

2. Лекция: Описания, базовые структуры и этапы анализа систем

Рассматриваются основные понятия системного анализа, признаки системы, типы топологии систем, различные формы описания систем, этапы системного анализа.

Цель лекции: введение основного понятийного аппарата системного анализа, теории систем.

Дадим вначале интуитивное определение системы и подсистемы.

Система - объект или процесс, в котором элементы-участники связаны некоторыми связями и отношениями.

Подсистема - часть системы с некоторыми связями и отношениями.

Любая система состоит из подсистем, подсистема любой системы может быть сама рассмотрена как система. Границы рассматриваемой системы определяются доступными ресурсами и окружением.

Пример. Наука - система, обеспечивающая получение, проверку, фиксацию (хранение), актуализацию знаний общества. Наука имеет подсистемы: математика, информатика, физика, экономика и др. Любое знание существует лишь в форме систем (систематизированное знание). Теория - наиболее развитая система их организации, позволяющая не только описывать, но и объяснять, прогнозировать события, процессы.

Определим основные понятия системного анализа, необходимые далее.

Состояние системы - фиксация совокупности доступных системе ресурсов (материальных, энергетических, информационных, пространственных, временных, людских, организационных), определяющих ее отношение к ожидаемому результату или его образу. Это "фотография" механизма преобразования входных данных системы в выходные данные.

Цель - образ несуществующего, но желаемого, с точки зрения *задачи* или рассматриваемой проблемы, состояния среды, т.е. такого состояния, которое позволяет решать проблему при данных ресурсах. Это описание, представление некоторого наиболее предпочтительного (с точки зрения поставленной цели и доступных ресурсов) *состояния системы*.

Пример. Основные социально-экономические цели общества: экономический рост; полная трудовая занятость населения; экономическая эффективность производства; стабильный уровень цен; экономическая свобода производителей и потребителей; справедливое распределение ресурсов и благ; социально-экономическая обеспеченность и защищенность; торговый баланс на рынке; справедливая налоговая политика.

Задача - некоторое множество исходных посылок (входных данных к *задаче*), описание цели, определенной над множеством этих данных, и, может быть, описание возможных стратегий достижения этой цели или возможных промежуточных состояний исследуемого объекта.

Решить *задачу* означает определить четко ресурсы и пути достижения указанной цели при исходных посылках. Решение *задачи* - описание, представление состояния *задачи*, при котором достигается указанная *цель*; решением *задачи* называют и сам процесс нахождения этого состояния.

Понятие проблемы в системном анализе - шире, чем понятие *задачи*, и состоит обычно из ряда взаимосвязанных *задач*.

Проблема - описание, хотя бы содержательное, ситуации, в которой определены: *цель*, достигаемые (достижимые, желательные) результаты и, возможно, ресурсы и стратегия достижения цели (решения). Проблема проявляется поведением системы.

Описание (спецификация) *системы* - это идентификация ее определяющих элементов и подсистем, их взаимосвязей, целей, функций и ресурсов, т.е. описание допустимых *состояний системы*.

Если входные посылки, *цель*, условие *задачи*, решение или, возможно, даже само понятие решения плохо (частично) описываемы, формализуемы, то эти *задачи* называются **плохо формализуемыми**. Поэтому при решении таких *задач* приходится рассматривать целый комплекс формализованных *задач*, с помощью которых можно исследовать эту *плохо формализованную задачу*. Сложность их исследования заключается в необходимости учета различных, а часто и противоречивых критериев определения, оценки решения *задачи*.

Пример. *Плохо формализуемыми* будут, например, *задачи* восстановления "размытых" текстов, изображений, составления учебного расписания в любом большом вузе, составления "формулы измерения интеллекта", описания функционирования мозга, социума, перевода текстов с одного языка на другой с помощью ЭВМ и др.

Определим, пока не формализованно, понятие *структуры* системы.

Структура - все то, что вносит порядок во множество объектов, т.е. совокупность связей и отношений между частями целого, необходимых для достижения цели.

Пример. Примеры *структур*: извилины мозга, факультет, государственное устройство, кристаллическая решетка вещества, микросхема. Кристаллическая решетка алмаза - *структура* неживой природы; пчелиные соты и полосы зебры - *структуры* живой природы; озеро - *структура* экологической природы; партия (общественная, политическая) - *структура* социальной природы, и т.д.

Базовые топологии *структур* (систем) приведены на рис. 2.1-2.4.



Рис. 2.1. Структура линейного типа

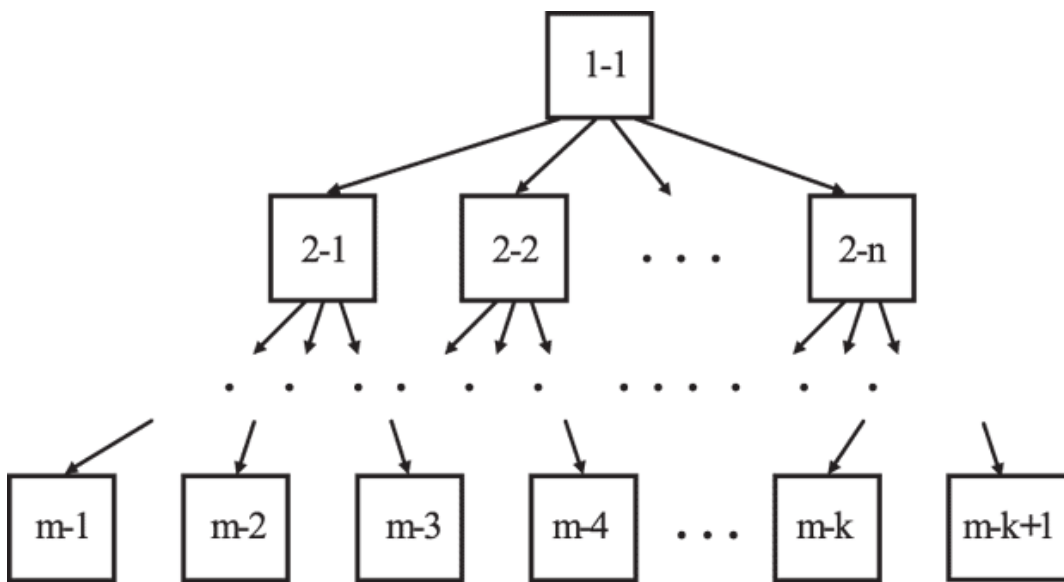


Рис. 2.2. Структура иерархического типа (первая цифра - номер уровня)

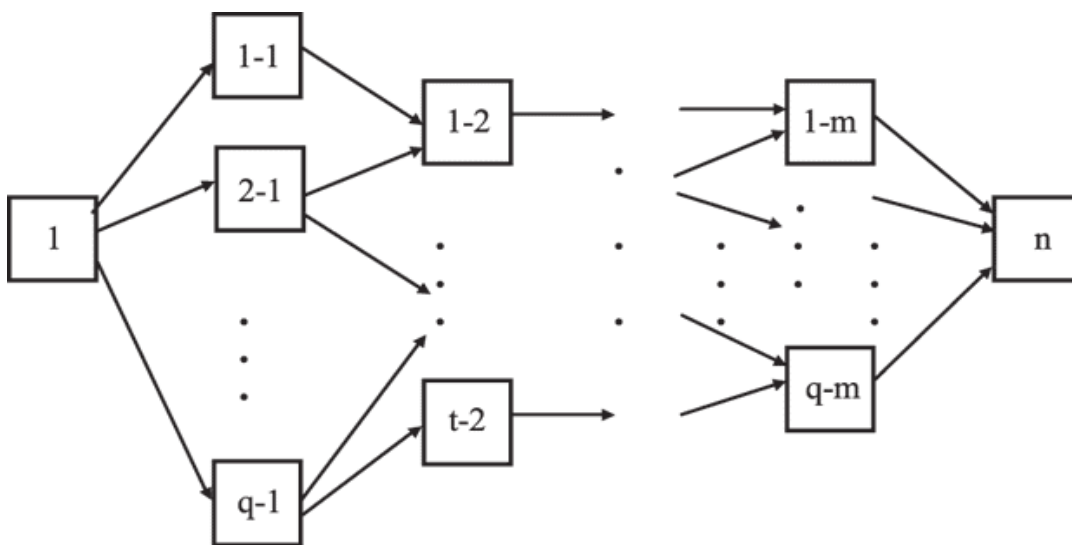


Рис. 2.3. Структура сетевого типа (вторая цифра - номер в пути)

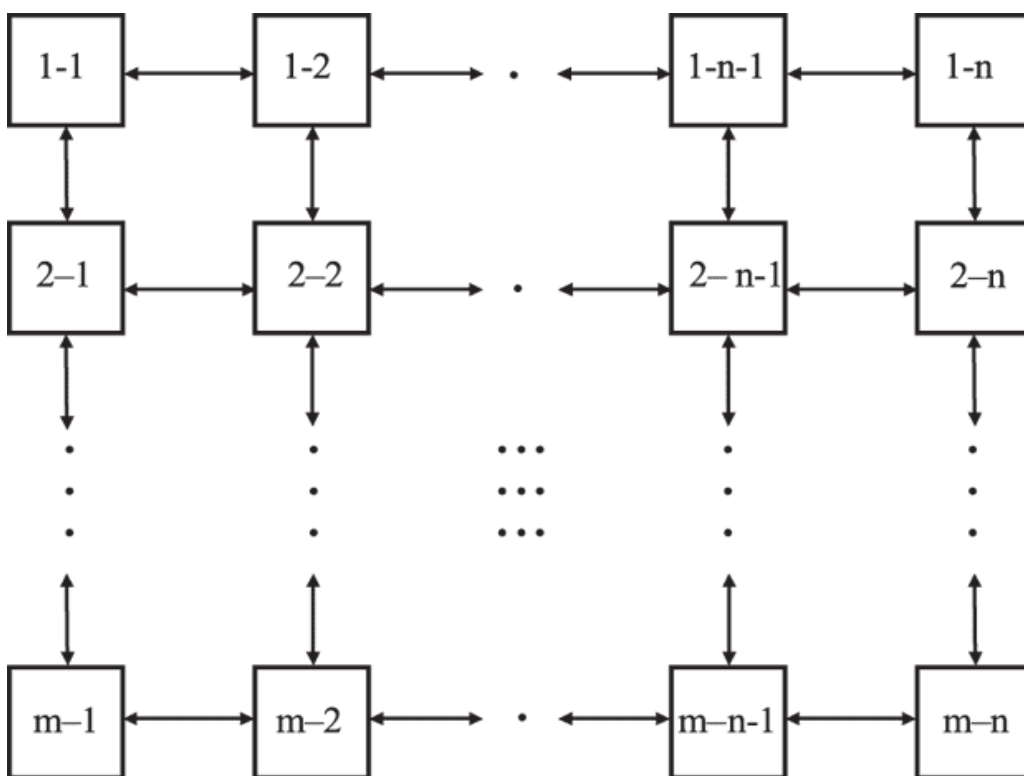


Рис. 2.4. Структура матричного типа

Пример. Примером линейной *структуры* является *структура* станций метро на одной (не кольцевой) линии в одном направлении. Примером иерархической *структуры* может служить *структура* управления вузом: "Ректор - Проректор - Декан - Заведующий кафедрой, подразделением - Преподаватель кафедры, сотрудник подразделения". Пример сетевой *структуры* - *структура* организации работ при строительстве дома: некоторые работы, например, монтаж стен, благоустройство территории и др. можно выполнять параллельно. Пример матричной *структуры* - *структура* работников отдела НИИ, выполняющих работы по одной и той же теме.

Кроме указанных основных типов *структур*, используются и другие, образующиеся с помощью их корректных комбинаций - соединений и вложений.

Пример. Из комбинаций "плоскостных временных" матричных *структур* можно получить матричную "пространственную (время-возрастную)" *структуру*. Комбинация сетевых *структур* может вновь дать сетевую *структуру*. Комбинация иерархической и линейной *структур* может привести как к иерархической ("навешивая" древовидную *структуру* на древовидную), так и к неопределенной ("навешивая" древовидную *структуру* на линейную). Смешанную *структуру* могут иметь системы открытого акционерного типа, корпорации на рынке с дистрибьютерской сетью и другие.

Из одинаковых элементов можно получать *структуры* различного типа.

Пример. Макромолекулы различных силикатов получают из одних и тех же элементов (Si, O). Это пример связей вещества и *структуры*.

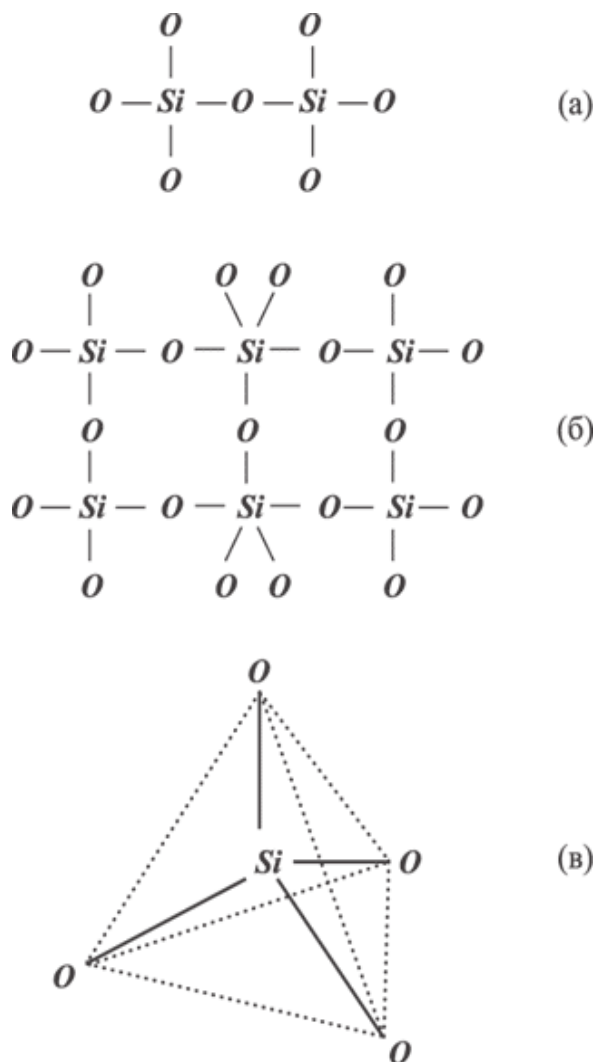


Рис. 2.5. Структуры макромолекул из кремния и кислорода (а, б, в)

Пример. Из одних и тех же составляющих рынка (ресурсы, товары, потребители, продавцы) можно образовывать рыночные *структуры* различного типа: ОАО, ООО, ЗАО и др. При этом *структура* объединения может определять свойства, характеристики системы.

В современных компьютерных архитектурах, компьютерных системах и сетях важно правильно выбрать эффективную *структуру* и топологию.

Пример. Последовательная *структура* используется при организации конвейерных вычислений на суперкомпьютерах (конвейерных вычислительных *структурах*). Сетевая *структура* (в частности, типа "бабочка") используется для организации вычислений специализированных *структур*, в частности, для быстрого преобразования Фурье, которое используется для обработки спутниковой информации и во многих других отраслях. Древовидные сети подвержены влиянию переменных задержек, когда данные из всех узлов одного поддерева должны быть переданы на другое поддерево. Двумерные решетки (матрицы) часто применяются для обработки изображений. Матрично-матричная *структура* - гиперкуб используется для связи каждого из 2^n узлов с каждым, который отличен в одном двоичном разряде, и организации их независимой работы по выполнению отдельных частей большой программы (*задачи*); в частности, компьютер такой архитектуры эффективно играл с Г.Каспаровым в шахматы.

Структура является **связной**, если возможен обмен ресурсами между любыми двумя подсистемами системы (предполагается, что если есть обмен *i*-й подсистемы с *j*-й подсистемой, то есть и обмен *j*-й подсистемы с *i*-й).

Если *структура* или элементы системы плохо (частично) описываемы или определяемы, то такое множество объектов называется **плохо** или слабо **структурируемым** (структурированным).

Таково большинство социально-экономических систем, обладающих рядом специфических черт плохо структурируемых систем, а именно:

1. мультиаспектностью и взаимосвязанностью происходящих в них процессов (экономических, социальных и т.п.), невозможностью их структурирования, так как все происходящие в них явления должны рассматриваться в совокупности;
2. отсутствием достаточной информации (как правило, количественной) о динамике процессов и применимостью лишь качественного анализа;
3. изменчивостью и многовариантностью динамики процессов и т.д.

Пример. Плохо структурируемы будут проблемы описания многих исторических эпох, проблем микромира, общественных и экономических явлений, например, динамики курса валют на рынке, поведения толпы и др.

Плохо формализуемые и плохо структурируемые проблемы (системы) наиболее часто возникают на стыке различных наук, при исследовании синергетических процессов и систем.

"Система" в переводе с греческого означает "целое, составленное из частей". Это одна из абстракций системного анализа, которую можно конкретизировать, выразить в конкретных формах.

Можно теперь дать и следующее, более полное определение системы.

Система - это средство достижения цели или все то, что необходимо для достижения цели (элементы, отношения, *структура*, работа, ресурсы) в некотором заданном множестве объектов (операционной среде).

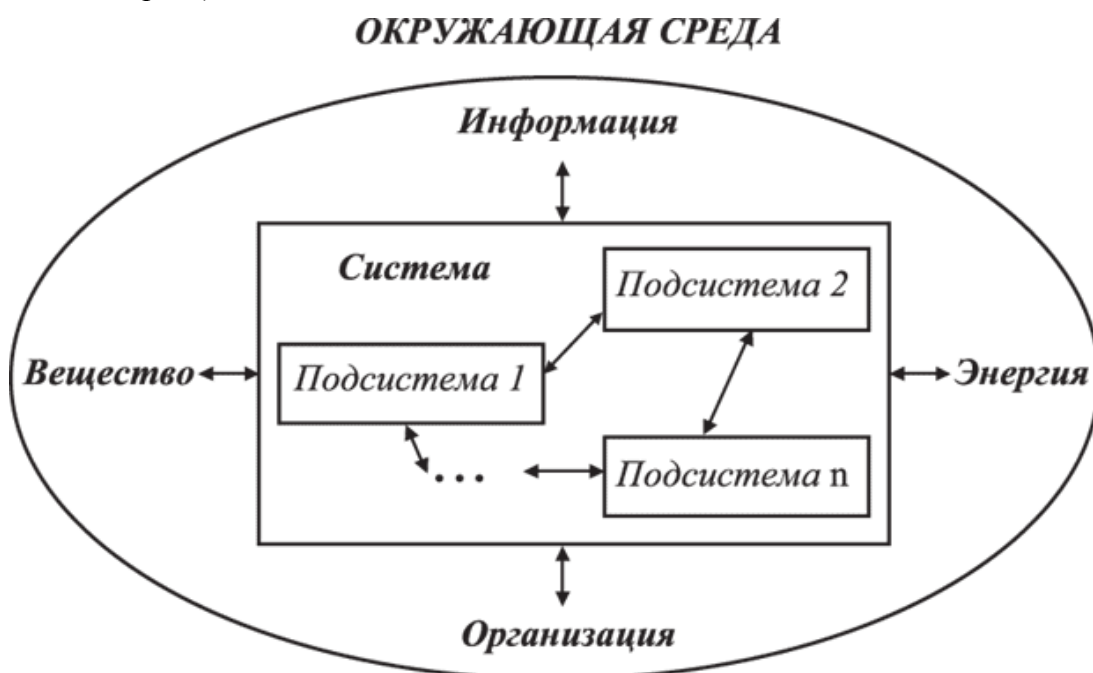


Рис. 2.6. Структура системы

Для *описания системы* важно знать, какие она имеет *структуру* (строение), функции (работу) и связи (ресурсы) с окружением.

Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о *структуре* системы.

Любая система имеет внутренние состояния, внутренний механизм преобразования входных данных в выходные (*внутреннее описание*), а также имеет внешние проявления (*внешнее описание*).

Внутреннее описание дает информацию о поведении системы, о соответствии (несоответствии) внутренней *структуры* системы целям, подсистемам (элементам) и ресурсам в системе, **внешнее описание** - о взаимоотношениях с другими системами, с целями и ресурсами других систем.

Внешнее описание системы определяется ее внутренним описанием.

Пример. Банк есть система. Внешняя среда банка - система инвестиций, финансирования, трудовых ресурсов, нормативов и т.д. Входные воздействия - характеристики (параметры) этой системы. Внутренние состояния системы - характеристики финансового состояния. Выходные воздействия - потоки кредитов, услуг, вложений и т.д. Функции системы - банковские операции, например, кредитование. Функции системы также зависят от характера взаимодействий системы и внешней среды. Множество выполняемых банком (системой) функций зависят от внешних и внутренних функций, которые могут быть описаны (представлены) некоторыми числовыми и/или нечисловыми, например, качественными, характеристиками или характеристиками смешанного, качественно-количественного характера.

Морфологическое (структурное или топологическое) **описание** системы - это описание строения или структуры системы или описание совокупности A элементов этой системы и необходимого для достижения цели набора отношений R между этими элементами системы.

Функциональное описание системы - это описание законов функционирования, эволюции системы, алгоритмов ее поведения, "работы".

Информационное (информационно-логическое или инфологическое) **описание** системы - это описание информационных связей как системы с окружающей средой, так и подсистем системы.

Раньше информационное описание системы называли кибернетическим.

Пример. Морфологическое описание экосистемы может включать структуру обитающих в ней хищников и жертв, их трофическую структуру (структуру питания), их свойства, связи. Трофическую структуру типа "хищники и жертвы" образуют две непересекающиеся совокупности X и Y со свойствами $S(X)$ и $S(Y)$. Возьмем в качестве языка морфологического описания русский язык с элементами алгебры. Тогда можно предложить следующее упрощенное модельное морфологическое описание этой системы:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle$$

$A = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, баран, газель, пшеница, кабан, клевер, полевая мышь (полевка), змея, желудь, карась}\}$,

$$X = \{\text{человек, тигр, коршун, щука, кабан, змея, баран}\}$$
,

$$Y = \{\text{газель, пшеница, клевер, полевка, желудь, карась}\}$$
,

$S(X) = \{\text{пресмыкающееся, двуногое, четырехное, плавающее, летающее}\},$

$S(Y) = \{\text{живое существо, зерно, трава, орех}\},$

$V = \{\text{обитатель суши, обитатель воды, растительность}\},$

$R = \{\text{хищник, жертва}\}.$

Трофическую структуру ("x поедает y") такой экосистемы можно описать следующей таблицей:

| Трофическая структура экосистемы | | | | | | | |
|----------------------------------|---------|------|--------|------|------|-------|-------|
| Y \ X | Человек | Тигр | Коршун | Щука | Змея | Кабан | Баран |
| Газель | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Пшеница | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Клевер | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Полевка | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Желудь | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Карась | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Информационное описание системы с помощью графа представлено на рис. 2.7

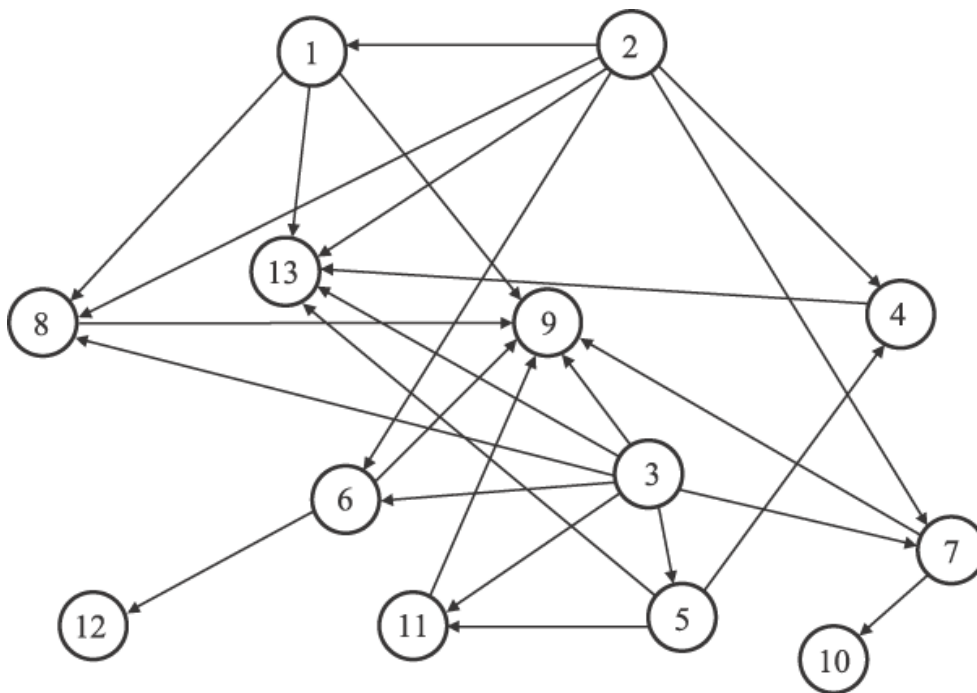


Рис. 2.7. Граф информационного описания: 1 - человек, 2 - тигр, 3 - коршун, 4 - щука, 5 - змея, 6 - кабан, 7 - баран, 8 - газель, 9 - пшеница, 10 - клевер, 11 - полевка, 12 - желудь, 13 - карась

Если использовать результаты популяционной динамики, то можно, используя приведенное морфологическое описание системы, записать адекватное функциональное описание системы. В частности, динамику взаимоотношений в данной системе можно записать в виде уравнений Лотка-Вольтерра:

$$x'_i(t) = x_i(t) \left(a_i - \sum_{j=1}^7 b_{ij} x_j(t) \right), \quad x_i(0) = x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

где $x_i(t)$ - численность (плотность) i -й популяции, b_{ij} - коэффициент поедания i -го вида жертв j -ым видом хищников (прожорливости), a_i - коэффициент рождаемости i -го вида.

Пример. Рассмотрим систему "Информационный центр". Входная, выходная и внутрисистемная информация представляется документами, графическими, аудио- и видеофайлами, программами и т.д. Системные функции: предоставление машинного времени, обработка данных, поиск информации, создание и обработка архивов и баз данных. Системные цели: внедрение новых информационных технологий, внедрение новых методов обучения персонала и пользователей, повышение эффективности поиска, получения, обработки и хранения информации. *Описание системы*: $x(t+1) = x(t) - a(t)x(t) + b(t)x(t)$, где $x(t)$ - эффективность методов работы с информацией в момент времени t ; $a(t)$ - коэффициент компьютерной неграмотности пользователей; $b(t)$ - коэффициент, показывающий степень внедрения новых аппаратно-программных средств.

Пример. Система "Корпоративная сеть", $S = \langle A, B, R, V, Q \rangle$, $A = \{\text{Терминал, Файловый Сервер, Почтовый Сервер, Концентратор, Маршрутизатор, Сетевой Принтер}\}$, $B = \{\text{Рабочая станция, Серверная станция, Устройства передачи пакетов из одной подсети в другую}\}$, $R = \{\text{Клиент, Сервер}\}$.

С точки зрения *морфологического описания*, система может быть:

1. **гетерогенной системой** - содержащей элементы разного типа, происхождения (подсистемы, не детализируемые на элементы с точки зрения выбранного подхода *морфологического описания*);
2. **гомогенной системой** - т.е. содержать элементы только одного типа, происхождения;
3. смешанной системой - с гетерогенными и гомогенными подсистемами.

Морфологическое описание системы зависит от учитываемых связей, их глубины (связи между главными подсистемами, между второстепенными подсистемами, между элементами), *структуры* (линейная, иерархическая, сетевая, матричная, смешанная), типа (прямая связь, обратная связь), характера (позитивная, негативная).

Пример. *Морфологическое описание* автомата для производства некоторого изделия может включать геометрическое определение изделия, программу (задание последовательности действий по обработке заготовки), изложение операционной обстановки (маршрут обработки, ограничения действий и др.). Описание зависит от типа, глубины связей, *структуры* изделия и др.

Основные *признаки системы*:

1. целостность, *связность* или относительная независимость от среды и систем (наиболее существенная количественная характеристика системы). С исчезновением *связности* исчезает и система, хотя элементы системы и даже некоторые отношения между ними могут быть сохранены;

2. наличие подсистем и связей между ними или наличие *структуры* системы (наиболее существенная качественная характеристика системы). С исчезновением подсистем или связей между ними может исчезнуть и сама система;
3. возможность обособления или абстрагирования от окружающей среды, т.е. относительная обособленность от тех факторов среды, которые в достаточной мере не влияют на достижение цели;
4. связи с окружающей средой по обмену ресурсами;
5. подчиненность всей организации системы некоторой цели (как это, впрочем, следует из определения системы);
6. эмерджентность или несводимость свойств системы к свойствам элементов.

Целое всегда есть система, а целостность всегда присуща системе, проявляясь в системе в виде симметрии, повторяемости (цикличности), адаптируемости и саморегуляции, наличию и сохранению инвариантов.

"В организованной системе каждая часть или сторона дополняет собой другие и в этом смысле нужна для них как орган целого, имеющий особое значение" (Богданов А.А.).

При системном анализе объектов, процессов, явлений необходимо пройти (в указанном порядке) следующие этапы системного анализа:

1. Обнаружение проблемы (задачи).
2. Оценка актуальности проблемы.
3. Формулировка целей, их приоритетов и проблем исследования.
4. Определение и уточнение ресурсов исследования.
5. Выделение системы (из окружающей среды) с помощью ресурсов.
6. Описание подсистем (вскрытие их структуры), их целостности (связей), элементов (вскрытие структуры системы), анализ взаимосвязей подсистем.
7. Построение (описание, формализация) структуры системы.
8. Установление (описание, формализация) функций системы и ее подсистем.
9. Согласование целей системы с целями подсистем.
10. Анализ (испытание) целостности системы.
11. Анализ и оценка эмерджентности системы.
12. Испытание, верификация системы (системной модели), ее функционирования.
13. Анализ обратных связей в результате испытаний системы.
14. Уточнение, корректировка результатов предыдущих пунктов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое цель, структура, система, подсистема, задача, решение задачи, проблема?
2. Каковы основные признаки и топологии систем? Каковы их основные типы описаний?
3. Каковы этапы системного анализа? Каковы основные задачи этих этапов?

Задачи и упражнения

1. Каковы подсистемы системы "ВУЗ"? Какие связи между ними существуют? Описать их внешнюю и внутреннюю среду, структуру. Классифицировать (с пояснениями) подсистемы. Описать вход, выход, цель, связи указанной системы и ее подсистем. Нарисовать топологию системы.
2. Привести пример некоторой системы, указать ее связи с окружающей средой, входные и выходные параметры, возможные состояния системы, подсистемы. Пояснить на этом примере (т.е. на примере одной из задач), возникающих в данной системе конкретный смысл понятий "решить задачу" и "решение задачи". Поставить одну проблему для этой системы.
3. Привести морфологическое, информационное и функциональное описания одной-двух систем. Являются ли эти системы плохо структурируемыми, плохо формализуемыми системами? Как можно улучшить их структурированность и формализуемость?

Темы для научных исследований и рефератов

1. Плохо структурируемые и формализуемые системы.
2. Свойства систем, их актуальность и необходимость. Примеры.
3. Этапы системного анализа, их основные цели, задачи.