

Донелла Медоуз

Азбука системного мышления

Классическая
книга о работе
систем



Донелла Медоуз

Азбука системного мышления

«Манн, Иванов и Фербер (МИФ)»

2008

УДК 159.955
ББК 88.251.311.9

Медоуз Д. Х.

Азбука системного мышления / Д. Х. Медоуз — «Манн, Иванов и Фербер (МИФ)», 2008

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

ISBN 978-5-00117-352-6

© Медоуз Д. Х., 2008
© Манн, Иванов и Фербер
(МИФ), 2008

Содержание

Предисловие автора	6
Предисловие редактора английского издания	7
Введение. Взгляд сквозь объектив теории систем	9
Часть I. Структуры и поведение систем	14
Глава 1. Основные положения	14
Конец ознакомительного фрагмента.	24

Донелла Медоуз

Азбука системного мышления

Издано с разрешения Chelsea Green Publishing

Научный редактор Альвина Савкина

Все права защищены.

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

© 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

* * *

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

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»

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. Шумакер, 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*¹, 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.

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*². Дана входила в состав исследовательской группы в области охраны природы и окру-

¹ Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Беренс В. Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991.

² Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й. За пределами роста. М.: Прогресс; Пангея, 1994.

жающей 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 Валенс 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

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 Акофф³, специалист в области управления*

На одно из первых занятий по изучению систем я обычно приношу игрушку Слинки (Slinky). Если вы забыли, что это такое, напомним: 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:

³ Russell Ackoff, The Future of Operational Research Is Past, Journal of the Operational Research Society 30, no. 2 (February 1979): 93–104.

- 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 сложенных 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 общин⁴. 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 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 [гlossарий](#), [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 стреми-

⁴ 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.

тельно 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 крупичкам, 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 неправ⁵.

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.

⁵ Idries Shah, *Tales of the Dervishes* (New York: E. P. Dutton, 1970), 25.

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 Андерсон⁶

Больше, чем сумма частей

Система – это не просто набор вещей. **Система⁷** – 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 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.

⁶ Poul Anderson, цит. по Arthur Koestler, *The Ghost in the Machine* (New York: Macmillan, 1968), 59.

⁷ Определения понятий, выделенных полужирным шрифтом, приведены в глоссарии.

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 непросто, 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 меандров⁸ рек, и комплексное строение растительного покрова земной коры... такие же источники информации, как и генетические системы... Сохранение информации означает увеличение сложности механизма.

Рамон Маргалеф⁹

Запасы – основа любой системы. Это элементы, которые в любой момент времени можно увидеть, пощупать, посчитать или измерить. Запасы системы – все, что можно выразить количественно, все, что накапливается со временем, как в материальном плане, так и в

⁸ Меандры – система петлеобразных изгибов (излучин) естественного происхождения, составляющих ложе реки. *Прим. ред.*

⁹ Ramon Margalef, *Perspectives in Ecological Theory*, Co-Evolution Quarterly (Summer 1975), 49.

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.

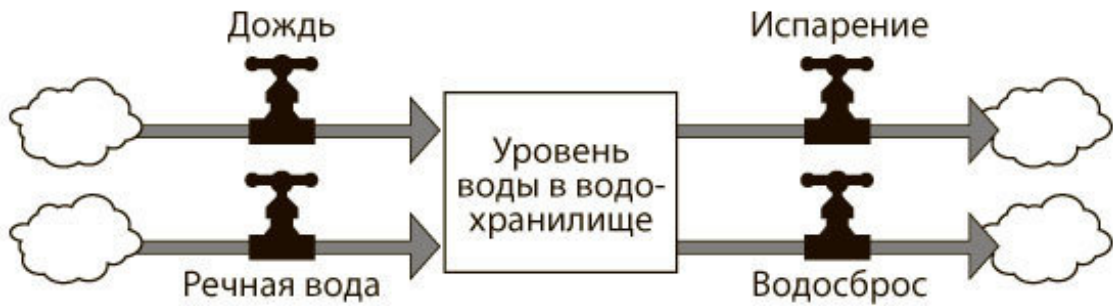


Рис. 3. Запас воды в водохранилище с несколькими входящими и исходящими потоками

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.

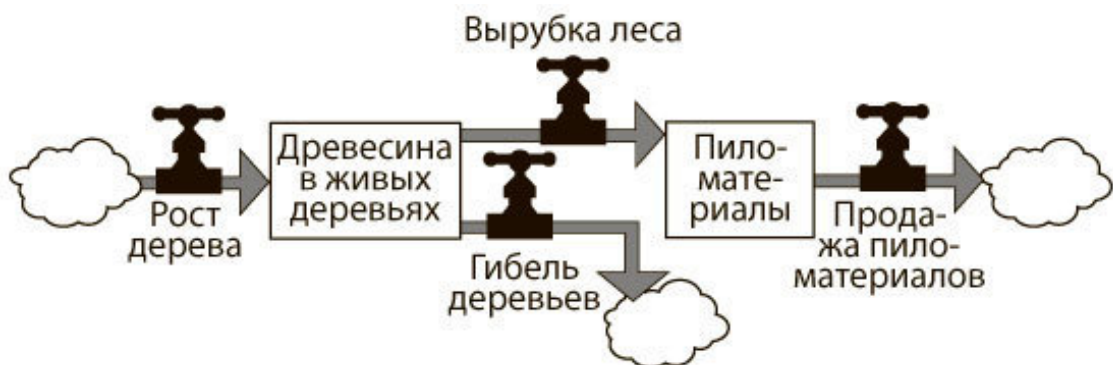


Рис. 4. Запас пиломатериалов непосредственно связан с запасом деревьев в лесу

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.

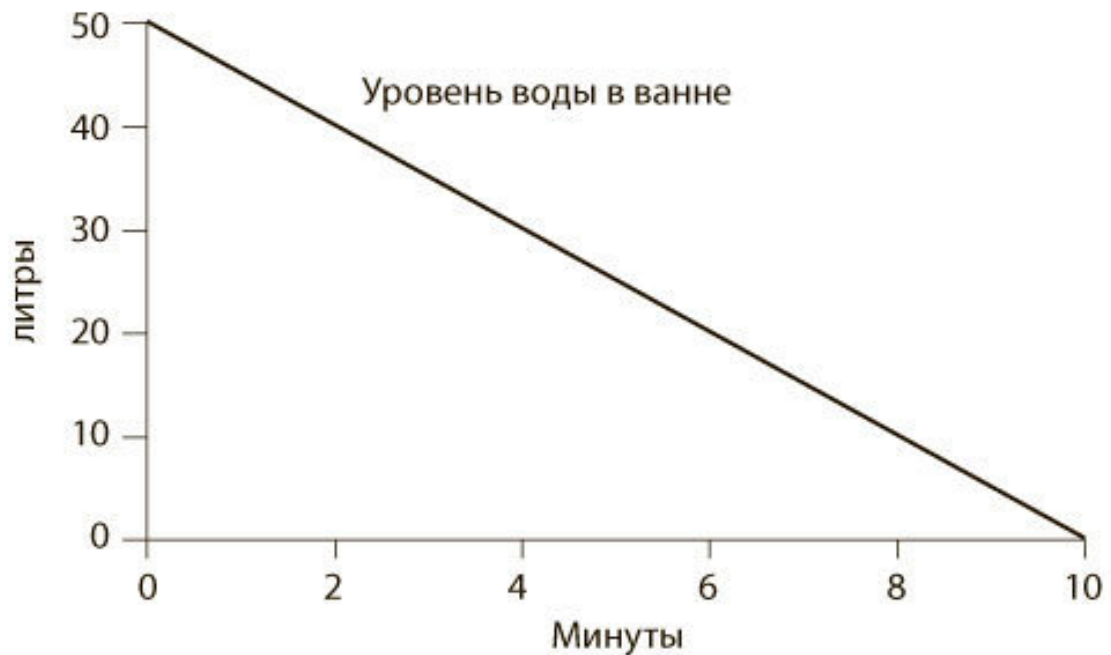


Рис. 6. Изменение уровня воды в ванне при открытом сливе

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.

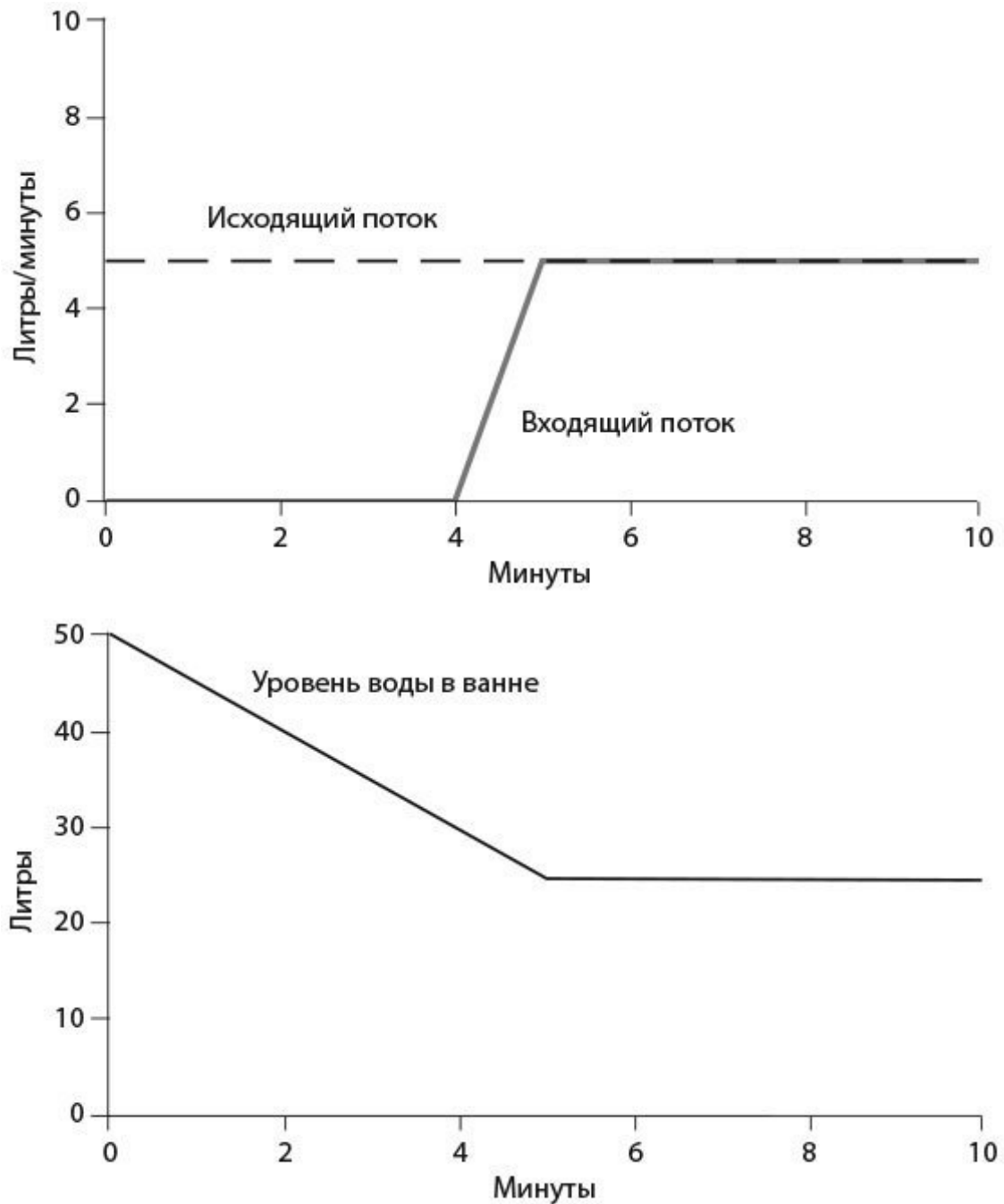


Рис. 7. Изменение уровня воды в ванне при постоянном исходящем потоке; входящий поток, по величине равный исходящему, включается на 5-й минуте. В результате объем воды в ванне стабилизируется

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 короткого периода времени (минуты) испарение из ванны было незначительным, и поэтому оно не учитывалось как исходящий поток. Все модели – умозрительные или математические – это упро-

щения 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.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.