

Денис Жилин. Теория систем. Опыт построения курса

Книга «Теория систем» оставила неоднозначное впечатление. С одной стороны, меня интересует системный подход, в первую очередь, в менеджменте. И в этом плане книга, пожалуй, подбросила несколько полезных идей. С другой стороны, это не первый, прочитанный мною труд по кибернетике и общей теории систем, который дает ощущение бесплодности изучения систем на самом абстрактном уровне – систем, как таковых. По крайней мере, не сравнить с ценностью книг [Деминга](#) или [Сенге](#), рассматривающих наши организации, как системы. Однако, учитывая, что это уже 5-е издание книги, (возможно, моя оценка не верна)) Ссылку на книгу я встретил на сайте [leanzone.ru](#).

Денис Жилин. Теория систем. Опыт построения курса. – М.: URSS, Ленанд, 2017. – 176 с.



Купить книгу в [Ozon](#)

Глава 1. Цели человека и задачи познания

На протяжении всего существования человечества люди стремятся достичь собственных целей. Чтобы предугадывать результаты своих действий и придумывать, как ему действовать, человек постоянно вынужден мысленно решать две задачи — экспертную и конструктивную. *Экспертная задача* — на основании данных о настоящем моменте описать прошлое или предсказать будущее, а также описать глубинные и неочевидные процессы в настоящем. Решением экспертной задачи является сценарий. Сценарий должен отвечать на вопрос «что было бы, если...?», «что будет, если...?» или «что происходит в настоящий момент, если...?».

Конструктивная задача — создать нечто с заранее заданными свойствами. Для теории систем ее можно сформулировать так: «создать систему с такими-то интегративными свойствами». Частный случай конструктивной задачи — «не допустить возникновения чего-то с заданными свойствами». Решением конструктивной задачи является проект. Проект должен отвечать на вопрос «как сделать так, чтобы...?».

К сожалению, человеческая деятельность далеко не всегда планируется идеально. Крайне распространенная ошибка очень многих людей, в том числе и обладающих широкими возможностями для деятельности, — принятие проекта, к которому не была решена экспертная задача. Такой проект мы будем называть *утопией*.

Глава 2. Объект

Человека окружают *объекты* — нечто, существующее помимо человека, что человек может воспринимать своими ощущениями. Того, кто обладает сознанием и ощущениями и способен ставить цель, мы будем в дальнейшем называть *субъектом*. Любой объект обладает *качеством*. Человек никогда не может ощутить качество объекта, ибо качество — нечто, присущее объекту самому по себе, вне зависимости от наличия или отсутствия субъекта, а субъект ощущает объект только во взаимодействии с ним. Для субъекта качество проявляется некими своими сторонами — *свойствами*.

Некоторые свойства могут быть описаны количественно, то есть проявляться в той или иной мере. Мера количественного описания свойства будем называть *параметром*. При этом, любой параметр мы можем определить только с точностью, которая задается измерительными приборами. Но неточность приборов — это еще не все. Один из выводов квантовой механики — принцип неопределенности Гейзенберга — состоит в следующем: ни для одного объекта невозможно сколь угодно точно одновременно определить координату и импульс. Погрешности их одновременного определения описываются формулой:

$$(1) \Delta x \cdot \Delta p \leq \frac{h}{2\pi}$$

где Δx — погрешность в определении координаты, Δp — погрешность в определении импульса, h — постоянная Планка.

Поскольку свойства объектов проявляются в их взаимодействиях с другими объектами, они зависят не только от качества, но и от внешних условий. Например, белая бумага при свете красного фонаря будет красной, а при свете зеленого — зеленой. Изменение свойств объекта в зависимости от условий называется *поведением* объекта. Более того, свойства объекта зависят и от субъекта. Например, человек будет считать мак красным, а пчела — ультрафиолетовым.

Свойство также можно рассматривать как объект, несколько отличающийся от исходного объекта (который мы в дальнейшем будем называть *объектом нулевого уровня*, или *объектом-0*). Можно говорить о «свойствах свойств», «свойствах свойств свойств» и т. д., строя объекты все более и более высоких уровней.

Изменение качества объекта во времени называется *процессом*. Процесс проявляется в изменении свойств. Процесс может быть, как непрерывным, так и ограниченным во времени. В последнем случае он называется *событием*.

Объекты-0 состоят из материи — несотворимой и неуничтожимой вечной сущности. Материя двулика: она может проявляться в виде вещества или в виде энергии. Вещество характеризуется массой и протяженностью. При некоторых условиях вещество и энергия могут переходить друг в друга по соотношению Эйнштейна: $E = mc^2$, где E — энергия, m — масса, c — скорость света. Постулат о несотворимости и неуничтожимости материи получил название *закона сохранения материи*. Из него следует, что объекты-0 нельзя полностью уничтожить: материя, из которых они созданы, сохранится. Из этого следует, что качество нельзя уничтожить, а можно только изменить вместе с изменением объекта.

Если качество объекта можно изменить, то в нем, кроме сохраняемой сущности — материи, должна быть и какая-то несохраняемая сущность. Она, называется *информацией*. Процесс отображения свойств, то есть перенос информации от объекта к субъекту, называется *познанием*.

Чтобы описать информацию количественно, нужно воспользоваться определением Шеннона: информация — есть мера количества снятой неопределенности:

$$(2) I = \log_2 \left(\frac{N}{n} \right),$$

где N — количество всех возможных состояний, n — количество возможных состояний после получения информации I (подробнее см. [Введение в теорию информации](#)).

Понятие структуры тесно связано с понятием «информация». Наличие структуры снимает какое-то количество неопределенности, а значит, является (субъекту) информацией. Любая структура (и, соответственно, закодированная в ней информация) устойчива в некоем диапазоне условий. Свойства объекта порождаются его структурой, а значит — содержащейся в нем информацией. Из этого следует три важных вывода:

1. Свойства имеют информационную природу.
2. Разные свойства объекта взаимосвязаны через его структуру, поэтому познание структуры — ключ к познанию объекта.
3. Существование материи без структуры (то есть не несущей никакой информации) невозможно.

В соответствии со вторым законом термодинамики в изолированной совокупности взаимодействующих объектов все процессы протекают таким образом, чтобы энтропия росла. В 1872 году великий австрийский физик Л. Больцман сформулировал понятие энтропии как меры беспорядка и ввел формулу для ее расчета: $S = k \cdot \ln W$, где S — энтропия, k — константа Больцмана, а W — число возможных микросостояний в данном макросостоянии. Любая структура, любой порядок уменьшают неопределенность.

Второй закон термодинамики можно переформулировать следующим образом: структуры, предоставленные сами себе, имеют обыкновение разрушаться.

Материя без информации невозможна, ибо ничем ни для чего не проявляется. С другой стороны, информация без материи тоже невозможна, так как для информации нужен носитель. То есть материя и информация находятся в неразрывном единстве. Но при этом материя (энергия) воздействует на информацию (вплоть до возможности ее уничтожения), а информация — на материю, то есть материя и информация находятся в постоянном противоречии и борьбе. Такая пара сущностей является диалектической противоположностью, а снятие противоречий между ними есть причина развития.

Для познания объекта человек использует модели.

Глава 3. Моделирование как инструмент познания

В соответствии с двумя видами задач (экспертной и конструктивной) существуют два вида моделей (рис. 1). Для решения экспертной задачи моделируется уже существующая система. Получившаяся модель будет *познавательной*. Она подгоняется под реальность путем последующего сравнения предсказаний модели с действительным развитием событий. Для решения конструктивной задачи нужно создать модель системы!! с заданным свойством. Такая модель называется *прагматической*, то есть, такой, под которую потом будет подгоняться реальность.



Рис. 1. Соотнесение целей, задач и моделей

Для повышения адекватности моделей их необходимо фальсифицировать, то есть отслеживать расхождения предсказаний модели с действительностью и вносить в модель изменения, после чего снова сравнивать предсказания, полученные на основании измененной модели с действительностью, снова вносить изменения и т.д. Механизм фальсификации — основное отличие научных моделей от всех остальных (подробнее см. [Карл Поппер. Логика научного исследования](#)).

Модель должна быть экономичной. Решение задач с использованием модели должно занимать как можно меньше времени, энергии, материалов и т.п. Для повышения экономичности моделей используют прием, называемый *бритвой Оккама*: «Не множь сущностей без необходимости». Например, если десять явлений могут быть адекватно описаны одной моделью, то не нужно придумывать свою модель для каждого явления.

Любой объект можно моделировать огромным числом разных моделей, каждая из которых будет адекватна в своих границах применимости (т. е. для решения определенных задач), которые всегда должны быть указаны.

Классификацию можно считать элементарным моделированием, поскольку все остальные модели так или иначе на ней основываются. В ходе классификации объекты разбиваются на группы с одинаковым набором некоторых свойств, называемые *классами*. Классификация иерархична. Не существует наилучшей классификации. Любая классификация (как и любое другое моделирование) осмыслена только для решения тех или иных задач и оказывается неким компромиссом между адекватностью и экономичностью.

Если свойства объектов изменяются непрерывно, то их можно также делить на классы, но это деление будет условным, и соответствующая классификация тоже будет *условной*. Пример условных классов — теплый и холодный, высокий и низкий и т.п.

Для отнесения объекта к тому или иному классу выбирается один или несколько *признаков класса* — свойств, наличие которых сопряжено с наличием других свойств (тех, которые необходимы для решения задачи). Поскольку свойства зависят от условий, при изменении условий классификация может стать неадекватной. Второй подводный камень связан с открытостью классов, в результате чего никогда нет гарантии, что в какой-то момент не будет обнаружен объект, который по всем признакам можно отнести к данному классу, но который многими характерными свойствами; данного класса не обладает. В эту ловушку попал основоположник классификации Аристотель. Он предложил определение человека как «двуногое без перьев».

Глава 4. Понятие «система»

Свойство совокупности, которое не является суммой или средневзвешенным свойств отдельных компонентов совокупности называется интегративным (эмерджентным) свойством. Совокупность, обладающая интегративным свойством, называется системой.

Из этого можно сформулировать экспертную и конструктивную задачи теории систем. Экспертная задача: каким интегративным свойством будет обладать та или иная взаимосвязанная совокупность объектов. Конструктивная задача: как создать или сохранить такую взаимосвязанную совокупность объектов, чтобы получить или сохранить то или иное интегративное свойство.

Любая система состоит из компонентов и связей между ними, а также их связей с внешней средой. Связи могут быть пространственными (структурными) и временными (причинно-следственными). Структурные связи обеспечивают порядок в пространстве, причинно-следственные связи обеспечивают порядок во времени.

Глава 5. Системное устройство Мира

По утверждению [А. А. Богданова](#), «организационные методы едины для всех областей». Из этого следует, что теория систем — наука о правилах перехода с уровня на уровень, а естественные науки поставляют информацию о характере систем своего уровня. Интегративное свойство оказывается очень удобным для определения различных объектов изучения естественных наук. При этом оптимально определение должно выглядеть следующим образом: «Объект есть совокупность таких-то компонентов, обладающая таким-то интегративным свойством». Например, «Молекула — совокупность атомов, обладающая меньшей энергией, чем суммарная энергия любых ее отдельных фрагментов»; «Биоценоз — совокупность живых существ, способных поддерживая функционирование друг друга на большем промежутке времени, чем функционирование любого отдельно взятого живого существа» и т.д.

При этом, теория систем не позволяет решить проблему сводимости: можно ли свойства систем высокого уровня вывести из свойств систем низкого уровня. Грубо говоря, можно ли предсказать поведение животного, зная, из каких молекул оно состоит. Законы низкоорганизованных систем определяют законы высокоорганизованных, но не наоборот.

Глава 6. Фундаментальные принципы в системах

Функционирование любых систем подчиняется фундаментальным принципам. Их часто называют законами. Например, закон сохранения материи: материя не исчезает в никуда и не возникает ниоткуда, но только переходит из одного вида в другой.

Деградация структур. Второй закон термодинамики звучит так: в замкнутой (не обменивающейся с внешней средой ни массой, ни энергией) термодинамической системе все процессы протекают в направлении увеличения энтропии. Таким образом, конечный пункт развития любой замкнутой

системы — состояние с максимумом энтропии. Структуры в этом состоянии разрушены. Чтобы система не пришла в столь запущенное состояние, чтобы в ней сохранялась, поддерживалась и даже развивалась структура, она должна быть открыта, то есть обмениваться с внешней средой массой и энергией.

В соответствии со свойствами термодинамических потенциалов при образовании структуры во внешнюю среду выделяется энергия, которая в ней и рассеивается. Если рассеивающуюся энергию не восполнять, то дальнейшее структурирование остановится, когда в системе исчерпаются запасы энергии. Чтобы структурирование продолжалось, нужно подводить к системе энергию (рис. 2).



Рис. 2. В соответствии со вторым законом термодинамики структурирование системы должно сопровождаться увеличением энтропии во внешней среде

Более строго процессы образования структур в неравновесных потоках описал Пригожин с сотрудниками. Такие структуры Пригожин называет диссипативными (от слова «диссипация», что означает «рассеивание»). Для нас важна необходимость постоянного подведения массы и энергии к структуре, чтобы структура могла существовать. При этом хаос вокруг структуры будет увеличиваться (подробнее см. [Илья Пригожин. Порядок из хаоса](#)).

Любая материя несет в себе какую-то информацию. Например, если нам нужно изготовить деталь определенной прочности, мы можем изготовить ее из килограмма грязного чугуна, не обращая внимания на внутренние и поверхностные дефекты (закладываем материю), или из легированной стали, обработанной так, чтобы минимизировать количество внутренних дефектов (закладываем информацию).

Человек никогда не использует объекты как таковые. Он использует их свойства. Например, в одежде он фактически использует теплоизолирующую способность, удобство, способность впитывать влагу, а никак не одежду саму по себе. Поэтому производители одежды производят ее не ради одежды самой по себе, а ради ее свойств, то есть фактически производят свойства. Но свойство — это информация. Следовательно, любой производитель производит информацию. За производимую информацию производитель получает плату. Та часть цены товара, которую получает производитель за произведенную им информацию, называется добавленной стоимостью.

Подытожим все, что написано в этом разделе. Для реализации интегративного свойства системе нужны ресурсы, которые в принципе ограничены. Для конструирования системы, а также для поддержания ее функционирования эти ресурсы должны быть распределены наиболее эффективно. Распределение ресурсов есть *управление*.

Из ограниченности всех ресурсов следует закон предельной полезности, первоначально сформулированный для экономических систем: добавление каждой новой порции ресурса приносит меньшую пользу, чем добавление предыдущей такой же порции (подробнее см. [Теория предельной полезности](#)).

Из ограниченности ресурсов следует также наличие пар свойств, которые не могут одновременно реализовываться в полной мере (*антагонизм свойств*). Например, общество должно хорошо кушать и охранять себя от внешних врагов. Чтобы хорошо кушать, нужно масло, чтобы обороняться — нужны пушки. Для производства и того, и другого нужны люди, число которых ограничено. Поэтому количество произведенных пушек и произведенного масла оказываются антагонистическими свойствами (рис. 3).



Рис. 3. Объемы производства пушек и масла — антагонистичны свойства. По осям отложены максимальные объемы производства пушек и масла при данном количестве ресурсов

Если среди заранее заданных свойств находятся антагонистичные (а так бывает всегда хотя бы потому, что любой системе требуется надежность, а это универсальное антагонистическое свойство), то перед конструктором встают антагонистичные цели. У конструктора возникает *принципиальная проблема выбора* (ППВ). Однако объективного критерия для оценки полезности каждого свойства не существует. Как правило, конструктор решает ППВ, сообразуясь со своей системой ценностей. Поскольку системы ценностей у разных людей разные, обязательно найдется индивид, который будет недоволен данным решением. Если принять иное решение, найдется другой недовольный им индивид. Поэтому задача системного конструктора — задача неблагодарная, ибо всегда найдутся недовольные его работой. Получается, что ключевой проблемой оптимального конструирования систем оказывается проблема систем ценностей.

Другой случай, в котором проявляется ограниченность ресурса — достижение идеала. Зависимость требуемых ресурсов от степени приближения к идеалу возрастает в бесконечность, и 100%-ного идеала достичь нельзя (рис. 4).



Рис. 4. Рост затрат при приближении к идеалу

Правила эффективного управления:

- Если системе нужно несколько ресурсов, то их соотношение должно быть таким, чтобы суммарная полезность была максимальной.
- При конструировании системы и управлении ею нужно ориентироваться на системы ценностей тех субъектов, в чьих целях создается или функционирует система.
- Затрачивая ресурсы на совершенствование системы, нужно уметь вовремя остановиться, поймав тот момент, когда затраты на эту процедуру становятся неприемлемо велики

Только стационарные системы могут быть устойчивы неограниченное время. *Стационарные системы* это такие системы, в которых количество входящей материи равно количеству выходящей. Если поток на входе меньше, чем поток на выходе, то расходуется материя, содержащаяся в системе. Когда она иссякнет, потом станет стационарным, если это иссякание не приведет систему к гибели.

Глава 7. Порождение интегративного свойства

Для возникновения интегративного свойства необходимо определенным образом структурировать ресурсы, иными словами, нанести на ресурсы информацию. Таким образом, интегративное свойство имеет информационную природу. Чем сложнее структура системы, то есть, чем больше информации содержит система, тем больше интегративных свойств может у нее возникнуть.

Система может образоваться двумя путями: либо ее конструирует субъект, либо она возникает путем самоорганизации.

Глава 8. Исследование систем

Процесс познания связан с неким отображением познаваемого объекта познающим субъектом. Из этого следует, что для адекватного познания познающий субъект должен быть сложнее познаваемого объекта (иначе говоря, у него должно быть больше возможных состояний), в противном случае каким-то частям познаваемого негде будет отображаться.

Никакая система не может быть не связана с внешней средой. При этом, если принять, что целое сложнее его части и что познающее должно быть сложнее познаваемого, исследователь должен находиться во внешней среде. Если он будет включен в систему, то система-будет заведомо сложнее исследователя и познать ее будет невозможно.

Однако исследователь должен быть связан с системой. Иначе он не получит о ней никакой информации. Связавшись с исследуемой системой, исследователь может, сам того не подозревая, образовать с ней новую систему, которая будет иметь иные свойства, чем система имела бы при его отсутствии. Поэтому свойства любой системы зависят от исследователя! Очень ярко это проявляется в квантовой механике [Гейзенберг], а также различных науках, изучающих системы, состоящие из людей. Э. Берн, например, подробно описывает подводные камни, подстерегающие группового психотерапевта. Натыкаясь на них, он сам вступает в групповые отношения, которые пытается корректировать (см. [Эрик Берн. Игры, в которые играют люди](#)).

Возникает *артефакт* — представление об измененной системе как о неизменной. Необходимость изменения системы для изучения ее структуры формирует дилемму: либо мы изучаем структуру системы (с соответствующими артефактами), либо ее функционирование, но никак не их вместе. Получается некий аналог принципа неопределенности Гейзенберга.

Любой исследователь натывается на непреложное действие закона: чем больше влияем, тем меньше знаем, и наоборот. Но наиболее интересно положение самопознающей системы. Чтобы познать себя, она должна быть сложнее себя самой. Попытка такой системы познать себя приведет к ее усложнению, попытка дальнейшего самопознания — к дальнейшему усложнению и т.д. Например, публикация результатов опросов общественного мнения заставляет людей учитывать эти результаты в своей деятельности, и в дальнейшем — формирует общественное мнение.

Модели систем, как правило, многоуровневые. Простейший уровень модели — *модель «черного ящика»*. Это модель, не рассматривающая внутреннее устройство системы, а описывающая только внешние связи и функции системы. Пример негативного результата такого подхода — модель московского водопровода, которой до недавнего времени руководствовались московские управленцы (рис. 5).

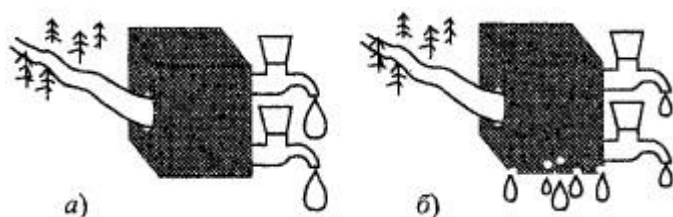


Рис. 5. Система *Мосводопровод*: а) на первый взгляд, б) на более внимательный взгляд

В используемой модели «Мосводопровод» представляется «черным ящиком» с одним входом (различные источники природной воды) и одним выходом (краны потребителей). Если мало воды на выходе (в кране), значит, надо подать больше воды на вход, увеличивая количество используемых водоисточников. На самом деле у системы два выхода — краны потребителей и дыры в трубах. Чтобы увеличить количество воды в кранах, достаточно перекрыть второй выход, залатав трубы.

Если начать забираться внутрь «черного ящика» (или компоновать различные «черные ящики»), то модель системы становится иерархической. По мере усложнения модели она перестает укладываться в голове одного исследователя, и он отдает моделирование отдельных объектов другим исследователям, а сам рассматривает эти объекты как «черные ящики», о свойствах которых ему сообщают другие исследователи. На границе «епархий» возникает огромное количество неувязок.

Все модели делятся на два принципиально разных типа. Первый — *функциональная модель*, описывающая последовательность действий системы для достижения интегративного свойства. Второй — *структурная модель*, описывающая элементы с их характерами, системообразующие связи и потоки, идущие по этим связям. Эти две модели не могут быть одновременно сколь угодно точными. Смешение структурной и функциональной модели недопустимо — из элемента не может следовать функция, и наоборот. Эти две модели должны друг другу соответствовать, то есть каждому элементу приписывается некая функция, а каждую функцию выполняют какие-то элементы.

Моделирование систем — это *искусство*. Моделирование, как и любой творческий процесс, протекает в результате самоорганизации структур мозга, не управляемой сознанием, являясь во многом следствием интуиции.

Любое моделирование начинается с постановки задачи. Далее необходимо решить вопрос, является ли поставленная задача задачей теории систем, то есть относится ли она к интегративному свойству. Если задача действительно является задачей теории систем, то только тогда объект имеет смысл моделировать *как систему*. Далее процесс моделирования различается в зависимости от того, какую модель мы строим: прагматическую или познавательную.

В зависимости от того, с каким ресурсом мы имеем дело и какую информацию нужно на него нанести, приходится привлекать аппараты частных наук. Если мы хотим построить молекулу определенной структуры — аппарат химии, если соорудить нечто, что выдержит определенные нагрузки — аппарат сопротивления материалов, если сделать нечто, что почти не испытывает сопротивления воздуха — аппарат аэродинамики и т.д.¹ Существуют и другие приемы построения прагматических моделей. Эти приемы разрабатываются и изучаются специальной отраслью науки, называемой «теория решения изобретательских задач».

Глава 9. Дезорганизация и устойчивость систем

Все в мире находится в постоянном движении, результатом которого нередко бывает нарушение функционирования систем. Наша деятельность тоже может приводить к нарушению функционирования систем. *Дезорганизация системы* — лишение системы интегративного свойства. *Разрушение системы* — уничтожение какой-либо части структуры системы с потерей интегративного свойства.

Устойчивость системы — ее способность сохранять структуру при различных внешних воздействиях. Соответственно неустойчивость системы — способность изменять свою внутреннюю структуру под влиянием внешних воздействий. Любое развитие и изменение системы проходит через стадию ее разрушения, поэтому ***чем более устойчива система, тем хуже она развивается.***

Частным и, пожалуй, наиболее ярким случаем устойчивости системы является *гомеостаз* — поддержание внутренних параметров системы в определенных пределах при колебании внешних параметров.

Механизмы дезорганизация. Если мы лишаем систему материальных ресурсов, то через какое-то время это неминуемо приведет к разрушению структуры (2-й закон термодинамики). Разрушить элемент можно, приложив к нему «активность», превышающую его «сопротивление». Стойкость системы к разрушению определяется наименее стойким звеном (этот аспект подробно изучается теорией ограничений; см., например, [Элияху Голдратт, Джефф Кокс. Цель. Процесс непрерывного улучшения](#)).

Стабилизация системы сводится к сопротивлению указанным воздействиям. Существует два механизма влияния на них: добавление избыточных звеньев, наличие обратной связи (последний может, как стабилизировать, так и дестабилизировать систему). Если изменение какого-либо параметра в контуре обратной связи приводит к его дальнейшему изменению, то говорят, что в этом контуре реализована положительная обратная связь (этот контур еще называют порочным кругом). Если изменение какого-либо параметра в контуре обратной связи подавляет его дальнейшее изменение, то говорят, что в этом контуре реализована отрицательная обратная связь.

Системы с положительной обратной связью неустойчивы. В целенаправленных системах обратная связь играет еще одну крайне важную роль — она направляет функционирование системы к цели.

¹ Вот почему роль общей теории систем не вполне понятна. — Прим. Багузина

Глава 10. Развитие систем

Любой акт изменения и, в частности, развития есть последовательность дезорганизации и организации. В процессе развития часть старых связей в системе разрывается, образуются новые связи, и система меняет свои свойства, в том числе и интегративные. Причем развитие может быть, как *конструктивным*, то есть протекающим с увеличением содержащейся в системе информации (а, следовательно, с появлением новых интегративных свойств), так и *деструктивным*, то есть протекающим с уменьшением количества содержащейся в системе информации (а, следовательно, с уничтожением интегративных свойств).

В основе изменений лежит противоречие. Противоречие может быть *структурным* и *функциональным*. Структурное противоречие так или иначе связано с потоками ресурсов между объектами, ибо именно эти потоки способны дезорганизовать (в частности, разрушить) структуру. Функциональные противоречия возникают в результате разнонаправленных причинно-следственных связей, то есть объекты стремятся уничтожить друг друга как причину.

Противоречие имеет информационную природу. Структура противится своему изменению. Если бы было иначе, все структуры были бы абсолютно неустойчивы. В итоге противоречие оказывается следствием устойчивости систем.

Для предсказания путей развития системы нужно начинать с выявления противоречий в ней и между ней и внешней средой. Задача осложняется тем, что большинство противоречий в системах – скрытые, но могут стать фатальными в ходе своего развития. Для выявления скрытого противоречия требуются зачастую большие усилия, и процедура поиска таких противоречий скорее — искусство. Переход противоречия в открытую стадию проявляется как *конфликт*. Любое развитие ведет к снятию противоречия.

Чем сложнее система, тем больше в ней противоречий (особенно, заправленных в низких уровнях) и тем труднее предсказать ее развитие. Если в системе содержится противоречие, конструктор должен для начала попытаться ее оптимизировать. И только если это невозможно — достраивать какие-то подсистемы, направленные на снятие противоречия.

Общая теория развития называется *диалектикой*. По Гегелю, в качестве основных положений диалектики рассматривают три закона диалектики:

1. Единство и борьба противоположностей.
2. Отрицание отрицания.
3. Переход количественных изменений в качественные.



Рис. 6. Ян (светлый) и инь (темный) — диалектический символ древнекитайской философии, отображающий взаимодействие противоположностей. Слишком большой инь порождает растущий ян, а когда последний становится слишком большим, вновь порождает инь...

Единство и борьба в диалектической паре уже есть противоречие. Оно означает, что отдельно сопряженные объекты не могут существовать, так как немыслимы друг без друга. Диалектические понятия немыслимы одно без другого, так как, либо определяются друг через друга, либо соответствуют противоположным подклассам. Например, понятие «хищник» и «жертва».

Формирование системы из диалектической пары происходит за счет контура обратной связи, который в диалектической паре имеется по определению (в определении говорится о взаимном воздействии противоположностей). Именно контур обратной связи, с одной стороны, снимает противоречие между компонентами, а с другой — придает диалектической паре интегративное свойство.

Любое развитие требует какого-то изменения структуры, при котором происходит разрыв одних связей и образование других. Разрыв связей нарастает как снежный ком, все ускоряясь и ускоряясь. Получается интересная ситуация: разрыв некоторых связей (начало перестройки системы) провоцирует разрыв других связей, вызывая усиление перестройки системы! Налицо положительная обратная связь, которая может привести к распаду системы, что есть качественное изменение.

С другой стороны, формирующаяся система конфигурируется и организует потоки таким образом, что вовлечение в нее новых элементов с подходящими ролями облегчается. Контур положительной обратной связи, приводящий к разрушению старой системы (больше разрывов связей — слабее связи оставшихся элементов — больше разрывов связей), сменяется контуром положительной обратной связи, приводящим к созданию новой системы (больше образующихся связей — устойчивее система — больше новых связей успевает образоваться). И так происходит до тех пор, пока не исчерпаются запасы элементов со свободными входами и выходами. Иначе говоря, включится контур отрицательной обратной связи (больше связанных элементов — меньше возможностей для дальнейшего связывания — меньше вновь связанных элементов), итогом функционирования которого будет стабилизация структуры системы.

Видимо, скачкообразностью качественной перестройки любых систем объясняется отсутствие остатков переходных форм эволюции живого мира, каковое отсутствие дает сильный козырь в руки разного рода креационистов. Если принимать идею скачкообразной перестройки, эти переходные формы должны были существовать всего несколько поколений, и найти их остатки — большое везение.

В ходе качественных скачков часть компонентов системы всегда меняет свой класс на противоположный. Процесс перехода объекта в противоположный класс называется *отрицанием*. Развитие любой системы всегда проходит через отрицание.

Для адекватного моделирования в структуре объекта должна содержаться структура его противоположности, обладающая всеми свойствами последней. Противоположности становятся все больше и больше похожи друг на друга! Объект становится также, если не лучше, приспособлен к некой роли, как его противоположность. Простой пример: кто такой человек, владеющий силовыми приемами борьбы с другими людьми, информацией о наиболее эффективных путях осуществления преступной деятельности и имеющий обширные связи в преступной среде? Это может быть, как бандит, так и милиционер. Потому-то часто хорошие милиционеры получаются из дворовой шпаны, а отъявленные бандиты — из милиционеров.

Поскольку развитие любых систем имеет схожие причины (противоречия) и подчиняется одинаковым законам (законам диалектики), общие пути развития всех систем тоже оказываются в целом схожи. Пути развития частных систем от возникновения до гибели неоднократно описывались. Так, Л.Н. Гумилев полностью проследил развитие этноса (интегративное свойство — преобразование окружающей среды с целью обеспечения своего воспроизведения и расширения; подробнее см. [Лев Гумилев. Струна истории](#)).

Системы в своем развитии проходят несколько этапов (рис. 7).

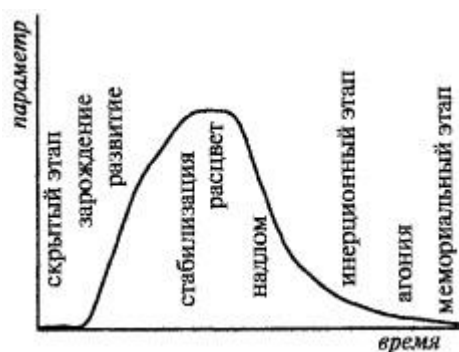


Рис. 7. Эволюция систем по траектории всплеска

Траектории развития систем. Количественные динамические модели можно представить зависимостью тех или иных параметров от времени. Эту зависимость обычно отображают графиком функции, где по оси абсцисс — время, а по оси ординат — некий параметр. Если необходимо

проследить одновременное изменение нескольких параметров, то их откладывают по осям координатной сетки, формируя тем самым *фазовое пространство*.

Поскольку параметры, отложенные по осям, зависят друг от друга, то геометрическим местом точек, которые могут реализоваться при развитии системы, будут линии. Эти линии называются траекториями системы в фазовом пространстве. Время при этом обычно по осям не откладывается, но его изменение обозначается стрелкой. Иногда точками отмечают равные промежутки времени и тогда видно, насколько быстро система движется по своей траектории (рис. 8).

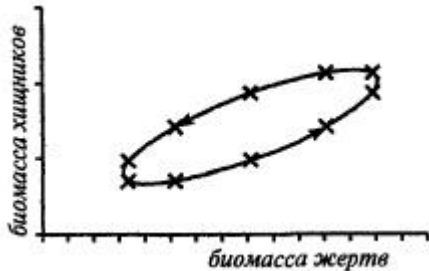


Рис. 8. Траектория системы «хищник — жертва» в фазовом пространстве. Крестиками отмечены равные временные промежутки

Область фазового пространства, в которую сходятся траектории развития системы, называется *аттрактором* (от английского «to attract» — притягивать). Если у системы существует два аттрактора, то при каких-то исходных значениях параметров система устремится к одному аттрактору, а при каких-то — к другому. Диапазон исходных значений параметров, при которых система стремится к данному аттрактору, называется *бассейном аттрактора*.

Если есть бассейны аттракторов, то есть и границы между ними. Если состояние системы лежит строго на границе бассейнов, то малейшее изменение условий «сталкивает» ее в один из двух бассейнов. Более того, границы бассейнов могут иметь настолько сложную и извилистую форму, как, например, у фракталов, что если точка находится вблизи этой границы, то для предсказания ее поведения нужно определить исходные параметры с очень большой точностью (см. [Бенуа Мандельброт. \(Не\)послушные рынки: фрактальная революция в финансах](#)).

Разрыв и образование новых связей часто подвержены разным случайным воздействиям. Поэтому в точках качественных скачков траектория развития системы может ветвиться. Точка, в которой происходит разветвление траекторий развития системы, называется *точкой бифуркации* (подробнее см. [Илья Пригожин. От существующего к возникающему](#)).

Катастрофы. Траектории развития системы могут быть столь причудливы, что в окрестностях некой точки сколь угодно малое изменение внешних условий может привести к скачкообразному изменению параметров. Это означает, что происходит катастрофа. Нужно заметить, что катастрофические изменения параметров происходят настолько быстро, что не описываются даже экспонентой. Мгновенность катастрофических изменений не позволяет списать их на действие контуров обратной связи, так как на их раскрутку все-таки нужно какое-то время.

Моделированием подобных скачков занимается специальный раздел математики, именуемый «теория катастроф». Теория катастроф использует достаточно сложный математический аппарат, поэтому детально вдаваться в нее мы не будем. Скажем лишь, что катастрофы возможны в системах, параметры которых зависят друг от друга явно нелинейно (то есть не могут

В связи с описанными траекториями можно разбить системы на три класса:

1. *Очень неустойчивые системы*. Их траектории развития сильно зависят от множества случайных факторов, которые невозможно взять под контроль. Поведение таких систем невозможно предсказать. Их поведением невозможно управлять. Такие системы мы будем называть *хаотическими*.
2. *Неустойчивые системы*. Неконтролируемые случайные факторы не оказывают существенного влияния на их поведение. Цепью определенных воздействий ее развитие можно направить по той или иной траектории. Однако если такую систему предоставить самой себе, в дело вступят случайные факторы и предсказать направление ее развития станет трудно. Такие системы мы будем называть *управляемыми*.

3. *Устойчивые системы.* Все траектории развития таких систем (по крайней мере, в достаточно большой области фазового пространства) ведут к одному аттрактору, поэтому даже значительные воздействия со временем сглаживаются. Для такой системы решаема экспертная задача, ибо ее поведение не зависит от случайных факторов. В то же время решить конструктивную задачу для такой системы, то есть направить развитие системы в заранее заданном направлении практически невозможно.