



Иерархические системы развиваются с самого нижнего уровня. Исходная цель верхних уровней иерархии состоит в том, чтобы помогать нижним уровням достигать своих целей.

Если участника команды больше заботит личная слава, чем победа команды, это может привести к тому, что команда проиграет. Если клетки организма перестают выполнять свои функции в рамках иерархии и начинают бесконтрольно делиться, мы называем это раком. Если студенты считают, что их основная задача — получать хорошие оценки (а не знания!), то начинается повальное списывание, использование шпаргалок, приводящее к противоположным результатам. Если отдельная корпорация подкупает правящие структуры для лоббирования своих интересов, то неизбежно страдают механизмы рыночной конкуренции, и это негативно отражается на всем обществе.

Если интересы подсистемы достигаются в ущерб интересам системы в целом, такое поведение называют субоптимизацией.¹⁹

Не только субоптимизация, но и чрезмерный контроль, до предела централизованное управление, могут наносить системе вред. Если бы мозг полностью контролировал каждую клетку так, что она не смогла бы выполнять функции собственного поддержания, то весь организм мог бы погибнуть. Если правила и нормы поведения, навязанные руководством, не дают студентам или преподавателям свободно обмениваться знаниями в разных областях, то цель университета никогда не будет достигнута. Указания тренера могут прийти в противоречие с непосредственным чутьем хорошего игрока, и тогда вся команда потеряет кураж. В экономике тоже много примеров чрезмерного контроля из центра, касается ли это отдельных предприятий или целых стран. На протяжении истории такой контроль часто приводил к катастрофическим событиям, а все они не проходят бесследно.

Чтобы система работала как следует, иерархической структуре надо соблюдать равновесие между благосостоянием, свободами и ответственностью подсистем и системы в целом. Определенный централизованный контроль нужен для того, чтобы координировать действия по достижению общей цели, а автономность необходима для того, чтобы каждая подсистема могла самоорганизовываться, поддерживать себя в хорошем состоянии и нормально работать.

Способность к устойчивости, самоорганизации и образованию иерархических структур — это три причины, по которым динамические системы так эффективны. Развитие этих свойств в системе и управление ими может улучшить ее способность эффективно работать на протяжении долгого времени — обеспечить самоподдержание. Но при этом поведение систем все равно может нас сильно удивлять.

4

ГЛАВА

Почему поведение систем бывает таким неожиданным

Проблема в том... что мы чудовищно мало знаем.

Самые образованные из нас все равно невежественны...

Чтобы обрести какие-то знания, сначала нужно признаться в неведении, разоблачить собственное невежество.

Все, что нам известно о мире, говорит о том, что он гораздо больше и сложнее, чем мы можем себе представить.

¹⁹ Примером субоптимизации может служить часто встречающаяся в бизнесе ситуация, когда действия отдельного подразделения компании максимизируют его прибыль, но вызывают снижение прибыли предприятия в целом, причем иногда в гораздо большем масштабе. — *Примеч. ред.*

Венделл Берри , писатель и фермер из Кентукки

Поведение даже самых простых систем в нашем «зоопарке» могло вас озадачить. Я и сама не устаю им удивляться, хотя вела курс по системам много лет. То, что системы ведут себя неожиданно, характеризует не только системы, но и нас самих. Сравнение знаний о реальном мире с тем, что я знаю (или думаю, что знаю) о динамических системах, всегда показывает, что наш уровень знаний не стоит переоценивать. Полезно помнить три важных истины:

Wendell Berry. Standing by Words. Washington, DC: Shoemaker & Hoard, 2005. 65.

1. Все, что, как нам кажется, мы знаем о мире, — лишь модель. Любое слово и любой язык — тоже модели. Все карты и статистические данные, все книги и базы данных, уравнения и компьютерные программы — модели. То, как я представляю себе мир, — моя *мысленная* модель. Ничто из перечисленного не является *реальным* миром сейчас и никогда им не станет.

2. Обычно наши модели хорошо соотносятся с реальностью. Именно поэтому наш биологический вид достиг в биосфере таких успехов. Особенно сложные, можно даже сказать, изощренные мысленные модели мы разработали для восприятия того, что непосредственно окружает нас: природа и все сигналы, что мы получаем от нее; окружающие люди; организации, с которыми мы имеем дело.

3. Но вместе с тем наши модели очень далеки от того, чтобы представлять мир во всей полноте. Из-за этого мы совершаем ошибки. Из-за этого окружающая реальность час- (то нас удивляет и ставит в тупик. Наш мозг позволяет одновременно отслеживать всего несколько параметров и переменных. Порой мы приходим к нелогичным заключениям, даже если исходные положения были правильными. Случается и наоборот — иногда мы делаем верные выводы из неверных исходных данных. Большинство людей никак не ожидает того, насколько быстрый рост способна вызывать экспоненциальная зависимость. И мало кто может интуитивно уловить, как погасить колебания в сложной системе.

Можно сказать, вся эта книга построена на двойственности: мы потрясающе много знаем о том, как работает этот мир, но все равно этого недостаточно. Наши знания поразительны, но еще больше потрясает наше незнание. Мы можем улучшить наше понимание, но его нельзя сделать абсолютным. Это две стороны одной медали, и все мои знания о системах только подтверждают эту двойственность.

вс, что, как нам кажется, мы знаем о мире, — модель. Наши модели очень хорошо соотносятся с реальностью, но вместе с тем они далеки от того, чтобы представлять мир во всей полноте.

В этой главе описаны некоторые причины, по которым динамические системы часто ведут себя неожиданно. По сути, все это примеры того, как наши мысленные модели дают сбой и не могут достаточно точно описать реальный мир, — причем только те примеры, которые можно привести на основании системного представления, а ведь могут быть и другие. Это предостережение о том, что можно налететь на подводные камни. Обойти их в мире, где все связано со всем и где есть масса обратных связей, невозможно, если обращать внимание только на краткосрочные события, игнорировать структуру системы и поведение в долгосрочной перспективе. Необходимо знать, что такое ложные границы и ограниченная рациональность, не забывать об ограничивающих факторах, нелинейных зависимостях и запаздываниях. Если не учитывать ключевые свойства систем — устойчивость, самоорганизацию и иерархическое строение — то их структура и поведение будут истолкованы неправильно, и успешно взаимодействовать с ними станет невозможно.



Хорошие это новости или плохие, зависит от того, хотите ли вы сами управлять миром

или согласны, чтобы он управлял вами, время от времени преподнося сюрпризы. Но надо честно предупредить: даже если вы понимаете все перечисленные свойства и особенности систем, мир все равно будет иногда удивлять вас — просто немного реже.

События, притягивающие внимание

Система — черный ящик, ее нам неизвестна суть. Никто не знает, что в ней происходит.

Мы видим то, что входит и выходит,

Но внутрь нее нельзя нам заглянуть.

Мы можем только, проявив старание,

За тем, что входит и выходит, наблюдать,

Чтобы потом хоть как-то рассчитать Связь входа с выходом и состоянием.

Чтоб дать прогноз, ответить на вопросы, Зависимость должна быть однозначна и ясна.

Коль так — задача наша решена.

Но если нет — то мы опять остались с носом.

Кеннет Боулдинг, экономист (перевод Е. С. Оганесян)

Системы могут вводить нас в заблуждение тем, как они себя преподносят (или мы «сами обманываться рады») — в виде последовательности событий. В новостях нам рассказывают о выборах, военных стычках, политических договоренностях, стихийных бедствиях, взлетах и провалах на бирже... Основное содержание нашего ежедневного общения с другими людьми — различные события, имевшие место в то или иное время в том или ином месте. Какая ко-, манда выиграла. Где произошло наводнение. Каков индекс Доу-Джонса и котировки основных компаний. Где открыли новое месторождение нефти. Где свели под корень очередную лес. События — это хронологически увязанные данные, полученные на выходе из системы, из черного ящика.

События могут производить сильное впечатление: аварии и крушения, террористические акты, большие победы, ужасные трагедии... Все это вызывает сильные эмоции. Хотя мы видели тысячи таких событий по телевизору, слышали в новостях и читали про них в газетах, все равно они не похожи одно на другое и продолжают притягивать наше внимание — так же, как прогноз погоды. В обилии событий, ежедневно происходящих в мире, можно утонуть — им нет конца, они всегда будут для нас неожиданностью, потому что при таком восприятии мира невозможно ни предсказать, ни объяснить что бы то ни было. События — видимая часть айсберга, причем не самая важная. Все остальное — сами сложные системы — скрывается под водой, не доступное взгляду.

Мы склонны меньше удивляться в том случае, если в событиях можно уловить определенную последовательность, динамический тип *поведения*. Команда переживает полосу удачных (или неудачных) игр. Уровень воды в реке колеблется сильнее — если идут затяжные дожди, начинается наводнение, если стоит засуха — река мелеет. Индекс Доу-Джонса рос в течение нескольких лет, пока не наступил кризис. Новые месторождения нефти обнаруживают все реже. Сведение лесов происходит со все возрастающей скоростью.

Поведение системы определяет ее характеристики во времени — рост, застой, упадок, колебания, случайные флуктуации, эволюционные изменения. Если бы события в новостях преподносились в историческом контексте, наше понимание систем было бы глубже — на уровне поведения, а не только на уровне отдельных событий. Когда системный мыслитель обнаруживает проблему, первым делом он собирает данные об истории системы, включая графики ее поведения во времени. Поведение за продолжительный срок позволяет подобраться к структуре системы, лежащей в основе этого поведения. А структура, в свою очередь, — ключ к пониманию не только того, *что* происходит, но и *почему*.

Структура системы — это совокупность запасов, потоков и обратных связей. Схемы с прямоугольниками и стрелками (мои студенты прозвали их «клубком спагетти») —

наглядное представление структуры системы. Структура определяет, какое поведение изначально присуще системе. Балансирующий цикл обратной связи, стремящийся добиться конкретной цели, способствует достижению динамического равновесия, а потом поддерживает его. Усиливающий цикл порождает экспоненциальный рост. Связанные вместе, эти циклы могут демонстрировать и рост, и упадок, и равновесие. Если в них, к тому же, заложены запаздывания, то могут возникать еще и колебания. А если циклы включаются на краткое время, то поведение может быть еще более разнообразным и трудно предсказуемым.

Структура системы определяет ее поведение. Поведение системы проявляется в виде событий, происходящих в определенной последовательности.



Системное мышление постоянно использует понятия структуры (диаграммы запасов, потоков и связей) и поведения (графики зависимостей от времени). Специалисты-системщики стараются понять связь между рукой, отпускающей конец пружинки-Слинки (событие), последующими колебаниями (поведение) и механическими характеристиками винтовой спирали Слинки (структура).

Простые примеры — вроде той же игрушки Слинки — делают разницу между событием, поведением и структурой очевидной. Большая часть аналитических обзоров в мире посвящена событиям, несмотря на то, что это очень поверхностный подход. Прислушайтесь к биржевым новостям: как в них объясняется, почему рынок акций ведет себя так, а не иначе? Акции поднялись в цене (упали) потому, что американский доллар упал (поднялся), или базовая ставка выросла (понижилась), или демократы выиграли (проиграли), или войска одной страны вторглись в другую (или не стали вторгаться)... Анализ на уровне событий, не более того.

Такие объяснения не дают никакой возможности предсказать, что будет дальше. На их основании невозможно изменить поведение системы — например, сделать рынок акций более устойчивым, разработать более достоверный индикатор экономического состояния компаний, стимулировать инвестиции...

Экономические аналитики иногда спускаются на один уровень глубже, к поведению системы во времени. Эконометрические модели стараются обнаружить статистически значимые связи между тенденциями, наблюдавшимися в прошлом, — применительно к доходам, накоплениям, инвестициям, государственным расходам, процентным ставкам, годовым объемам производства и тому подобным параметрам. Эти связи описываются зачастую очень сложными уравнениями.

Модели, основывающиеся на поведении, полезнее, чем модели на основе событий, но и у них есть принципиальные недостатки. Во-первых, они, как правило, преувеличивают значение системных потоков и недооценивают значение запасов. Экономисты следят за поведением потоков, потому что именно в этом проявляются самые интересные и быстрые изменения, причем их легко обнаружить. В экономических новостях говорят в основном о производстве продукции и услуг в масштабах страны (это поток), о валовом национальном продукте (ВНП), а не о суммарном физическом капитале (это запас) всех заводов и фабрик в стране, производящих те самые услуги и продукцию. Но если не учитывать, как запасы посредством обратных связей влияют на соответствующие потоки, то нельзя понять ни динамику экономических систем, ни причины их поведения.

Во-вторых (и это более серьезный недостаток), в попытках определить статистические зависимости между потоками специалисты-эконометрики ищут то, чего на самом деле не существует. Нет никаких причин считать, что один поток имеет какую-либо устойчивую связь с каким-либо другим потоком. Потоки увеличиваются и уменьшаются, возникают и исчезают, причем в самых разных сочетаниях, и происходит это в зависимости от значений

запасов, а не других потоков.

Чтобы пояснить это, приведу простой пример. Предположим, вам ничего не известно о термостатах, но у вас за определенное время накоплена масса данных о тепловых потоках, подаваемых в помещение и исходящих из него. Вы можете составить уравнение, по которому эти тепловые потоки изменялись в прошлом: в обычных условиях они управлялись одним и тем же запасом — температурой в помещении. Все потоки зависели от нее и менялись соответственно.

Но ваше уравнение будет работать только до тех пор, пока в структуре системы что-нибудь не изменится. Как только кто-нибудь откроет окно, или проведет работы по улучшению теплоизоляции, или перенастроит обогреватель, или забудет заказать топливо для него (если это дизельная печка), ваше уравнение перестанет действовать. Вы сможете предсказывать температуру в комнате по вашему уравнению только при том условии, что в системе не будет никаких изменений. Но если вас попросят сделать что-то, чтобы в комнате стало теплее, или температура вдруг ни с того ни с сего начнет падать, а вам нужно будет это падение остановить, или вы захотите добиться той же температуры ценой меньших затрат на топливо — во всех этих случаях анализ на основе событий вам ничем не поможет. Придется обратиться к структуре системы.

Вот почему основанные на поведении эконометрические модели хорошо подходят для краткосрочного прогнозирования в экономике, но совершенно не годятся для долгосрочных прогнозов. А уж в вопросах, как улучшить состояние экономики, от этих моделей вообще нет никакого толку.

Это еще одна причина того, что поведение систем часто бывает для нас неожиданным. Происходящие события поглощают все наше внимание. Мы не изучаем их историю, и нам не хватает опыта и знаний, чтобы от истории перейти к структуре системы. А ведь именно она определяет поведение системы и последовательность событий.

Линейное мышление в нелинейном мире

Линейные зависимости понять нетрудно: чем больше, тем пропорционально лучше. Линейные уравнения решаются просто, ими полны все учебники. Линейные зависимости подобны кирпичикам — их можно разобрать, а потом снова сложить вместе, и все кусочки подойдут друг к другу.

А вот нелинейные системы в лоб решить невозможно, такие зависимости складывать нельзя... Нелинейность означает, что по ходу игры правила могут меняться... Эта переменчивость делает расчеты нелинейных систем очень сложной задачей, но зато в них наблюдается такое разнообразие вариантов поведения, которое даже и не снилось линейным системам.

Джеймс Глейк, специалист по фрактальной геометрии, автор книги «Хаос: создание новой науки»*

Часто нам не хватает знаний даже для того, чтобы понять характер взаимосвязей. Линейная зависимость между двумя элементами системы отображается на графиках

James Gleick. Chaos: Making a New Science. New York: Viking, 1987. 23—24. (Книга издавалась на русском языке: *Глейк Дж. Хаос. Создание новой науки. СПб.: Издательство «Амфора», 2001. 398 с.*)

прямой линией. Ее коэффициенты постоянны. Если использовать на огороде 10 кг удобрения, урожай увеличится на 100 кг, если использовать 20 кг — на 200 кг, если 30 кг — на 300 кг.

При нелинейной зависимости результат нельзя рассчитывать пропорционально вложениям. Зависимость между причиной и следствием отображается на графиках не прямыми, а самыми разными кривыми и волнистыми линиями. Если использовать на огороде 100 кг удобрений, то урожай вырастет на 500 кг (а не на тысячу, как можно было бы ожидать). Если увеличить количество удобрений до 200 кг, урожай не изменится вообще, а

если применить 300 кг, даже уменьшится. Почему? Потому что почва будет отравлена такой массой удобрений — это как раз тот случай, когда «слишком хорошо тоже плохо».

В мире очень много нелинейных зависимостей.

Наше привычное мышление линейно, поэтому мы наталкиваемся на столько неожиданностей. Раз мы привыкли, что при малом воздействии будет малый результат, то при воздействии вдвое больше ожидаем и ответа в два раза сильнее. Но в нелинейной системе удвоенное воздействие может привести к результату вшестеро меньше, к отсутствию результата, а может и к результату в квадрате.

Вот несколько характерных примеров нелинейности:

■ Когда поток машин на автомагистрали постепенно увеличивается, до определенного момента это практически не влияет на скорость машин. Однако затек даже небольшого увеличения плотности потока достаточно для того, чтобы скорость упала очень сильно. Когда же количество машин доходит до определенной критической точки, образуется пробка и движение прекращается вовсе.

* Эрозия почвы может долгое время почти не сказываться на величине урожая, но только до тех пор, пока толщина почвенного слоя не станет равной длине корней злаков. После этого любое, даже самое незначительное увеличение эрозии приводит к резкому падению урожайности.

* Небольшая рекламная кампания (особенно если рекламные ролики сделаны со вкусом) способна привлечь интерес потребителей к продукту. Но когда реклама назойлива и криклива, она начинает отталкивать покупателей, и продукт вызывает отвращение.

Неудивительно, что нелинейности производят неожиданный эффект. Еще бы, ведь они ломают привычный стереотип: применишь немного полезного средства — получишь небольшой положительный эффект, применишь больше — и результат будет больше. Такой же стереотип действует и в отношении вредных веществ: применишь немного, вред будет небольшой; применишь больше — и вред будет пропорционально больше. Казалось бы, логичные ожидания, но в нелинейном мире они всегда приводят к ошибкам.

Нелинейности важны не только потому, что такие связи между действием и откликом не соответствуют нашим ожиданиям. Они важны в первую очередь из-за того, что изменяют *относительную мощность циклов обратной связи*. Они могут заставить систему переключиться с одного вида поведения на другой.

Нелинейные зависимости — основная причина обратимого доминирования, характерного для некоторых систем в нашем «зоопарке». Изменение может быть резким: например, экспоненциальный рост, вызываемый усиливающим циклом, вдруг сменяется снижением из-за того, что доминирование перешло к балансирующему циклу.

Значение нелинейностей можно проиллюстрировать примером из реальной жизни — историей про массовое нашествие гусениц-почкоедов на североамериканские леса.

Гусеницы-почкоеды, хвойные леса и пестициды

Годовые кольца деревьев позволяют определить, что в последние 400 лет в североамериканских хвойных лесах периодически случались нашествия гусениц-почкоедов, уничтожающих пихты и ели. До двадцатого века это никого особо не беспокоило, потому что древесину для пиломатериалов давали сосновые леса. Пихты и ели считались чуть ли не сорняками. Но со временем девственные сосновые леса исчезли, и лесная промышленность переключилась на ель и пихту. И гусеницы-почкоеды превратились в серьезных вредителей.

Начиная с 1950-х гг. северные леса стали опрыскивать I ДДТ, чтобы не допускать размножения гусениц. Несмотря на опрыскивание, каждый год их популяция восстанавливалась. Ежегодные распыления химикатов продолжались на протяжении еще трех десятков лет, пока ДДТ не запретили. Тогда вместо него стали использовать фенитротин, ацефат, севин и метоксихлор.

Люди уже понимали, что инсектициды — не спасение от нашествия гусениц, но все же

считалось, что их применение необходимо. Специалисты лесной промышленности говорили, что применение инсектицидов позволяет выиграть время, чтобы сохранить деревья в целости до того момента, пока не начнутся рубки.

К 1980 г. расходы на опрыскивание вышли за пределы разумного. Только в одной канадской провинции Нью-Брансвик за год на «избавление» от гусениц ушло 12,5 млн долларов. Местные жители были обеспокоены и активно противились тому, чтобы все окрестности без устали поливали отравой. К тому же, несмотря на распыление химикатов, гусеницы неплохо себя чувствовали и за год уничтожали по 20 млн гектаров леса.

К. С. Холлинг из Университета Британской Колумбии и Г. Баскервиль из Университета Нью-Брансвика создали компьютерную модель, чтобы изучить проблему с нашествием гусениц с системной точки зрения. Модель позволила

установить, что до того, как начались опрыскивания, гусеницы практически не проявляли себя многие годы подряд. Их численность контролировали естественные хищники — птицы, пауки, осы. Влияли на них и некоторые болезни. Но периодически, через несколько десятков лет, случалась вспышка размножения, которая длилась от шести до десяти лет. После этого численность гусениц падала, чтобы через несколько десятков лет снова резко увеличиться.

Из всех пород деревьев гусеницы предпочитают бальзамическую пихту. На втором месте стоит ель. Бальзамическая пихта составляет основу северных лесов, и при естественном ходе событий она со временем вытесняет ели и березы. Леса становятся монокультурными — в них нет других деревьев, кроме пихты. Вспышка численности гусениц уменьшает количество пихт, и это дает елям и березам новый шанс. Хотя со временем пихта опять начинает вытеснять все остальное.

Когда количество пихт увеличивается, вероятность вспышки численности гусениц тоже возрастает, причем *нелинейно*. Способность гусениц к размножению растет существенно быстрее, чем было бы при пропорциональной зависимости от количества пихт. Спусковым крючком могут послужить две-три теплые весны подряд — в таких условиях выживает большинство личинок гусениц. (Кстати, если ограничиваться только анализом на уровне событий, то в нашествии гусениц надо было бы обвинить теплую и сухую погоду весной.)

Популяция гусениц становится слишком большой, с ней не могут справиться естественные враги — и эта зависимость тоже *нелинейная*. Обычно в довольно широком диапазоне условий большая популяция гусениц приводит к большей численности естественных хищников, их поедающих. Но только до определенной точки. После нее хищники не успевают размножаться с такой скоростью. Если раньше был усиливающий цикл (больше гусениц — больше естественных врагов), то теперь он не действует (больше гусениц — но численность хищников так быстро не растет — и гусеницы размножаются беспрепятственно).

Начиная с этого момента, только одно способно остановить нашествие гусениц: они сами подрывают свою пищевую базу, уничтожая пихту по всем лесам. Когда это происходит, популяция гусениц резко уменьшается — причем тоже *нелинейно*. Усиливающий цикл размножения гусениц уступает балансирующему циклу, описывающему гибель от голода. В лесах, где раньше была пихта, снова появляются ели и березы, и цикл начинается заново.

Многие взаимосвязи в системах нелинейны.



При изменении запасов в системе их относительная мощность меняется непропорционально. Нелинейности в системах с обратными связями приводят к обратимому доминированию разных циклов. Это усложняет поведение системы и делает его более

разнообразным.

Система, включающая гусениц, пихты и ели, может демонстрировать колебания с периодом в десятки лет, но при этом экосистема не покидает определенных границ. Так может продолжаться до бесконечности. Основным результатом деятельности гусениц состоит в том, что в лесу растет не только пихта, но и другие породы деревьев. Но то, что устойчиво с экологической точки зрения, невыгодно экономически. В восточной Канаде практически вся экономика зависит от лесной промышленности, а она, в свою очередь, требует непрерывных заготовок пихты и ели.

Когда стали применяться инсектициды, системе стало труднее балансировать между разными нелинейными зависимостями. Инсектициды убивают не только гусениц, но и их естественных врагов, тем самым ослабляя обратную связь, которая раньше сдерживала размножение вредителей. Пихт в лесах по-прежнему много, поэтому размножение гусениц, происходящее по нелинейному закону, преодолевает критическую точку, после которой их численность растет взрывными темпами. С этого момента гусеницы постоянно готовы осушествить очередное нашествие. Действия лесной промышленности привели к тому,

-----П мшиимрм шиттигг •л'ишг-ттип втгшижшт “згчей™ '■^гтяишш
что Холлинг назвал «постоянной готовностью к вспышке численности», причем на все большей территории. Лесная промышленность сама загнала себя в эту ситуацию и теперь сидит на пороховой бочке: стоит хоть немного уменьшить распыление химикатов, как последует немедленный взрыв численности гусениц, причем такой силы, что даже представить страшно.*

Несуществующие границы

Если мыслить в системных терминах, становится заметным частое неправильное использование понятия «побочный эффект*... Обычно под этим подразумевают «эффект, которого я не предвидел или о котором думать не хочу*... Побочные эффекты заслуживают прилагательного «побочный* ничуть не больше, чем «основной» эффект. В системных терминах мыслить не так-то легко, и чтобы облегчить себе жизнь, мы предпочитаем коверкать язык.

*Гаррет Хардин**, эколог

Помните символы «облаков» на структурных схемах в первой и второй главах? Остерегайтесь их! Они — основные источники неожиданного поведения систем.

* Эта история упоминается в нескольких источниках: *C. S. Holling. The Curious Behavior of Complex Systems: Lessons from Ecology* в издании *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. 82-7. 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).*

** *Garrett Hardin. The Cybernetics of Competition: A Biologist's View of Society. Perspectives in Biology and Medicine. 7. no. 1 (1963). 58-84.*

Символами «облаков» отмечены начала и концы потоков. По сути, они представляют собой запасы — источники или стоки — которые мы в данный момент не учитываем, чтобы не усложнять обсуждение. Они отмечают границы системной диаграммы. Практически никогда речь не идет о реальной границе — системы вообще редко имеют реальные границы. Как известно, все связано со всем, и четких границ тут нет. Между морем и сушей нет жесткой и однозначной границы, между социологией и антропологией нельзя провести линию раздела. Нет преграды, отделяющей автомобильные выхлопы от вашего носа... Границ на самом деле не существует — это лишь словесные понятия, рамки мышления, восприятия, принятые в обществе ограничения — искусственные, теоретические границы,

мысленные модели.

Самые большие сложности возникают именно с границами. С немецкой стороны границы могут жить чехи, а с чешской стороны границы — немцы. Деревья произрастают не только в лесах — отдельные экземпляры растут даже в полях; в свою очередь, полевые культуры проникают в глубины леса. Беспорядочные, смешанные границы — источник разнообразия и творчества.

В нашем «системном зоопарке», кстати, символ «облака» применялся в той схеме, которая описывала поставки автомобилей на склад дилера, — машины поступали из «облака». Разумеется, в облаках машины не делают, их производят на заводах из определенных видов сырья, используя для этого капитал, рабочую силу, энергию, технологии и управление (все это — средства производства). Точно так же и поток машин со склада уходит не в облака, а в гаражи к частным клиентам или корпоративным заказчикам в результате продаж.

Нужно ли учитывать потоки сырья и отслеживать перемещение машин домой к покупателям (то есть надо ли вместо символа «облака» использовать на диаграмме соответствующие структуры), зависит от того, насколько такие уровневые переменные (или запасы) влияют на поведе-



Рис. 47. За «облаками» иногда скрываются другие части системы

ние системы в интересующих нас временных границах. Если сырья заведомо достаточно, а клиенты по-прежнему готовы покупать машины, то «облака» использовать можно. Но вот если случится нехватка сырья или насыщение рынка продукцией, а мы проведем мысленные границы вокруг системы, не включая эти факторы, то поведение системы может оказаться совершенно неожиданным.

На рис. 47 используются символы «облаков». Границу можно отодвинуть дальше. Обработанное сырье поступает с химических комбинатов, из плавильных печей, с нефтеперегонных заводов, а они, в свою очередь, получают потоки сырья от предприятий, занятых добычей полезных ископаемых. Обработка не только приводит к созданию продукции — создаются еще и рабочие места, появляются доходы, зарплаты, выбросы и загрязнения... Потребленная продукция перемещается на мусорные свалки, мусоросжигательные заводы или поступает на переработку, и это тоже затрагивает общество и окружающую среду. Утечки вредных веществ со свалок загрязняют источники питьевой воды; мусоросжигательные заводы выбрасывают дым и золу; заводы по переработке направляют вторичное сырье в производственные потоки.

Всегда ли нужно отслеживать всю цепочку, от месторождения до мусорной свалки — что называется, «от колыбели до могилы»? Это зависит от того, кто и что хочет узнать, и за какой период времени. Для долговременных оценок полная цепочка очень важна. А коль скоро физическая экономика расширяется, антропогенная нагрузка на среду («экологический след» человечества) растет, то и долговременные прогнозы вдруг превращаются в краткосрочные. Мусорные свалки заполняются (и переполняются) неожиданно быстро. Это по-настоящему ишарашивает людей, для которых мысленная модель рисовала радужную картинку, будто они «выбросили» что-то навсегда, избавились от чего-то, отправив в некое «облако». Источники сырья — месторождения, скважины, шахты — тоже могут истощаться с неожиданно высокой скоростью.

Если раздвинуть временные рамки достаточно широко, то и шахты с месторождениями нельзя считать концом истории. Геологические циклы продолжительностью в миллионы лет продолжают перемещать горные породы по нашей планете, приводят к появлению и исчезновению морей, поднимают и опускают горные массивы. Пройдет еще сколько-то геологических эпох, и то, что было погребено в мусорных кучах, окажется на вершине скалы или на дне океана. Образуются новые месторождения металлических руд и углеводородов. В масштабах нашей планеты у системы нет «облаков», нет крайних границ. Даже реально существующие облака на небе — и те участвуют в круговороте воды в природе. Все физические потоки откуда-то поступают и куда-то ведут, всё пребывает в движении.

Но это не значит, что всякая модель, будь то мысленная или компьютерная, должна отслеживать все цепочки до тех пор, пока не будет охвачена вся планета. «Облака» — необходимая часть моделей, описывающая метафизические потоки. В буквальном смысле к нам спускаются с небес, из облаков, любовь и ненависть, гнев, чувство собственного достоинства... Если мы хотим изучить что-то, приходится прибегать к упрощениям, а значит, вводить искусственные границы. Иногда «облака» несут в себе дополнительный подтекст — например, нет ничего плохого в том, чтобы рассматривать рождаемость и смертность как приход из облаков и возвращение обратно, как на рис. 48.

Границы на рис. 48 в прямом смысле этого слова проходят «от колыбели до могилы». Но и они могут оказаться неподходящими — например, в том случае, если население

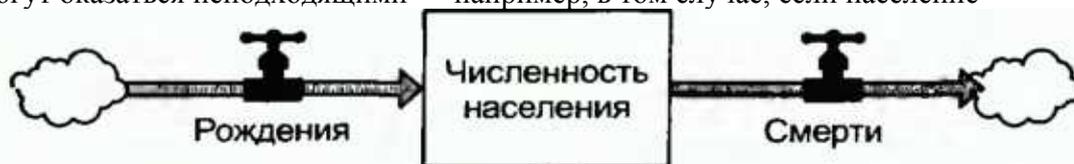


Рис. 48. И здесь есть «облака»

интенсивно мигрирует (эмиграция и иммиграция) или если мы изучаем проблему с нехваткой мест на кладбище.

Иногда с выбором границ приходится помучиться даже опытным системным мыслителям. Вокруг системы нет какой-то одной, раз и навсегда определенной границы. Нам приходится их придумывать, чтобы модель была доходчивой и адекватной. Если забыть, что эти границы мы искусственно воздвигли сами, могут возникнуть большие проблемы.



Отдельных, изолированных систем не существует. Мир непрерывен. Где провести искусственную границу вокруг системы, зависит от того, какая перед нами цель — на какие вопросы надо найти ответ.

Если выбрать слишком узкие границы, то поведение системы вас озадачит. Допустим, вы пытаетесь решить проблему транспортных пробок в городе, но при этом не учитываете план застройки. Вы строите дополнительные магистрали, они привлекают застройщиков, которые возводят жилые сектора по всей длине новых магистралей. В новые дома заселяются жители, которые ездят на машинах, и в результате новые магистрали точно так же забиты машинами, как и прежние.

Если вы пытаетесь решить проблему со сточными водами, что сбрасываются в реку, то необходимо учитывать, что ниже по течению тоже расположены города, — в этом случае границы должны охватывать всю реку. Возможно, придется включить в них еще и окружающие земли, а так же грунтовые воды, связанные с рекой. Рассматривать бп^

сейны соседних рек и круговорот воды в масштабах всей ГТТЯТРТМ, пкорр ЯГ.РГО, НР ттотгяд оРттгя.

Раньше при планировании национальных парков и заповедников ограничивались

физическими пределами самого парка. Но эти границы постоянно пересекают путешествующие туристы, кочевые племена, мигрирующие дикие животные. Потоки воды протекают через парк, покидают его, иногда в виде подземных вод. На приграничные зоны парка оказывает воздействие развитие местной

Рис. 49. Еще несколько примеров с «облаками». На рисунке показаны системы с определенными границами и «облаками», но при этом мышление должно охватывать и те области, что лежат за пределами системы. По какой причине люди совершают преступления и получают новые приговоры? Куда отправляют отработанные топливные стержни (тепловыделяющие элементы, ТВЭЛы) после замены? Что происходит с теми безработными, при регистрации которых произошла ошибка?



экономики. Еще нужно учитывать влияние кислотных дождей и изменение климата из-за накопления в атмосфере парниковых газов. Даже если не касаться изменения климата, все равно для управления парком нужно мыслить в границах, которые существенно шире, чем физический периметр парка.

Иногда специалисты-системщики впадают в другую крайность и делают границы слишком широкими. У них есть скверная привычка делать схемы систем такими большими, что они занимают несколько страниц, с подписями мелким шрифтом и огромным количеством стрелок, соединяющих всё и вся. «Вот это система!» - говорят они с восхищением. А если предложить рассмотреть систему поменьше, вас просто засмеют...

Соревнования в размерах («моя модель больше!») приводят к чрезмерному усложнению анализа. Модели выдают огромные объемы информации, в которых просто невозможно найти ответы на вопросы. Например, создать максимально подробную модель климата на планете — занятие очень интересное во многих отношениях, но решить, как страны могут снизить выбросы углекислого газа, чтобы уменьшить изменение климата, вполне можно и без такой модели.

Правильно подобранные модели для решения конкретной проблемы практически никогда не укладываются в границы, разделяющие научные дисциплины и области знаний.

И в политические границы они тоже не вписываются. Реки могут служить удобными границами между странами, но это худший из всех возможных типов границ, если речь идет об управлении количеством и качеством воды. С воздухом дела обстоят еще хуже, потому что он постоянно пересекает политические границы. Границы между странами не имеют никакого значения, если в стратосфере истощается озоновый слой или в атмосфере накапливаются парниковые газы, и если в океане затапливают ядерные отходы.

В идеале для каждой новой проблемы нам надо заново отыскивать подходящие границы, а для этого нужна определенная гибкость мышления. Мало кто ею обладает. Мы привязаны к мысленным границам, которые однажды выбрали и к которым уже успели привыкнуть. Только подумайте, как много факторов связано с границами: границы страны, границы торгового влияния, этнические границы, границы между личной и коллективной ответственностью, между богатством и нищетой, между тем, кто загрязняет, и тем, кто страдает от этого, между теми, кто живет сейчас, и теми, кто будет жить после. Университеты могут годами спорить о том, где проходит граница между экономикой и теорией управления, искусством и историей искусства, литературой и литературной критикой. Слишком часто те же университеты служат живыми примерами того, как воздвигаются искусственные границы, незыблемые и непреодолимые.

Всегда полезно помнить (хоть это и нелегко), что *границы создаем мы сами. При каждом обсуждении, для каждой новой проблемы или цели их можно и нужно пересматривать.* Довольно трудно удержаться от искушения использовать те же границы, что хорошо подошли к предыдущей проблеме, и вместо этого заново подбирать пределы для новой задачи. Но если мы действительно хотим найти решение, придется совершать над собой усилие и делать именно так.

Уровни пределов

Системы удивляют нас, потому что привычный образ мыслей всегда связывает одиночные причины с одиночными же следствиями. Нам удобно держать в памяти одно или несколько дел, но не больше. И нам очень не нравится думать о пределах, особенно если речь идет о наших планах и желаниях.

Но мы живем в мире, где ежедневно множество причин одновременно вызывает множество следствий. Многочисленные входные ПОТОКИ определяют многочисленные выходных потоки, и практически все они (и входы, и выходы) имеют ограничения. Например, для промышленного производства необходимы:

- капитал;
- рабочая сила;
- энергия;
- сырье;
- производственные площади;
- вода;
- технологии и методы;
- кредиты;
- страховое обеспечение;
- заказчики и потребители;
- налаженное управление;
- общественные институты и общегосударственные функции (полиция, пожарная охрана, образовательные центры для подготовки управленческого персонала и рабочих);
- институт семьи (для рождения и воспитания тех, кто производит, и тех, кто потребляет);

и здоровая окружающая среда, обеспечивающая или поддерживающая все перечисленные входные потоки и способная поглотить или переработать соответствующие отходы.

Полю, на котором растут зерновые, необходимы:

- солнечный свет;
- воздух;
- вода;
- азот;
- фосфор;
- калий;
- десятки микроэлементов;
- рыхлая почва с почвенными микроорганизмами;
- способы борьбы с сорняками и сельскохозяйственными вредителями;
- меры защиты от выбросов и отходов, производимых промышленностью.

Именно на примере выращивания зерновых Юстус Либих сформулировал свой знаменитый закон лимитирующего фактора (закон минимума). Если растениям не хватает фосфора, то уже не имеет значения, что азот им доступен в избытке. А если почва бедна калием, то внесение дополнительного количества фосфора ситуацию не улучшит.

Без дрожжей тесто не поднимется, сколько бы муки вы ни сыпали. Дети не будут расти, если в их рационе будет недостаточно белковой пищи — углеводы не могут служить заменой белкам. Предприятия не могут работать без энергии, сколько бы заказчиков и клиентов у них ни было, и точно так же работа невозможна, если энергии сколько угодно, а клиентов нет.

Закон лимитирующего фактора прост, но его очень часто неправильно понимают. Например, агрономы уверены, что знают, какой состав должен быть у искусственного удобрения, потому что они нашли концентрацию большинства макро- и микроэлементов, которые содержатся в плодородной почве. Но они упускают из виду, что могли быть определены *не все* питательные вещества, необходимые для роста. Не учитывают они и то, как химические удобрения могут повлиять на популяции почвенных микроорганизмов. Не может ли оказаться так, что применение таких удобрений повредит каким-либо другим функциям плодородной почвы? Не станет ли это дополнительным лимитирующим фактором? Стоит принять во внимание и те факторы, которые ограничивают само производство химических удобрений.



В любой момент времени для системы наиболее важен тот входной поток, который оказывает самое сильное лимитирующее воздействие.

Богатые страны предоставляют развивающимся государствам капитал и технологии, а потом удивляются, почему это экономики стран-получателей помощи по-прежнему не развиваются. И никому не приходит в голову, что капитал и технологии — не основные лимитирующие факторы. Есть и другие.

Основное развитие экономики происходило в те времена, когда главными лимитирующими факторами на производстве были капитал и рабочая сила. С тех самых пор большинство производящих отраслей отслеживают именно эти два фактора (иногда добавляя к ним фактор технологического развития). По мере расширения экономики относительно мировой экосистемы лимитирующие факторы меняются — ими становятся чистая вода, чистый воздух, места для захоронения отходов, приемлемые формы энергии и сырья. В результате традиционные методы управления, учитывающие только капитал и рабочую силу, становятся бесполезными.

Студентам, изучающим системную динамику в Массачусетском технологическом

институте, демонстрируют классические модели, в том числе модель корпоративного роста, созданную Джейм Форрестером. Всё начинается с небольшой компании, успешной в бизнесе и потому быстро растущей. Основная проблема, с которой сталкивается эта компания, — как распознать сменяющиеся лимитирующие факторы и что потом с ними делать? Причем изменение факторов происходит как раз из-за того, что компания растет.

Например, компания может нанять менеджеров по продажам, которые настолько хорошо выполняют свою работу, что заказы на продукцию поступают быстрее, чем производство способно их выполнить. Возрастают задержки в исполнении заказов, компания теряет клиентов, потому

что в данном случае лимитирующий фактор — мощность производства. Руководство решает направить капитал в расширение производственной базы. Спешно нанимается персонал для дополнительного производства. На обучение новых сотрудников времени не хватает, и в результате качество продукции ухудшается. Компания снова теряет заказчиков; на сей раз лимитирующий фактор — квалификация работников. Руководство решает вложить средства в обучение персонала. Качество улучшается, заказы снова начинают поступать в большом количестве, и снова выполнить их все не удается, история повторяется...

С подобными пределами, имеющими разные уровни, сталкиваются все системы: поднимающиеся всходы, растущие дети, распространяющиеся эпидемии, создаваемые новые виды продукции, технологические усовершенствования, предприятия и компании, города и населенные пункты, экономика и население. Важно не только понимать, какой фактор является лимитирующим, но и знать, что *любой рост сужает или расширяет пределы* и тем самым меняет сущность ограничения: лимитирующим становится другой фактор. Взаимодействие между всходящим растением и почвой, растущей компанией и рынком сбыта, развивающейся экономикой и ее ресурсной базой всегда динамично, подвержено изменениям. Когда один фактор перестает быть лимитирующим, происходит дальнейший рост, и сам факт роста приводит к изменениям в относительной доступности или дефиците тех или иных факторов. И тогда обязательно проявится следующее ограничение — другой лимитирующий фактор. Настоящее понимание роста выражается в том, чтобы переключать внимание с факторов, имеющихся в изобилии, на те, которых может оказаться недостаточно, то есть те факторы, которые станут лимитирующими в будущем. Только в этом случае можно по-настоящему управлять процессом роста.

Любой существующий объект или система со многими входными и выходными потоками — население, процесс производства, экономика — окружены пределами, распределенными по разным уровням. Когда система развивается, она взаимодействует со своими собственными пределами и влияет на них. Растущий объект и ограниченная среда, которая его окружает, вместе образуют динамическую систему, претерпевающую эволюционные изменения.

Любой существующий объект или система со многими входными и выходными потоками окружены пределами, распределенными по разным уровням.



Понимание того, что пределы могут встречаться на разных уровнях, и определение следующего лимитирующего фактора все-таки не могут служить гарантией бесконечного роста. У любой физической системы есть конечные пределы, границы окружающей среды, поэтому бесконечный рост невозможен в принципе. Вопрос не в том, чтобы расти бесконечно, а в том, чтобы решить, в каких пределах существовать. Если компания предлагает отличную продукцию или услуги по привлекательной цене, то у нее будет лавина заказов, но только до тех пор, пока не будет достигнута точка, после которой какой-либо лимитирующий фактор приведет к снижению качества продукции или к повышению цены.

Если какой-то город обеспечивает всем своим жителям условия существования лучше, чем в других городах, то в него будут стекаться толпы новых жителей до тех пор, пока какой-нибудь из пределов не ограничит способность города удовлетворять те или иные потребности его жителей.*



У роста всегда будут пределы. Они могут быть **внутренними**, но если их нет, тогда их установит система.

Jay W. Forrester. Urban Dynamics. Cambridge, MA: The MIT Press, 1962. 117. (Книга издавалась на русском языке: *Форрестер Дж. Динамика роста и вития города.* М.: Издательство «Прогресс», 1974. 286 с.)

У роста всегда будут пределы. Они могут быть и **внутренними**, но если их нет, то их установит сама система. Никакой физической рост не может продолжаться бесконечно. Если руководство компаний, городские власти или население не будут выбирать и устанавливать собственные пределы, ограничивающие рост в соответствии с возможностями поддерживающей среды, тогда пределы выберет и установит сама среда.

Вездесущие запаздывания

Я с ужасом понял, что в моем нетерпеливом стремлении восстановить демократию было что-то едва ли не коммунистическое.

В общем и целом это стремление было рационалистическим.

Я хотел ускорить движение истории, подобно тому, как ребенок поливает растение, чтобы оно быстрее росло.

Я думаю, нам нужно научиться ждать — так же, как мы учимся творить. Нам нужно проявить терпение: посеять зерна, усердно поливать всходы и дать им время взойти — столько, сколько потребуется.

Историю не обманешь — точно так же, как не обманешь растение.

*Вацлав Гавел**,

драматург, последний президент Чехословакии и первый президент Чехии

И растению, и лесу, и демократии нужно время, чтобы вырасти. Письмам, опущенным в почтовый ящик, нужно время, чтобы дойти до адресатов. Покупателям нужно время, чтобы усвоить информацию о повышении или снижении цен и изменить свое поведение как потребителей. Время нужно и для того, чтобы построить атомную электростан-

Вацлав Гавел, речь в Институте Франции. Цитируется по газете: International Herald Tribune, 1992, November 13, p. 7.

цию, и для того, чтобы оборудование изнашивалось и вышло из строя, и для того, чтобы в экономику пришли новые технологии.

Мы не устаем поражаться тому, как много времени у нас уходит на самые разные задачи. Джей Форрестер любил повторять, что при моделировании запаздываний в строительстве или производстве нужно опросить всех участников проекта, собрать их представления о величине запаздывания, на основе этих данных сделать собственную оценку, а потом умножить ее на три. (Такая поправка и в самом деле работает — я проверила ее на практике, прикидывая время, нужное для написания этой книги.)

Запаздывания присутствуют везде, во всех системах. Любой запас обязательно связан с запаздыванием. Большинство потоков имеют запаздывания: задержки при поставках, задержки восприятия, запаздывания при производстве, задержки в развитии... Вот несколько примеров запаздываний, которые мы включали в разработанные нами модели:

■ Инкубационный период (промежуток времени от момента заражения до появления клинических симптомов болезни) — это запаздывание может составлять дни или годы, в

зависимости от заболевания.

и запаздывание между выбросами загрязняющих веществ и их распространением в воздухе, просачиванием в грунтовые воды и накоплением загрязнителей в экосистеме в таком количестве, что это начинает наносить ей вред.

■ Период вынашивания плода и созревания, влияющий на разведение новых пород животных или видов растений (что, в свою очередь, влияет на колебания товарных цен): 4-летний цикл в свиноводстве, 7-летний цикл при разведении коров, 11-летний цикл на плантациях какао.

* ***Dennis L. Meadows. Dynamics of Commodity Production Cycles. Cambridge MA: Wright-Allen Press, Inc., 1970.***

■ Запаздывание в изменении принятых в обществе и желаемых размеров семьи (не меньше одного поколения).

■ Задержки на переоборудование производственных линий и запаздывания при обороте капитала. Чтобы разработать новую марку автомобиля и вывести его на рынок, нужно от 3 до 8 лет. Новинкой эта модель будет считаться не больше пяти лет. Период эксплуатации в среднем составляет от 10 до 15 лет.

Мы уже говорили о том, что границы системы выбираются в зависимости от того, какие ее особенности нужно изучить. Так же поступают и с запаздываниями. Если вы исследуете колебания, имеющие период в несколько недель, то, скорее всего, можно не учитывать запаздывания продолжительностью в минуты или годы. Если вас интересуют изменения в численности населения и экономике в течение десятков лет, то можно не принимать во внимание колебания с периодом в неделю. В мире многие вещи происходят одновременно, но с самыми разными интервалами, подобно тому, как разные звуки издаются на разной частоте — кто-то пищит, кто-то чирикает, кто-то ревет басом. Для исследования, как правило, важны те запаздывания, чья частота не сильно отличается от частоты изучаемого явления.

В нашем «системном зоопарке» уже встречались примеры того, как сильно влияют на поведение систем запаздывания в циклах обратной связи. Изменение величины задержки может в корне изменить поведение. Если запаздывания можно сделать меньше или больше, то это можно использовать как мощный рычаг воздействия на систему. В самом деле, если в точке принятия решения в системе (ею также может быть человек, если он — часть системы) дается отклик на сигнал, поступивший с запаздыванием, или сигнал пришел вовремя, но отклик дается с задержкой, то принятое решение будет заведомо неэффективным. Воздействие окажется либо слишком сильным, либо недостаточным для достижения цели. С другой стороны, если воздействие оказывать слишком быстро, это может усилить краткосрочные случайные флуктуации и тем самым увеличить нестабильность. Запаздывания определяют, как быстро система может реагировать, настолько ей удастся достичь своей цели и своевременно ли поступает информация в разные части системы. Выходы за пределы, колебания и резкие спады — все это вызывается запаздываниями.

Запаздывания могут объяснить, почему Михаилу Горбачеву удалось объявить перестройку в Советском Союзе буквально в одночасье (это изменение информационной системы), но при этом физическую экономику изменить не удалось (для таких изменений нужны десятки лет). Они же ответственны за то, что после воссоединения Западной и Восточной Германии трудности сохранялись гораздо дольше, чем это предсказывали политики, и многие проблемы актуальны до сих пор. Из-за того, что строительство новых электростанций занимает многие годы, энергетика неизбежно переживает периоды избыточных производственных мощностей, а потом оказывается в условиях недостаточной производительности, и тогда приходится экономить на всем, включая уличное освещение. Выбросы от сжигания ископаемого топлива уже запустили механизмы изменения климата, но океаны планеты реагируют на повышение температуры только через десятки лет, поэтому по-настоящему серьезные последствия мы увидим только спустя одно или два поколения.



Если в циклах обратной связи есть длительные запаздывания, то для управления системой необходимо умение предвидеть. К тому моменту, когда проблема станет очевидной, основные возможности решить ее уже будут упущены.

Ограниченная рациональность

Когда каждый отдельный человек прилагает максимальные усилия к тому, чтобы вложить свой капитал в поддержку местной промышленности, и этим побуждает ее еще более увеличить производство, ... на самом деле он вовсе не руководствуется общественными интересами и даже не представляет, насколько его действия способствуют их достижению...

Он заботится о собственной безопасности, ... преследует только личные цели, ... но им руководит невидимая рука, и его действия позволяют достичь результатов, о которых он даже не думал.

Преследуя личную выгоду, он зачастую способствует более эффективному развитию общества, чем если бы планировал это сознательно.

*Адам Смит*²⁰, экономист

Было бы просто замечательно, если бы такая «невидимая рука» рынка действительно приводила отдельных людей к решениям, которые способствовали бы общему благу. Тогда не только эгоизм считался бы общественной добродетелью, но и математическое моделирование экономики стало бы гораздо более простой задачей. Не было бы необходимости учитывать потребности других людей или особенности систем со сложными обратными связями. Неудивительно, что модель Адама Смита уже двести лет остается такой притягательной...

К сожалению, мир приводит нам массу примеров того, как люди, действуя рационально для достижения наилучших краткосрочных результатов, в итоге получают нечто, что не радует никого. Туристы наводняют Гьякягские острова и горнолыжные курорты Швейцарии, а потом жалуются, что вся прелесть этих мест разрушена толпами туристов. Фермеры производят излишки пшеницы, масла, сыра, а потом страдают от падения цен на них. Рыбаки вылавливают слишком много рыбы и тем подрывают источник собственного благосостояния. Корпорации принимают совместные инвестиционные решения, которые приводят к циклическим спадам деловой активности. Беднейшие слои населения производят на свет столько детей, что не могут их вырастить.

Почему?

Причину всего этого Герман Дейли, экономист Всемирного банка, метко назвал «невидимой ногой», а научно то же самое явление называется **ограниченной рациональностью** — этот термин ввел Герберт Саймон, лауреат Нобелевской премии по экономике.²¹

Теория ограниченной рациональности полагает, что люди принимают вполне рациональные решения, но на основе только той информации, что им доступна в данный момент. Идеально полной информации не бывает, особенно об удаленных частях системы.

²⁰ *Adam. Smith. An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, Edwin Cannan, ed. Chicago: University of Chicago Press, 1976. 477—8. (Книга многократно выходила на русском языке в различных переводах. Одно из изданий: Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов, в 2 т. М.: Издательство «Наука», 1993. 570 с.)*

²¹ *Herman Daly, ed. Toward a Steady-State Economy. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1973. 17; Herbert Simon. Theories of Bounded Rationality, в издании R. Radner and C. B. McGuire, eds. Decision and Organization. Amsterdam: North-HollandPub. Co., 1972.*

Рыбаки не знают, сколько рыбы еще осталось, и тем более им неизвестно, сколько рыбы выловят в тот же день другие рыбаки.

Предприниматели не могут знать, во что планируют вложить средства другие предприниматели, что захотят приобрести покупатели, насколько конкурентоспособной окажется выпущенная продукция. Им неизвестна доля рынка, которую удалось занять, неизвестен и общий размер рынка. Информация обо всем этом заведомо неполна, к тому же поступает с запаздыванием, поэтому и отклики

на нее имеют запаздывание. Из-за этого в бизнесе постоянно случаются промахи с инвестициями - то их недостаточно, то наоборот, слишком много.

Саймон говорил, что мы не всеведущи, что нам не под силу рационально оптимизировать все на свете. Наши действия довольно неумелы. Мы пытаемся как можно лучше удовлетворить свои потребности, прежде чем переходить к следующему решению.²² Стараемся достичь сиюминутных целей и делаем это рационально, но основываемся только на том, что известно в данный момент. А многое не известно — ведь то, что планируют другие, мы узнаем только после того, как они предпримут конкретные действия. Очень редко бывает так, что для принятия решения доступно все разнообразие вариантов. Зачастую мы не можем предсказать (или предпочитаем не думать об этом) влияние наших действий на систему в целом. Вместо того, чтобы найти оптимальное решение в долгосрочной перспективе, мы выбираем вариант из довольно ограниченного списка сиюминутных решений и упорно придерживаемся такой тактики. Только совершенно тупиковая ситуация может заставить нас изменить поведение.

Ученые, изучающие поведение, утверждают, что мы даже не можем правильно интерпретировать ту информацию, что нам доступна, — не полную и не всегда верную. Мы неверно оцениваем риск, полагая что-то слишком опасным, тогда как на самом деле опасность преувеличена,] но при этом пренебрегаем реально существующей опасностью. Наше внимание поглощено настоящим; недавним событиям уделяется слишком много внимания, а прошлому — слишком мало. Мы сосредоточены на текущих событиях, вместо того, чтобы интересоваться поведением в долгосрочной перспективе. Не принимаем в расчет будущее и не учитываем экономические и экологические последствия. Не придаем должного значения поступающим сигналам. Отсекаем новости, которые нам не нравятся, и информацию, которая идет вразрез с нашими мысленными моделями. Фактически, мы не можем принять решение, чтобы максимизировать наше собственное благо, и уж тем более никому нет дела до блага системы в целом.

Когда теория ограниченной рациональности бросила вызов политэкономии Адама Смита, господствовавшей двести лет, развернулась ожесточенная полемика — еще бы, ведь эти теории так далеки друг от друга. Экономическая теория Адама Смита считает, что, во-первых, *homo economicus* действует исключительно рационально, опираясь на полную информацию, а во-вторых, деятельность большого количества *homo economicus* складывается в общий результат, максимально благоприятный для каждого.

Ни одно из этих утверждений не выдерживает проверки действительностью. В следующей главе, посвященной системным ловушкам и возможностям, мы рассмотрим самые часто встречающиеся структуры, в которых ограниченная рациональность приводит к плачевным результатам. Классические примеры — пристрастие к алкоголю и наркотикам, сопротивление внешнему влиянию, гонка вооружений, стремление к худшему, трагедия общин... Но в этой главе важно подчеркнуть самое важное последствие, к которому приводит непонимание ограниченной рациональности.

Представьте себе, что по каким-то причинам вас вырвали из вашего привычного окружения в обществе и поставили на место кого-то, чье поведение вы никогда не понимали.

²² В оригинале используется слово «satisficing», образованное от слияния глагола «satisfy» (удовлетворять) и «suffice» (быть достаточным). Термин впервые применил Герберт Саймон; им он описывал такое поведение при принятии решений, при котором потребности удовлетворяются в достаточной степени, но при этом нет стремления получить неограниченные доходы на фоне недостаточной информации. *H. Simon. Models of Man. New York: Wiley, 1957.*

Допустим, вы всю жизнь критиковали действия правительства, а тут вдруг оказались в его составе. Или на работе вы всегда выступали против начальства, а теперь сами ли начальником (или наоборот). Или вы боролись против действий корпораций, разрушающих окружающую среду, а теперь в одиночестве стали ответственным лицом в корпорации, принимающим решения, которые оказывают воздействие на природу. Если бы подобная «перемена мест» происходила почаще, это очень способствовало бы расширению кругозора...

На новом месте вас ожидают иные информационные потоки, иные стимулы, препятствия, цели, сложности, давление и принуждение — все, что связано с новым положением в обществе, иная ограниченная рациональность. Конечно, есть шанс, что вы не забудете опыт, приобретенный на прежнем месте, и сможете с его помощью изменить систему к лучшему, но в реальной жизни бывает совсем не так. Как только бывший работник становится начальником, он начинает воспринимать сотрудников не как заслуживающих уважения партнеров в достижении общей цели, а как статью расходов, которую неплохо бы уменьшить. Если человек становится финансистом, он начинает инвестировать слишком много в периоды подъема и слишком мало в периоды упадка — точно так же, как все другие финансисты. Если человек внезапно обеднел, то его интересует краткосрочное будущее, ближайшие возможности и шансы, потребности, связанные с количеством детей в семье. Поставьте себя на место рыбака, у которого лодка заложена, на шею семья, которую надо кормить, к тому же нет информации о реальном количестве оставшейся рыбы — вы будете вылавливать слишком много, подрывая собственное будущее.

Чтобы студенты могли на собственном опыте ощутить такие ситуации, мы проводим для них обучающие игры — в них системы приближены к реальности, потоки информации ограничены и разнятся для каждого из участников. Играя, студенты вылавливают всю рыбу, какая есть — так же, как это делает отчаявшийся рыбак. Оказываясь на месте министров развивающихся стран, они в первую очередь заботятся о потребностях промышленности и в последнюю — о потребностях людей. Оказываясь «сливками общества», заботятся о процветании своего семейства и ближайшего окружения; попадая в низшие слои, становятся апатичными или, наоборот, бунтуют. На их месте вы поступали бы так же. В печально знаменитом Стэнфордском тюремном эксперименте, который проводил психолог Филипп Зимбардо, участники (самые обычные студенты!) в поразительно короткий срок усвоили все самые неприглядные особенности поведения охранников и заключенных.*

Понимание того, что решения отдельных людей рациональны только в границах доступной им информации, не может служить оправданием ограниченному и недалекновидному поведению. Оно лишь объясняет, почему такое поведение возникает. В границах того, что отдельный человек может видеть и знать в отдельной части системы, его поведение рационально. Если вырвать человека из его привычного окружения (привычной ограниченной рациональности) и поместить на его место кого-то другого, принципиально ничего не изменится. Обвинениями и упреками тоже ничего добиться нельзя.

Чтобы изменить ситуацию, прежде всего надо выйти за рамки информации, доступной в данной точке, и получить общее представление о системе в целом. Обладая более широким кругозором, можно преобразовать информационные потоки, цели, стимулы и препятствия таким образом, чтобы отдельные, ограниченные, рациональные действия действительно приводили к результатам, благоприятным для всех.

Просто удивительно, как быстро и легко меняется поведение, если хотя бы немного раздвинуть ограниченную рациональность за счет более полной и оперативной информации.

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). 243-56.

Некоторые системы имеют структуру, которая позволяет им хорошо работать, несмотря на ограниченную рациональность. Правильные обратные связи приходят в правильные точки и в правильное время. В обычных условиях

*** Эту историю автору рассказали на конференции в Дании (København, Danmark, 1973).**

История с электросчетчиками в Голландии

В окрестностях Амстердама есть жилой район, где в каждом домике живет отдельная семья. Все дома были построены одновременно, все они одинаковы. Точнее, почти одинаковы. По каким-то неведомым причинам в одних домах электрические счетчики установили в подвале, а в других — прямо в прихожей.

Сами счетчики были одинаковыми — это всем знакомый прибор с вращающимся горизонтальным колесиком за стеклом. Чем больше электроэнергии расходуют обитатели дома, тем быстрее вращается колесико, отсчитывая потребленные киловатт-часы.

Когда в 1970-х годах ввели эмбарго на поставки нефти и в западных странах разразился энергетический кризис, в Голландии стали внимательно анализировать потребление электроэнергии. Выяснилось, что в практически одинаковых домах потребление разное — в одних на треть меньше, чем в других — и никто не мог объяснить, почему. Цена на электроэнергию была одинаковой для всех домовладений; семейства обладали примерно одинаковым достатком.

Оказалось, что причина крылась в месте, где располагался электросчетчик. В тех семьях, где счетчик был установлен в подвале, на его показания обращали меньше внимания — просто потому, что в подвал люди заходят редко. В результате энергии расходовалось больше. В семьях, где счетчик стоял прямо в прихожей, вращающееся колесико бросалось в глаза, напоминая о счете за электричество, и в результате потребление было меньше.*

ваша печень получает всю необходимую информацию, чтобы выполнять свою функцию. В традиционных культурах и в системах, на которые не оказывается внешнее воздействие, среднестатистический человек, вид или популяция, предоставленные самим себе, спокойно живут, и при этом система в целом стабильна. Такие системы (и многие другие тоже) обладают свойством саморегуляции. В них нет внутренних проблем, им не нужно внешнее управление или навязанные кем-то извне правила. .

Со времен Адама Смита считалось, что свободный рынок с открытой конкуренцией обладает правильной структурой и способностью к саморегуляции. В какой-то степени он действительно может регулировать себя сам. Но в ряде случаев (и это очевидно любому, кто удосужится приглядеться) рынок с этой функцией не справляется. Свободный рынок позволяет производителям и потребителям, имеющим наилучшую информацию о возможностях производства и потребительских предпочтениях, принимать по-настоящему независимые и локально рациональные решения. Но эти решения сами по себе не могут исправить стремление всей системы к созданию монополий (со всеми их побочными эффектами и последствиями), к дискриминации беднейших слоев населения и к выходу за пределы поддерживающей способности окружающей среды.

Позволю себе перефразировать известную молитву: «Господи, дай мне терпение, чтобы использовать ограниченную рациональность в тех системах, где структура это позволяет, дай силы, чтобы изменить структуру тех систем, где ограниченной рациональности недостаточно, и дай мне мудрость, чтобы отличить одно от другого!»



Ограниченная рациональность каждого участника системы может приводить к решениям, которые вовсе не благоприятны для системы в целом.

Ограниченная рациональность каждого участника системы, определяемая информацией, стимулами, препятствиями, целями, принуждением и давлением, оказываемым на этого участника, может приводить (а может и не приводить) к решениям, увеличивающим благополучие системы в целом. Если не приводит, то менять одних участников системы на других совершенно бесполезно — состояние системы от этого не

улучшится. Добиться прогресса можно только изменением структуры системы — изменением потоков информации, стимулов, препятствий, целей, принуждения и давления, оказываемого на отдельных участников системы.

5

ГЛАВА

Системные ловушки и возможности

Рациональная элита... Они знают умные слова, всё, что нужно знать о науке и технике, но им катастрофически не хватает кругозора.

Среди них есть марксисты и иезуиты, выпускники Гарварда со степенями по деловому администрированию и кадровые военные... И у всех одна и та же проблема: как заставить их конкретную систему работать.

А цивилизация тем временем... становится все менее понятной и все больше теряет нить развития.

Джон Рэлстон Сол²³, политолог

Запаздывания, нелинейности, отсутствие четких границ и другие подобные свойства, озадачивающие нас, присущи практически всем системам. В принципе, такие характеристики систем нельзя изменить, да и не нужно. Мир в целом нелинеен. Пытаться сделать его линейным, чтобы нам было проще им управлять и вести расчеты — дело неблагодарное, даже если бы это было технически выполнимо. Но сделать мир линейным невозможно. Границы зависят от конкретных проблем, они непостоянны, иногда непонятны, перепутаны между собой, но при этом необходимы для любой организации и четкого представления о ее работе. Чтобы сложные системы озадачивали нас меньше, надо учиться определять их поведение, ценить и использовать сложность мира.

Но некоторые системы не просто удивляют нас — они обладают поистине извращенным поведением. Их структура задает поведение, которое неизбежно приводит к проблемам, причем очень серьезным. Системные проблемы могут быть разными, некоторые из них уникальны, но большей частью они все-таки похожи друг на друга. Те системные" структуры, которые генерируют часто встречающиеся типы проблемного поведения, мы называем архетипами. Вариантами такого поведения — алкогольная и наркотическая зависимость, стремление к худшему, эскалация конфликтов... Они настолько вездесущи, что за неделю мне без труда удалось набрать достаточно примеров из подшивки газеты International Herald Tribune — они прекрасно иллюстрируют каждый из архетипов, описанных в этой главе.

Просто понимать структуру архетипов, генерирующие проблемное поведение, недостаточно. Пытаться загнать их в какие-то рамки абсолютно бесполезно, надо менять их структуру. Вину за разрушения, к которым они способны привести, часто возлагают на отдельных участников системы или какие-то события, но на самом деле все это — следствие самой структуры системы. Обвинять кого-то, призывать к порядку, увольнять, «закручивать гайки», надеяться на более благоприятное стечение обстоятельств или пытаться изменить границы — эти меры пытаются применять постоянно, но они не могут исправить проблемы, обусловленные самой структурой. Вот почему я называю такие архетипы «ловушками».

Но в системные ловушки можно и не попадать. Их надо распознавать заранее и либо избегать таких ситуаций, либо изменять структуру — переформулировать цели, ослаблять, усиливать или изменять циклы обратной связи, добавлять новые обратные связи. Вот почему я говорю, что архетипы — это не только ловушки, но и возможности.

Соппротивление внешнему влиянию: неудачные попытки все исправить

²³ Пересказ на основе интервью: *Barry James. Voltaire's Legacy: The Cult of the Systems Man: International Herald Tribune, December 16, 199?, p. 24.*