

мах, чтобы понять, почему там не работает логика причин и следствий. Во-первых, система состоит из активных элементов. Это означает, что элементы могут самопроизвольно производить действия без видимых (для внешнего наблюдателя) причин и один и тот же сигнал в разные моменты времени может вызвать разную реакцию элемента. Во-вторых, система представляет собой сеть взаимосвязанных элементов, т.е. каждый элемент получает сигналы от многих других элементов и вырабатывает интегральную реакцию на совокупность сигналов; поведение системы является итогом активности всех ее элементов.

Действуя совместно, эти факторы создают динамику поведения системы, часто не объяснимую и непредсказуемую с точки зрения внешнего наблюдателя.

Причинно-следственная связь — это просто неудачный способ связать друг с другом различные стадии одного события, выделенного и разделенного нами с целью описания. Таким образом, попав в ловушку собственных слов, мы начинаем думать об этих стадиях как о различных событиях, которые нужно склеивать между собой при помощи причинности.

А. Уотс

Желуди не являются причиной дубов, потому что их наличия недостаточно для рождения дуба. Из желудя, брошенного в океан или на ледник, дуб никогда не вырастет. Поэтому Р. Акофф (вслед за Э. Зингером) предлагает называть такую связь «производитель — продукт» [7]. Производитель необходим, но недостаточен для получения продукта. Например, влага наряду с желудем является «соучастником» появления дуба. Она и другие необходимые условия создают окружающую желудь среду. Использование связи «производитель — продукт» требует для объяснения поведения объекта учета внешней среды, тогда как в причинно-следственной схеме окружающая среда либо не принимается во внимание, либо сводится к единственному фактору — причине. Понимание того, что система вне среды не существует, что система «вложена» в окружение — один из элементов системной методологии, который рассматривается ниже.

Мы зачастую допускаем причинную зависимость между параметрами системы в ситуации, когда между ними существует лишь связь. Связанные переменные — это такие переменные, которые изменяются одновременно в одном и том же или в противоположных направлениях. Так, между ростом и весом человека существует очевидная связь, называемая положительной корреляцией. Но изменение одного из этих параметров не является причиной изменения другого. Многочисленными исследованиями установлено, что существует положительная связь между курением и раком легких. Однако этой информации недостаточно, чтобы сделать однозначный вывод о том, что курение является причиной рака легких. С таким же успехом можно сказать, что раковые новообразования в легких стимулируют курение.

Обратная связь. Выше мы рассматривали связи как процессы материального и информационного обмена между элементами системы. Давайте чуть сдвинем точку зрения и посмотрим на связи как на развертывающуюся во времени и пространстве цепочку взаимодействий. И здесь мы сразу видим, что в системе, помимо прямой передачи материальных объектов и сигналов (информации) от элемента *A* к элементу *B* присутствует обратная связь — от *B* к *A*.

К сожалению, наша способность к познанию развивалась на основе предположения об односторонности причинных отношений, т.е. мы привыкли мыслить, не учитывая обратные связи. Поэтому нам так невероятно сложно отчетливо представить себе результат работы системы с обратной связью или поведения взаимозависимых переменных.

Д. Гараедаги

Используем три вспомогательных термина: *вход*, *процесс* и *выход*. Интуитивно они понятны. Есть некоторый объект (устройство, организм, элемент системы), в котором что-то происходит: идет процесс. Что-то поступает на вход процесса, результатом процесса является некоторый выход. Процесс пищеварения заключается в том, что на вход пищеварительной системы поступают продукты питания, идет процесс переваривания пищи и на выходе — кровь, насыщенная нужными веществами, и отходы процесса. Если вход и выход

процесса связаны таким образом, что изменения на выходе влияют на вход, то говорят, что осуществлена *обратная связь*, т.е. связь выхода с входом.

Одной из известных иллюстраций обратной связи служит регулятор частоты вращения вала паровой машины, изобретенный Д. Уаттом в 1788 году (рис. 8.5).

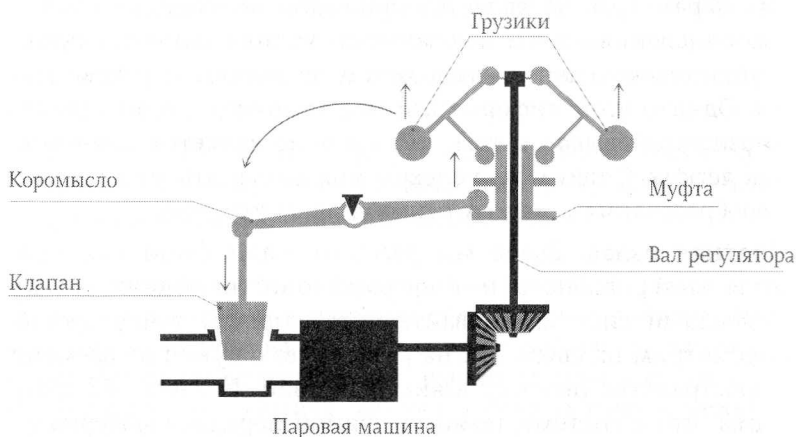


Рис. 8.5. Схема работы регулятора Уатта

Вращение вала паровой машины передается через коническую шестерню на вал регулятора. Во время вращения вала регулятора под действием центробежной силы грузики отклоняются от оси, причем, чем быстрее вращается вал, тем дальше расходятся грузики. При этом муфта через тяги вертикально перемещается: вверх при увеличении оборотов вала и вниз — при уменьшении. Поступательное перемещение муфты через коромысло передается на клапан, изменяющий давление пара, поступающего в цилиндр паровой машины. Если скорость вращения вала машины увеличилась, то увеличилась и скорость вращения вала регулятора. Тогда увеличивается центробежная сила, грузики поднимаются и тянут вверх муфту. Муфта поднимает правое плечо коромысла, и левое плечо коромысла давит на клапан, который уменьшает давление пара. Уменьшение давления пара ведет к снижению оборотов вала паровой машины и вала регуля-

тора, грузики опускаются, и коромысло приподнимает клапан, увеличивая давление пара.

Самой важной концепцией системы является идея, что все изменения обуславливаются «петлями обратных связей»... Мы часто рассматриваем причину и следствие односторонне. Мы говорим, что действие *A* вызывает результат *B*. Но такое понимание не полно. Результат *B* представляет новое состояние системы, изменения которой в будущем повлияют на действие *A*.

Д. Форрестер

В паровой машине входом является давление пара, выходом — скорость вращения вала паровой машины. Через регулятор Уатта выход влияет на вход таким образом, что увеличение выхода ведет к уменьшению входа (и наоборот), что стабилизирует (в определенном диапазоне) скорость вала паровой машины. Такой тип связи называется отрицательной (уравновешивающей, стабилизирующей) обратной связью. Другой тип обратной связи — когда увеличение выхода ведет к увеличению входа. Такая связь называется положительной (усиливающей) обратной связью. Достаточно немного изменить конструкцию, и регулятор Уатта становится устройством, обеспечивающим положительную обратную связь (рис. 8.6). Чем больше обороты вала, тем сильнее раскручиваются грузики, приподнимают муфту и вместе с ней сильнее открывают клапан, увеличивая давление пара, что ведет к дальнейшему увеличению скорости вращения вала — до предела, определенного конструкцией паровой машины и регулятора.

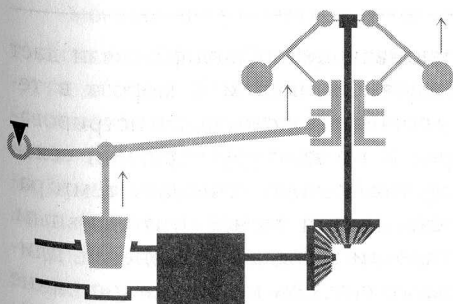


Рис. 8.6. Реконструкция регулятора Уатта для получения положительной обратной связи

Виктор: Я знаю еще хороший пример обратной связи!

— Говори.

Виктор: Сливной бачок в туалете. Там уровень воды регулируется автоматически. Уменьшился уровень воды — поплавок опустился, открыл клапан, вода в бачок потекла, уровень повысился, поплавок поднялся и через коромысло перекрыл клапан.

— Да. Подобным образом действуют петли обратной связи при утолении жажды, голода. Ты испытываешь чувство жажды. Начинаешь пить. Постепенно чувство жажды исчезает. И ты перестаешь пить. Что произошло? По каналу обратной связи пришла команда: «Водно-солевой баланс восстановлен. Виктор, поставь наконец бутылку на стол».

А ты можешь привести пример обратной связи, но не из техники?

Виктор: Общение. По-моему, сплошная обратная связь.

— Да. Но только тогда, когда один *слышит* другого и реагирует на его слова, мимику и жесты. Часто в классических ситуациях общения, особенно когда между собеседниками есть неравенство (родитель и ребенок, лектор и студенты, начальник и подчиненный), обратная связь не отслеживается, и система как активное заинтересованное взаимодействие либо не рождается, либо умирает.

Виктор: В разговорах с женой я намеренно добиваюсь от нее частой обратной связи. Чтобы контролировать, что она придает моим словам тот смысл, который я в них вкладываю. Иначе она может так далеко уплыть в своих истолкованиях...

— Мне нравится твоя тактика.

Кстати, ты не задумывался над феноменом улыбки как способом обратной связи в межличностных коммуникациях?

Виктор: Вообще-то нет...

— Я тоже, пока не наткнулся вот на это высказывание Антуана де Сент-Экзюпери. Послушай: «Здесь как будто всего важнее была улыбка. Часто улыбка и есть главное. Улыбкой благодарят. Улыбкой вознаграждают. Улыбкой дарят тебе жизнь. И есть улыбка, ради которой пойдешь на смерть...»

Простые примеры уравнивающей обратной связи дает физиология нашего организма. Вы вошли с мороза в теплую комнату. Тепловые рецепторы кожи зарегистрировали повышение температуры, и по контуру обратной связи информация доходит до сердца, которое снижает темп работы, и кровообращение становится менее интенсивным. Еще пример. Состояние усталости вызывает изменение длительности времени, уделяемого сну, сон изменяет состояние усталости, и новая степень усталости изменяет в дальнейшем время сна.

Наличие обратных связей — неотъемлемая характеристика систем: нет обратных связей, нет и систем.

Дж. О'Коннор

Примером усиливающей обратной связи может служить процесс обучения. Чем больше мы знаем, тем больше способны узнавать. Скажем, научившись читать, мы получили несравненно большие возможности обучаться. Полученные за цикл обучения знания (промежуточный результат, *выход* процесса обучения) прямо влияют на *вход* следующего цикла обучения. Усвоение операций сложения и вычитания позволяет резко расширить горизонты и перейти в арифметике к умножению, делению, затем возведению в степень. Заметим, что овладение сложением и вычитанием расширяет горизонты ребенка не только в арифметике — например, его уже можно отправить в магазин за покупками.

Функциональная связь, влияние. Выше мы говорили о связях как процессах материального и информационного обмена между подсистемами. Эти процессы могут проявляться в виде:

- перемещения материальных объектов;
- непосредственной передачи изменений в одной подсистеме в другую (собака на поводке: я дергаю за поводок, т.е. изменяю свое состояние, поводок действует на собаку, которая вынуждена изменить свое состояние);
- передачи сигналов, несущих информацию;
- отношений: временно «спящих» связей, которые в любой момент могут стать действующими.

Есть еще форма связи в системах, которая не носит характера обмена. Это функциональная связь, влияние. Рассмотрим хорошо изученную в биологии систему «хищник — жертва». Пусть на острове растет трава и живут волки и зайцы. Большое количество зайцев означает хорошее питание волков и стимулирует рост их популяции. По мере роста числа волков зайцы истребляются. Уменьшение популяции зайцев отрицательно влияет на численность хищников. Уменьшение числа волков способствует размножению зайцев и т.д. Зайцы не передают волкам никаких сигналов. Они не бегают

по острову и не кричат волкам: «Если вы нас всех съедите, вы сами все умрете». Здесь связь между численностью волков и численностью зайцев имеет форму влияния, функциональной зависимости. Функциональная связь определяется самой природой, спецификой взаимодействия подсистем. Зайцам волки не нужны, даже противопоказаны. (Хотя волки, как всякие хищники, выполняют полезную функцию отбраковки больных и слабых особей.) Но такой параметр рассматриваемой системы, как численность популяции зайцев, связан обратной функциональной зависимостью с численностью популяции волков.

В регуляторе Уатта обратная связь непосредственно связывает выход со входом. В системах, имеющих, как мы теперь знаем, сетевую структуру, обратные связи и влияния не столь очевидны. Результат процесса, происходящего в каком-то элементе (элементе *A*), потребляет не только основной получатель (элемент *B*), но, в общем случае, еще несколько других элементов. Они, в свою очередь, порождают продукты, которые расходятся дальше. В итоге может быть несколько контуров обратной связи, один из которых показан на рис. 8.7.

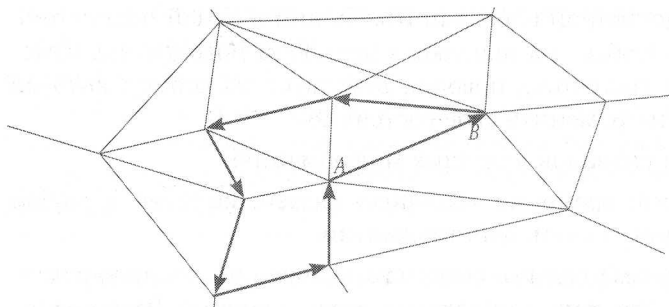


Рис. 8.7. Пример контура обратной связи в сетевом представлении системы

Мы хорошо знаем такие качества организмов и их сообществ, как гибкость, надежность, выживаемость. Эти особенности представляются естественными для сетевой модели системы. Механическая поломка регулятора Уатта (разрыв контура обратной связи) означает остановку (аварию) всей паровой машины. Разрыв одной связи (и даже нескольких) сетевая

структура с ее возможностями дублирования и резервирования может просто не заметить. Концепция обратной связи имеет фундаментальный характер и в неживой, и в живой природе. На идее обратной связи основываются кибернетика и теория автоматического управления, учение о гомеостазе — поддержании в динамическом равновесии внутренней среды организма; контуры обратных связей определяют динамику поведения сложных систем в теории хаоса, теории катастроф, синергетике.

Интерфейс (англ. *interface*). Этот термин — один из ключевых в программировании и в информационных технологиях. Он переводится как «поверхность раздела, перегородка» и означает совокупность средств и методов взаимодействия между различными устройствами. Связь между парой объектов возможна, если они имеют согласованные между собой приемную и передающую части и в процессе сеанса связи действуют по согласованным правилам. Такие правила называются протоколом. Неважно, насколько отличаются сами объекты, насколько у них разная природа, разное внутреннее устройство. Они будут «понимать» друг друга, если конструкция «выхода» одного объекта будет соответствовать конструкции «входа» другого объекта.

Вилка и розетка — интерфейс энергоснабжения электроприборов. Если у вас розетка старого образца, а вы купили пылесос «Бош» с вилкой нового евростандарта, то можно сказать, что интерфейсы предоставления и потребления электроэнергии оказались разными. И вас выручает переходник — интерфейс между старым и новым стандартом энергоснабжения.

Руль, педали газа, тормоза, рычаг коробки передач — интерфейс связи человека с автомобилем. Приборная панель — интерфейс связи автомобиля с человеком. Вы можете не знать, что у машины под капотом, машина, в свою очередь, даже не подозревает о вашем существовании. Однако интерфейсы дают возможность продуктивного взаимодействия вас и автомобиля.

Виктор: Да, помимо вычислительной техники, все это было. Только называлось по-другому. Например, эргономикой. И в радиотехнике базовый принцип — согласо-