

Основные системные понятия

Определений термина «система» существует много. В. Н. Садовский [19] приводит сорок известных ему определений. Аналогично обстоит дело с определениями понятий «сложная система», «элемент системы» и т. п. Однако большинство исследователей интуитивно ясно чувствуют системную терминологию. И понятие «система» единодушно относят к тем объектам, которые несводимы к сумме элементов [1]. При этом элементы, объединенные в систему, выступают (и соответственно воспринимаются) как единое целое [17].

Элементы сами по себе, вне системы — другие. «Нога, отделенная от тела, лишь по названию нога». Связь элементов внутри системы значительно сильнее, чем связь этих элементов с элементами других систем. Взаимодействие между собой элементов различных систем всегда опосредовано и контролируется взаимодействием самих систем.

Таким образом, некоторые разночтения в терминах не препятствуют взаимопониманию специалистов по системному анализу. Главное — понимание системных свойств при применении той или иной терминологии. Тем не менее наиболее четкой представляется следующая терминология:

Система — совокупность элементов, объединенных общей функциональной средой и целью функционирования.

Функциональная среда системы — характерная для системы совокупность законов, алгоритмов и параметров, по которым осуществляется взаимодействие (обмен) между элементами системы и функционирование (развитие) системы в целом.

Элемент системы — условно неделимая, самостоятельно функционирующая часть системы.

Компонент системы — множество относительно однородных элементов, объединенных общими функциями при обеспечении выполнения общих целей развития системы.

Структура системы — совокупность связей, по которым обеспечивается энерго-, массо- и информационный обмен между элементами системы, определяющая функционирование системы в целом и способы ее взаимодействия с внешней средой.

Наиболее ярким примером сложной системы является живой организм. Очевидно, что организм не сводим к сумме своих элементов. Еще раз в этой связи напомним вышеприведенный афоризм: «Нога, отделенная от тела, лишь по названию нога». Основная цель функционирования любого организма также очевидна — выживание и обеспечение размножения (также способствующего выживанию, но не индивидуальному, а групповому).

Функциональную среду организма составляет совокупность законов физиологии. Эти законы ограничивают возможную динамику взаимосвязей между элементами организма некоторыми правилами, не позволяющими данным элементам развиваться во вред целому — организму. Нарушение функциональной среды вызывает болезнь организма.

Курс лекций

Элементами системы в рассматриваемом примере являются клетки различных органов и тканей организма.

Компоненты системы — различные органы, в свою очередь состоящие из клеток, основу которых составляют так называемые специализированные клетки, обеспечивающие функционирование данных органов.

Структуру рассматриваемой системы — организма — составляет совокупность связей между органами и тканями. Осуществляются эти связи в процессе функционирования дыхательной, кровеносной, нервной, выделительной и других систем организма.

Подчеркнем, что категория цели — важнейший момент системной методологии. В примере с организмом важность этой категории для его системного рассмотрения проявляется наиболее ярко. Действительно, рассмотрим организм не как систему, имеющую целью выживание, а, например, как источник пищи для другого организма.

Тогда он будет представляться совсем иначе, как совокупность белков, жиров и углеводов разной калорийности и питательности. А функциональная среда будет представляться не совокупностью законов физиологии, а правилами хранения мясных продуктов. При этом, если в исходном случае разница между здоровым и больным организмом весьма существенна, то во втором случае она зачастую вообще не имеет значения.

В данном примере мы рассмотрели имеющее важное в системном анализе значение, свойство множественности системного (модельного) описания объекта в зависимости от целей этого описания.

С точки зрения механики, например, любой объект есть некое физическое тело, имеющее свою геометрическую форму, обладающее определенной массой, поверхность которого окрашена в определенный цвет и т. д.

Лекция 2

Но если это тело есть живой организм, для его системного описания как биологического объекта гораздо более важными представляются другие характеристики.

Совсем другие характеристики выступают на первый план, если этот организм является человеком, и мы рассматриваем его не как биологический, а как социальный объект.

Заметим, что при этом объективно и механические, и биологические характеристики не меняются, просто они для нас менее важны. А коль скоро они не важны, мы и не прогнозируем и не моделируем их динамику, когда рассматриваем того же человека с точки зрения его социальной функции.

Подобных проблем системного описания сложных объектов мы будем касаться в рамках нашего курса еще не раз. А пока перейдем к рассмотрению следующих базовых системных понятий.

Очень часто встречающийся в системном анализе термин — **подсистема**. Подсистема по существу синоним вышеопределенного термина компонент системы. Только данный компонент сам рассматривается как сложная система. Это, в свою очередь, позволяет сумму элементов системы, составляющую какой-либо ее компонент, рассматривать достаточно обще, сосредоточив внимание на свойствах этого компонента, присущих ему как единому целому. Этот подход соответствует присущему методологии системного анализа свойству «экономного» описания системных объектов.

Назовем обобщенной структурой системы некую генерализованную, схематизированную совокупность связей, по которым обеспечивается энерго-, массо- и информационный обмен между подсистемами, определяющую функционирование системы в целом и способы ее взаимодействия с внешней средой.

Морфологией системы назовем зафиксированную в пространстве, наблюдаемую, физически реализованную совокупность звеньев структуры системы.

Непосредственное взаимодействие подсистем вызывает и порождает присущие целому особенности. Именно поэтому элементарные частицы являются компонентами (подсистемами) атома, но не являются частями химической молекулы, хотя и присутствуют в ней. «Специфический характер молекулы как целостной системы представляет собой результат непосредственного взаимодействия атомов... Элемент неделим не вообще, а только в рамках данного качества» [1].

Добавим от себя, что в рамках деления системы на подсистемы целесообразно рассматривать в качестве неделимых частей не элементы, а подсистемы.

Системное рассмотрение мироздания позволяет представить каждую систему как подсистему более высокого уровня. Но тогда ее специфику определяют те ее свойства, которые важны именно с точки зрения функционирования системы более высокого уровня. При этом данные свойства оценивают рассматриваемую подсистему в целом и имеют общий, интегральный по отношению к ней характер. Такие свойства называются системообразующими факторами или интегральными свойствами системы. Если тот или иной системообразующий фактор можно оценить количественно, то такую оценку назовем интегральным показателем состояния системы. Детальное разъяснение сути данного термина будет дано ниже.

Из вышесказанного вытекает, что специфику системы определяют прежде всего ее интегральные характеристики, т. е. характеристики, оценивающие ее свойства как целостного объекта, рассматриваемого как компонент системы более высокого уровня.

А в строении системы существенны в первую очередь связи между подсистемами, т. е. обобщенная структура системы, а не специфика ее подсистем, а тем более ее элементов.

Таким образом, системный подход намечает и целесообразные пределы обобщения, и целесообразные пределы ре-

дукции. Если нас интересует какой-то системный объект, его следует выделить как целостное образование, обращая внимание, во-первых, на его интегральные свойства, важные с точки зрения его специфики как компонента системы следующего уровня. А во-вторых, следует выделить компоненты самого рассматриваемого объекта и изучить обобщенную структуру их взаимодействия, которая определяет наличие указанных интегральных свойств.

Как видно из вышесказанного, подобное «трехзвенное» системное рассмотрение любого сложного объекта наиболее простое и экономное. Покажем, благодаря каким механизмам, вытекающим из достаточно общих, фундаментальных свойств природы, возможно такое обобщение.

Исследователи сложных систем изначально обратили внимание на существование двух принципиально разных видов этих систем. Можно выделить так называемые гомогенные системы, состоящие из достаточно однородных относительно слабо связанных между собой элементов. Гомогенные системы часто называют еще корпускулярными из-за специфики их строения. В таких системах элементы практически являются и компонентами.

Подобных элементов-компонентов относительно много. Целостность таких систем обеспечивается однотипностью реакций элементов системы на те или иные воздействия. Разумеется, элементы при этом еще и активно взаимодействуют друг с другом.

Кроме того, указанная однотипность реакций имеет у каждого элемента некоторые отклонения от некоторого «среднего стандарта». Тем не менее, суммируясь, эти отклонения взаимоуравновешиваются. Механизмом подобного взаимного уравновешивания зачастую являются процессы взаимодействия элементов между собой.

Курс лекций

Классическим примером подобных систем является газ, заключенный в некоторую емкость. Молекулы этого объема газа, сталкиваясь друг с другом и с границей емкости, создают определенное давление при определенной температуре. Рассматриваемый объем газа «ведет себя» при этом как единое целое. Этот классический пример, приведенный А. Пуанкаре.

Системами подобного рода являются также отдельные социальные слои конкретного государства, популяции живых организмов одного вида, начиная от микробных и кончая деревьями в лесу.

Подобные системы имеют свою специфику.

1. Их границы в пространстве, как правило, размыты. Во всяком случае, они определяются в большей степени внешними факторами, нежели внутренними закономерностями развития подобных систем. Например, границы ареала популяции некоторого вида животных зачастую можно провести только условно. А если эта популяция животных, живущих в каком-либо заповеднике, расположенном среди интенсивно освоенных территорий, то ареал ее существования ограничен границами заповедника.
2. Структура гомогенных систем, как правило, аморфная. Потoki массо-энергообмена между элементами-компонентами носят всеобщий, диффузный характер и не закреплены за определенными каналами, локализованными в пространстве. В приводимом нами примере, контакты между особями одной популяции могут происходить повсеместно в пределах ареала ее существования.
3. Прибавление, или изъятие из данной системы нескольких элементов-компонентов не может (за исключением некоторых критических случаев) существенно повлиять на ее свойства. Например, вырубка нескольких деревьев

не приведет к исчезновению леса, так же как и посадка нескольких деревьев не приведет к облесению территории.

4. Реакция подобных систем на внешние воздействия зачастую (хотя и не всегда) не является строго детерминированной. Она зависит от многих факторов и носит существенно вероятностный характер.

В отличие от гомогенных (корпускулярных) систем, гетерогенные системы состоят из существенно различных компонентов. Так, наиболее яркий представитель гетерогенных систем, живой организм, состоит из различных органов, клетки которых носят в основном специализированный характер.

Компонентов в гетерогенных системах, как правило, меньше, чем элементов-компонентов в гомогенных системах. Вместе с тем непосредственное взаимодействие различных компонентов осуществляется зачастую в виде контакта между некоторыми более простыми элементами. Например, компонент организма — кровь — взаимодействует с другими органами и тканями посредством их контакта с кровяными тельцами.

Гетерогенные системы имеют следующие специфические отличия:

1. Их границы в пространстве, как правило, четко очерчены и в значительной степени определяются внутренними закономерностями развития самой системы.
2. Структура гетерогенных систем, как правило, имеет четкую морфологию. Основные потоки массо-энергообмена между компонентами осуществляются по определенным каналам, локализованным в пространстве. Более того, зачастую сами эти каналы являются одними из важнейших компонентов гетерогенных систем.
3. Изъятие из данной системы хотя бы одного компонента ведет к разрушению (гибели) системы или ее кризису

(подробнее системную характеристику понятия кризис мы дадим позже). Прибавление еще одного компонента к системе зачастую невозможно, а если и возможно, то ведет к существенным изменениям ее свойств.

4. Реакция подобных систем на внешние воздействия зачастую (хотя и не всегда) является достаточно строго детерминированной. Именно поэтому данные системы часто называют еще детерминированными, что, однако, не совсем корректно, ибо гетерогенная система не обязательно имеет ярко выраженную детерминированность поведения.

Повторим, что наиболее ярким примером гетерогенной системы является живой многоклеточный организм. Гетерогенными детерминированными системами являются практически все технические системы. Гетерогенными, однако не столь однозначно детерминированными, являются и человеко-машинные системы.

В природе гомогенность или гетерогенность тех или иных систем может быть выражена не всегда четко, и совершенно необязательно одновременное соответствие какой-либо системы сразу всем четырем признакам гомогенности или гетерогенности. Однако всегда можно однозначно определить — какого типа систему представляет тот или иной объект.

Анализ строения различных систем позволяет сделать вывод, что в иерархии систем на различных уровнях чередуются гомогенные и гетерогенные системы. Так, отдельные органы живого организма являются в большей степени гомогенными системами, состоящими в основном из специализированных клеток одного или нескольких видов.

А организм в целом (система более высокого уровня) гетерогенная и состоит из существенно различных компонентов. Кстати, сама клетка также представляет собой гетерогенную

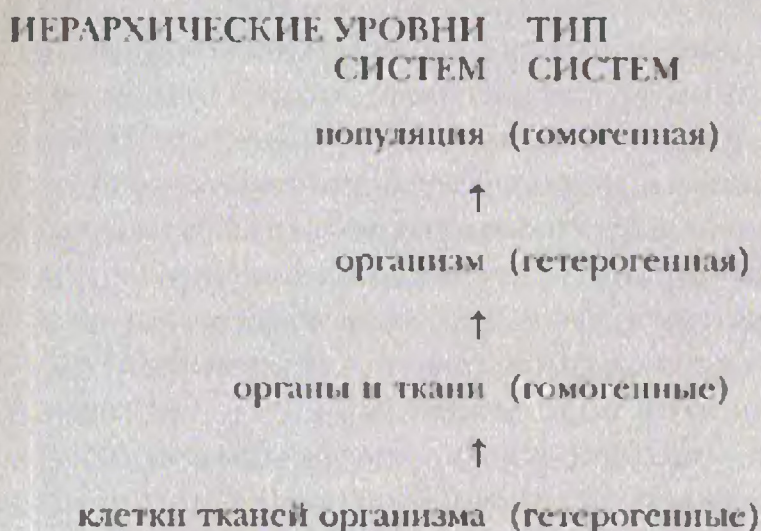


Рис. 2.1. Чередование гетерогенных и гомогенных систем при повышении уровня иерархии систем на примере биологических систем; ↑ — направление повышения уровней иерархии

систему, а вот различные группы организмов одного вида составляют гомогенные системы — популяции (рис. 2.1).

Гомогенные системы, как правило, представляют меньший интерес для изучения системными методами. Это обусловлено тем, что гомогенные системы зачастую можно эффективно изучать классическими методами. Во всяком случае, возможна их редукция к некой небольшой сумме элементов-компонентов, имеющих осредненные, стандартные характеристики.

Скажем больше. Гомогенные системы можно уверенно называть системами только по одному признаку — они ведут себя как целостный объект, если рассматривать их поведение с точки зрения некоторых, важных для функционирования систем более высокого уровня, признаков. Поэтому в центре внимания системологов чаще оказывались гетерогенные системы.

Тем более что с прикладной точки зрения именно изучение гетерогенных, и прежде всего человеко-машинных, систем стало стимулом для развития системного подхода.

Изучая подобные системы можно увидеть, что с точки зрения организации они являются некой взаимодействующей совокупностью отдельных компонентов, но сам механизм взаимодействия компонентов осуществляется через отдельные элементы. Именно поэтому в системном анализе и появились отдельные определения для элементов и компонентов.

Введение понятия подсистема упростило системное описание объектов. Для гомогенной системы компоненты, элементы и подсистемы есть синонимы. Для гетерогенной системы компоненты и подсистемы также синонимы, а элементы есть по сути подсистемы отдельных компонентов, представляющих собой, как правило, гомогенные системы.

В силу некоторой «размытости» гомогенных систем их элементы-подсистемы осуществляют непосредственный «диффузный» контакт с элементами-подсистемами других гомогенных систем.

Исходя из сказанного, очевидно, что изучение динамики сложных гетерогенных систем на уровне взаимодействия их элементов есть некоторое отступление от основных принципов системного подхода. В этом случае «глубина редукции» сложной гетерогенной системы повышается на один уровень. Это, тем не менее, иногда оправдано.

Но, если в чисто научном плане подобный образ действий и оправдан, то в практическом плане он менее конструктивен, ибо, как правило, ведет к значительному усложнению формулировки управленческих проблем. Поэтому применение подхода, когда система делится на подсистемы и изучается только ее обобщенная структура, преобладает у специалистов по системному анализу. Мы в нашем курсе также будем придерживаться подобного подхода.

Лекция 2

Итак, повторим, что системный подход намечает и целесообразные пределы обобщения, и целесообразные пределы редукции. Если нас интересует какой-то системный объект, его следует выделить как целостное образование, обращая внимание, во-первых, на его интегральные свойства, важные с точки зрения его специфики как компонента системы более высокого уровня. А во-вторых, следует выделить компоненты самого рассматриваемого объекта и изучить обобщенную структуру их взаимодействия, которая определяет наличие указанных интегральных свойств.

Подобный подход к рассмотрению организационных и практических проблем показал свою конструктивность. Он позволяет «сужать» задачу, уменьшать объем рассматриваемой информации и добиваться структуризации любой, даже очень сложной, проблемы.

«Явочным порядком» такой подход к управлению всегда существовал. Например, командующий армией никогда не командует взводами, а имеет дело только с командирами дивизий и отдельных частей, а также с непосредственным вышестоящим начальником. Необходимость командиров высокого уровня опускаться на уровень «подчиненных своих подчиненных» есть первый признак кризиса вверенной им армии.

Аналогично, генеральный директор фирмы не занимается проблемами цехов, а директора заводов делами бригад. Это опять же происходит только в кризисные моменты и свидетельствует о несоответствии нижестоящего руководителя своим задачам, когда вышестоящий начальник должен по существу «делать его работу».

Кратко подытожить ряд приведенных примеров можно известным административным принципом Средневековья: «Вассал моего вассала — не мой вассал».

Можно возразить, что столь очевидные принципы управления не требуют особой научной обоснованности. Уточним,

Курс лекций

не требовали ранее, когда эти принципы основывались на эмпирическом опыте и проходили долгую проверку практикой. На современном этапе развития, когда технические и экономические системы постоянно эволюционируют, определение верного уровня принятия решений по управлению их отдельными звеньями требует научного обоснования, опирающегося на системное изучение управляемых объектов.

В качестве примера приведем известный афоризм, который поначалу стал в известном смысле откровением для некоторых управленцев: «Для того чтобы правильно организовать уличное движение, совершенно не обязательно разбираться в двигателе внутреннего сгорания».

Действительно, появившись на улицах городов автомобили с любым типом двигателя, но имеющие габариты и скоростные характеристики, аналогичные нынешним автомобилям, проблемы организации уличного движения в городах будут теми же (при этом, возможно, будет решено много проблем экономических или экологических, но это уже другой разговор).

Итак, системное изучение различных объектов имеет не только научно-техническое, но и организационно-экономическое значение. При этом вышеперечисленные принципы «экономного» описания объекта как системы остаются в силе.

Здесь следует обратить внимание на то, что в настоящее время сама выработка тех или иных управленческих решений, особенно большого масштаба, сама по себе зачастую представляет большую научную проблему. Для решения подобных проблем применяется ЭВМ. Но возможности даже самых лучших и больших ЭВМ не безграничны. Мало того, они всегда будут ограничены. В этом случае системное представление объектов, разделение их на подсистемы, ограничение учитываемых характеристик только интегральными показателями, построение обобщенной структуры объектов

и тому подобные приемы резко снижают размерность математических моделей, применяемых в прикладных целях.

Предварительная системная структуризация объектов и проблем управления — практически единственная возможность конструктивно применить для их решения математические методы.

В качестве примера приведем попытки построения различных моделей функционирования хозяйственного комплекса страны, предпринимаемые в СССР в 70-х — начале 80-х гг. Огромные математические модели, стремящиеся учесть в масштабе страны работу каждого производственного объединения, имеющие размерность в несколько сотен (и даже тысяч) поначалу обещали обеспечить полную прогнозируемость народного хозяйства. Но оказались нереализуемыми на ЭВМ.

Исследователи пошли по пути снижения размерности моделей на порядок. При этом отдельные модели строились для решения отдельных крупных групп задач. Например, для задач межрегионального баланса, задач межотраслевого баланса и т. п. Конечно, при эксплуатации этих моделей гораздо большее время занимали предварительное обобщение данных и интерпретация результатов вычислений. ЭВМ отнюдь не заменила человека. Однако данные модели работали и решали конкретные задачи, в отличие от более ранних «монстров», где моделирование проходило на бессистемной основе, не выдерживая вышеприведенных правил системной структуризации.

Из вышесказанного следует однозначный вывод: «Соблюдение уровня системного представления объекта и системного рассмотрения проблем — важнейший принцип системной методологии».