный редактор *Ирина Бережная*

Верстка *Екатерина Матусовская*

Верстка обложки *Наталья Майкова*

Корректоры *Вероника Ганчурина, Олег Пономарев, Мария Кантурова*

Мы живем в мире систем. Больших и малых, сложных и не очень, ограниченных и глобальных: дерево, водопровод, футбольная команда, человеческий организм...

Системы повсюду.

Они ведут себя схожим образом.

Изменить систему можно, лишь понимая ее поведение.

Актуальность книги, которую преподаватель и исследователь систем Донелла Медоуз написала четыре десятилетия назад, растет с каждым годом. Мир усложняется, но, несмотря на технические и интеллектуальные достижения, мы не можем справиться с войнами, загрязнением окружающей среды, хроническими болезнями, экономическими и социальными кризисами. Причина проста: это не изолированные явления, а следствия нарушений во внутренней структуре систем.

Системное мышление и анализ позволяют взглянуть на мир по-новому, заметить взаимосвязи, обратиться к первопричинам, найти решение. Это шанс действовать в правильном направлении. Вы научитесь управлять системами, а вместе с ними и своей жизнью.

Классическая концепция Донеллы Медоуз будет интересна всем — от студента до собственника крупного бизнеса.

ISBN 978-5-00117-352-6



9 785001 173526 >

издательство
МАНН, ИВАНОВ И ФЕРБЕР

Максимально полезные книги
на сайте mann-ivanov-ferber.ru

 facebook.com/mifbooks

 vk.com/mifbooks

 instagram.com/mifbooks

