

3. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ

3.1. Элементы, структура, процессы. Виды систем

Система (греч. *systema* – составленное из частей, соединенное) – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующее определенную целостность, единство¹.

Есть два понятия, близкие понятию система, но не тождественные ему – это *комплекс* и *совокупность* (множество объектов). По отношению к системе это более усеченные, неполные понятия: комплекс включает части, не обязательно обладающие системными свойствами, хотя эти части сами могут быть системами. Совокупность же – это множество, набор элементов, не обязательно находящихся в системных отношениях и связях друг с другом. Отличительное свойство системы можно сформулировать известным еще в античности тезисом: «целое больше суммы его частей».

Подсистема – относительно независимая часть системы, включающая совокупность взаимосвязанных элементов.

Элемент системы – часть системы с однозначно определенными известными свойствами, которую невозможно или не требуется при данном рассмотрении расчленять на составные части; условно неделимая часть системы. Понятие элементов системы является условным и зависит от цели и метода исследования. Подсистема и элемент характеризуют состав системы.

Структура системы – это совокупность связей и отношений между элементами или подсистемами системы.

Функция системы – назначение, которое предопределяется заданным результатом; результат является системообразующим фактором. Функционирование системы есть процесс смены ее состояний.

Можно выделить следующие свойства систем:

- *синергетичность* – однонаправленность действий компонентов усиливает эффективность функционирования системы;
- *эмерджентность* – цели (функции) компонентов системы не всегда совпадают с целями (функциями) системы.

Системы можно классифицировать по различным основаниям.

1. По отношению системы к окружающей среде:
 - *открытые* (есть обмен с окружающей средой ресурсами);
 - *закрытые* (нет обмена ресурсами с окружающей средой).
2. По происхождению системы (элементов, связей, подсистем):
 - *искусственные* (орудия, механизмы и т.д.);

¹ Большая советская энциклопедия // Материалы Интернет-сайта: <http://slovari.yandex.ru>

- *естественные* (живые, неживые, экологические, социальные и т.д.);
 - *смешанные* (экономические, биотехнические, организационные и т.д.).
1. По описанию переменных системы:
 - с качественными переменными (неизмеримыми);
 - с количественными переменными (имеющие дискретно или непрерывно описываемые количественным образом переменные);
 - смешанного (количественно-качественное) описания.
 2. По способу управления системой:
 - с *внешним управлением* (без обратной связи, регулируемые, управляемые структурно, информационно или функционально);
 - с *внутренним управлением* (саморегулируемые – программно управляемые, регулируемые автоматически, адаптируемые – приспособляемые с помощью управляемых изменений состояний и самоорганизующиеся – изменяющие во времени и в пространстве свою структуру наиболее оптимально, упорядочивающие свою структуру под воздействием внутренних и внешних факторов);
 - с *комбинированным управлением* (автоматические, полуавтоматические, автоматизированные, организационные)².

Формально (математически) системы могут быть описаны разными способами. Так, каждый элемент системы (переменная) может быть задан множеством конкретных значений, которые он может принимать. Состояние всей системы описывается вектором, каждая компонента которого соответствует конкретному значению определенной переменной. Система в целом может быть описана, соответственно, множеством ее состояний. Например, если $x = (1, 2, \dots, m)$ – вектор переменных, каждая из которых может принять n значений ($y = 1, 2, \dots, n$), то матрица $S = [s_{xy}]$ размерностью $m \times n$ представляет собой описание системы.

Динамическая (изменяющаяся во времени) система может быть описана с помощью понятий, связанных с ее функционированием в среде. При этом система определяется как совокупность трех множеств – входов X , выходов Y и отношений между ними R . Тогда систему можно описать в виде соотношения:

$$XRY \text{ или } Y = R(X).$$

Графическое описание системы чаще всего состоит в построении графа, вершины которого соответствуют элементам системы, а дуги – их связям. Связи в графе могут быть организованы различным образом.

² См.: Казиев, В. М. Введение в системный анализ и моделирование. Глава 2. Система и системность: основные понятия / В. М. Казиев // Электронный Интернет-учебник: [http://cylib.iit.nau.edu.ua/Books/Computer Science /SystemAnalyze/www.kbsu.ru/content.htm](http://cylib.iit.nau.edu.ua/Books/Computer%20Science/SystemAnalyze/www.kbsu.ru/content.htm)

Примером такого представления является социальный граф – система связей между индивидами. Таким графом можно изобразить, например, результаты социометрии (рис. 3.1), какую либо из социальных Интернет-сетей (рис. 3.2), «генеалогическое дерево» (рис. 3.3).

Например, в социометрическом графе наличие связи указывает выбор данного индивида. Связи можно присвоить валентность (в зависимости от отрицательного или положительного выбора).

В социальной сети *МойКруг.ru* отношения между людьми отображаются при помощи кругов. Социальная сеть демонстрирует, кому участник сети доверил свою контактную информацию, можно ли и через кого связаться с участником социальной сети, с какими кругами ассоциирует себя тот или иной участник сети.

Первый круг состоит из людей, которым вы доверили свою контактную информацию. Во второй круг входят люди, которым лица из первого круга доверили свою контактную информацию. Третий круг состоит из людей, которым лица из второго круга доверили свою контактную информацию.

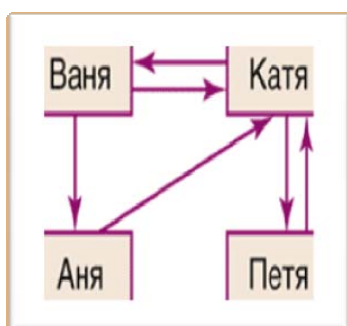


Рис. 3.1. Социометрический граф



Рис. 3.2 Граф связей в социальной сети «Мой Круг»

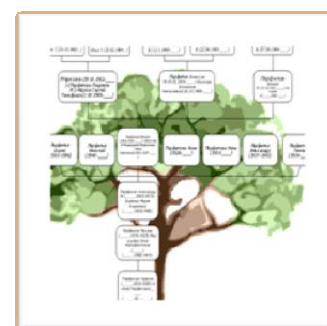


Рис. 3.3. Граф – генеалогическое дерево

Часто систему описывают в виде «черного ящика» – объекта, относительно которого известны входные и выходные сигналы, но сами процессы, в нем происходящие, не определены, либо не важны в рамках данной конкретной задачи. Такие системы обычно имеют некий «вход» для ввода информации и «выход» для отображения результатов работы рис. 3.4.



Рис 3.4

Термин «черный ящик» впервые упоминается У.Р.Эшби в книге «Введение в кибернетику» в 1959г. и заимствован из авиационной техники, где он появился в 1940гг и означал некоторые элементы самолета.

Как уже отмечалось, для того, чтобы считаться **кибернетической**, система должна быть достаточно сложной, динамической, способной воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также иметь цель своего функционирования и устройства, с помощью которых эта цель может быть достигнута.

Сложность кибернетических систем определяется двумя факторами: *размерностью* – т. е. общим числом параметров, описывающих состояния всех элементов системы и *сложностью структуры*, характеризующейся общим числом связей между ее элементами и их разнообразием.

Организация связей между элементами кибернетической системы – структура – может быть *постоянной* и *переменной*. Изменения структуры задаются функциями от состояний всех составляющих систему элементов и от входных сигналов всей системы в целом.

Система называется детерминированной, если все эти функции являются однозначно определенными. Если же хотя бы часть из них представляют собой случайные функции, то система носит название вероятностной (стохастической).

Полное описание кибернетической системы получается, если добавляется описание ее *начального состояния*, т. е. начальной структуры системы и начальных состояний всех ее элементов.

3.2. Система как преобразователь информации.

Кибернетика рассматривает взаимодействия системы со средой и систем между собой исключительно как информационные. Кибернетический подход предполагает рассмотрение любых систем как *преобразователей информации*.

Простейшие преобразователи информации могут осуществлять преобразование лишь одного определенного вида, но, как правило, сложные кибернетические системы обладают способностью накапливать информацию в той или иной форме и в зависимости от этого менять выполняемые ими действия. По аналогии с человеческим мозгом подобное свойство кибернетических систем называют памятью. «Запоминание» информации в кибернетических системах может производиться двумя основными способами – либо за счет изменения состояний элементов системы, либо за счет изменения структуры системы (возможен и смешанный вариант).

Информация имеет непосредственное отношение к процессам управления, обеспечивающим такие качества систем, как устойчивость и выживаемость. Эти процессы тесно связаны между собой: для формирования оптимального поведения в среде система должна постоянно приспосабливаться к непрерывно изменяющимся внешним условиям, исследуя, изучая и познавая эту среду путем сбора и обработки внешней и внутренней информации.

Рассматривая взаимосвязь системы и информации, можно выделить два типа последней:

- *связанная* или структурная информация. Характеризует организованность, упорядоченность самой системы.
- *свободная*, относительная информация, информация-сообщение. Объем и само восприятие такой информации зависит от возможностей системы ее использовать, т.е. от состава и объема имеющейся в системе связанной информации.

В системе постоянно происходит процесс превращения свободной информации в связанную. Связанная информация может служить мерой *организованности* или упорядоченности системы. Степень организации, управления и регулирования в системе определяется наличием информации, обеспечивающей ограничение свойственных системе тенденций к росту разнообразия.

Разнообразие (количество возможностей, степеней свободы системы) увеличивает энтропию (от греч. *en, tropē* – поворот, превращение), неопределенность в системе, а с увеличением степени организации разнообразие уменьшается³ (рис. 3.4). Как отмечал Н. Винер, «в то время как

³ Существует также термодинамическое понятие энтропии (Р. Клаузиус, Л. Больцман), определяемое как количество связанной энергии, находящейся в системе, которую нельзя превратить в работу, и мера однородности, хаотичности молекулярных систем.

энтропия является мерой дезорганизованности, информация, переносимая некоторым потоком посланий, определяет меру организованности... При этом, чем больше вероятность послания, тем меньше информации оно содержит»⁴.

К. Шеннон ввел специальную меру, связывающую энтропию и информацию в системе. Эта формула количественно характеризует достоверность передаваемого сигнала и используется для расчета количества информации:

$$H = -K \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i,$$

где H – энтропия, K – константа (зависит от выбора единиц измерения), n – число состояний системы; P_i – вероятность (или относительная частота) перехода системы в i -ое состояние, $\sum_{i=1}^n P_i = 1$.

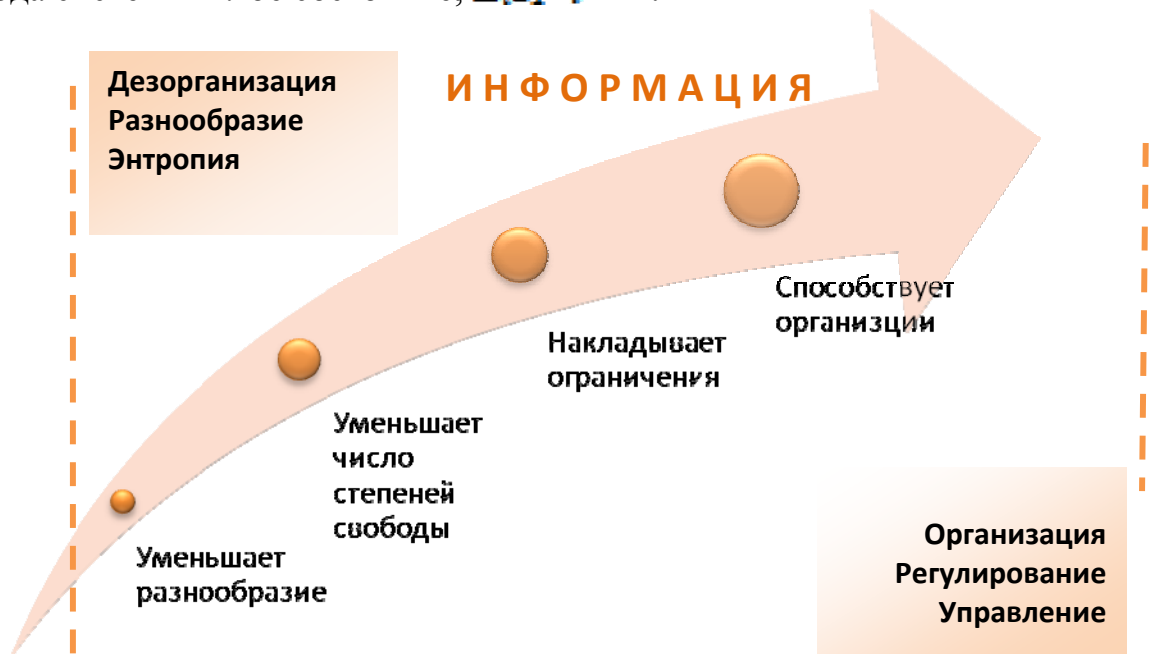


Рис. 3.4. Информация противостоит тенденциям системы к дезорганизации и возрастанию энтропии

В соответствии с классическими физическими представлениями в любой замкнутой системе происходит выравнивание температур, система стремится к термодинамическому равновесию, соответствующему максимуму энтропии. Принцип возрастания термодинамической энтропии соответствует движению всех процессов в направлении хаоса, беспорядка и дезорганизации. Один из основателей классической термодинамики Р. Клаузиус в своей попытке распространить этот закон на Вселенную пришел к выводу: энтропия

⁴ Винер, Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – М.: Наука, 1983. – С. 172.

Вселенной всегда возрастает. Если это утверждение истинно, то во Вселенной неизбежно наступит тепловая смерть.

Многие ученые не соглашались с выводами Клаузуиса. В. И. Вернадский утверждал, что «жизнь не укладывается в рамки энтропии». В природе наряду с энтропийными происходят и антиэнтропийные процессы: возникают новые системы, формы и взаимодействие усложняются. Согласно эволюционной теории Дарвина, живая природа развивается в направлении усовершенствования и усложнения видов живых организмов. В обществе также наблюдается процесс развития и созидания нового. Каким же образом из всеобщей тенденции к энтропии, дезорганизации может появиться «порядок»?

Ответом на этот вопрос стало понимание того, что в сложных живых системах происходит не только процесс разрушения, но и обратный процесс, названный самоорганизацией. Самоорганизация систем связана с неэнтропийным процессом управления, который устраняет неопределенность и повышает информативность системы.

В самоорганизующейся системе появляющиеся изменения не устраняются, а накапливаются и усиливаются, что и приводит, в конце концов, к возникновению нового порядка и структуры. Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение и усиление порядка через флуктуации – случайные отклонения системы от устойчивого равновесия. Первоначально флуктуации подавляются и ликвидируются системой. Но в открытых системах, благодаря усилению неравновесности, эти отклонения со временем возрастают и, в конце концов, приводят к «расшатыванию» прежнего порядка и возникновению нового.

В сильно неравновесных условиях системы начинают воспринимать те факторы, которые они бы не восприняли в более равновесном состоянии, кроме того, в условиях далеких от равновесия, в системах действуют бифуркационные механизмы. Если в равновесном (или слабо неравновесном) состоянии применительно к исследуемой системе может быть зафиксировано лишь одно стационарное состояние, то при удалении от равновесия (в сильно неравновесном состоянии) при определенном значении изменяемого параметра, система достигает так называемого порога устойчивости, за которым для системы открывается несколько (более, нежели одна) возможных ветвей развития. Математически это означает, что зависимость решения соответствующего уравнения от избранного параметра становится неоднозначной. Такое критическое значение градиента называется *точкой бифуркации*.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под информацией в кибернетике?
2. Что представляет собой система и каковы ее признаки?
3. Что является элементом системы и подсистемой? Приведите примеры различного деления системы на элементы и подсистемы.
4. Что определяет сложность системы?
5. Что характеризуется термином «энтропия»?
6. Какова связь между энтропией и информацией?