

# Системный анализ

## **Тема 3. Модели и закономерности систем**

Лектор: Захарова Александра Александровна

д.т.н., доцент

2020

# Содержание

- 1. Понятие «модель системы»**
- 2. Базовые модели системы**
- 3. Модели многоуровневых иерархических структур**
- 4. Закономерности систем**

# Понятие модели

Человек формирует представление об объектах и явлениях окружающего мира в виде некоторых абстрактных структур в его сознании, которые он может воплощать и в виде материальных объектов, например, в виде макетов, чертежей, карт и т. д.

Подобные абстрактные и материальные образы реальных объектов и называются моделью:

- **модель** представляет искусственный, созданный человеком объект любой природы (умозрительный или материально реализованный), который замещает или воспроизводит исследуемый объект;
- **модель** является представлением объекта, системы или понятия в некоторой форме, отличной от формы их реального существования.

Модель не обязательно является объектом-заместителем реально существующего в материальной природе объекта-оригинала. Оригиналом может быть и представление человека о несуществующем (возможно, пока не существующем или вообще неосуществимом) объекте, явлении, понятии. Гипотезы, проекты, планы — это тоже модели.

# Понятие модели системы

Под **моделью данной системы** понимается любая другая система, обладающая той же формальной структурой, при условии, что:

- между системными характеристиками (функцией, структурой, элементами) модели и оригинала существует соответствие;
- модель более доступна для оперирования имеющимися средствами, чем оригинал.

**Моделью** называется некий объект-заменитель, который в определенных условиях может заменять объект-оригинал, воспроизводя интересующие субъекта свойства и характеристики, и имеет существенное преимущество перед оригиналом (наглядность, обозримость, доступность и т.д.)

# Понятие модели системы

Человек использует модели в познавательной деятельности, а также для планирования, организации практической деятельности потому, что они позволяют в более наглядной, «выпуклой», структурированной форме представить знания.

Можно говорить о **модели** как о способе существования знаний или структурированном знании.

Принцип моделирования состоит в том, что замещение исходного объекта аналогом позволяет выделить скрытую от наблюдения сущность оригинала.

Моделирование является обязательным, неизбежным действием во всякой целесообразной деятельности человека, пронизывает и организует ее

# Понятие модели системы

**Модель** является целевым отображением оригинала.

Модель не тождественна оригиналу. Это упрощенный, приближенный образ, отображающий оригинал лишь в конечном числе отношений.

Человек формирует модель с какой-то целью, для решения определенной задачи, и при этом он сознательно отображает в модели только главные, наиболее существенные (с точки зрения решаемой им задачи) свойства оригинала и опускает ненужные детали, лишь отвлекающие от решения задачи.

Важнейшим организующим моментом моделирования является цель – образ желаемого будущего, т.е. состояние, на достижение которого и направлена деятельность системы.

# Виды моделей

**Познавательные** модели являются формой организации и представления знаний, средством соединения новых знаний с имеющимися. Они не претендуют на завершенность, непрерывно уточняются и развиваются.

**Прагматические (нормативные)** модели обслуживают преобразование среды в соответствии с целями субъекта. Являются средством отображения идеального объекта или будущего результата некоторой практических действий. Это образец, эталон, стандарт или программа действий, план, алгоритм. Существуют разные градации нормативных моделей по степени детальности — от референтной (типовой) модели, построенной для целого класса объектов, до модели конкретного объекта. Использование прагматических моделей состоит в том, чтобы при обнаружении расхождений между моделью и реальностью направить усилия на изменение реальности так, чтобы приблизить реальность к модели. (Например, планы, устав, кодексы законов и т.д.)

# Виды моделей

**Статические** модели — модели конкретных состояний объекта. Это структурные модели систем.  
**Динамические** модели — модели, отражающие изменение состояний системы, последовательность действий, операций, внутренних и внешних взаимодействий и т. д.

При этом сама модель динамического процесса может быть статичной, не изменяющей своего состояния. Примеры таких моделей — календарный график работ, блок-схема алгоритма, формула изменения некоторой характеристики во времени. Это функциональные модели системы.

Существует класс динамических моделей, которые сами могут находиться в динамике. Это имитационные модели, имитирующие реальные процессы.

Примерами могут служить: действующая механическая модель солнечной системы; деловая игра, имитирующая какой-либо бизнес-процесс; военные учения; компьютерная имитационная модель процесса обслуживания клиентов, «проигрываемая» с помощью специальной программы в сжатом режиме времени.



# Виды моделей

**Материальные модели** воспроизводят основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики изучаемого явления или объекта. Построены из реальных объектов.

**Абстрактные** модели являются идеальными конструкциями, построенными средствами мышления, сознания. Модели этого типа могут не только находиться в сознании человека — они могут иметь материальное воплощение с тем, чтобы их можно было хранить и передавать от одного человека другому. Схемы, чертежи, диаграммы, формулы, таблицы, нарисованные на бумаге, напечатанные в книге, записанные в виде компьютерных файлов — все это вещественные формы абстрактных моделей. Делят на символические и математические.

К *символическим моделям* относят языковые и знаковые.

Языковые модели - это словесные модели, в основе которых лежит набор слов (словарь), очищенных от неоднозначности («тезаурус»). Знаковые модели – вводится условное обозначение отдельных понятий, т.е. знаки, а также операции между знаками.

Математические модели - приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.

# Виды моделей

Абстрактные модели, могут быть классифицированы по различным признакам.

- декларативные - отражаются свойства, структуры, состояния (причем хоть в статике, хоть в динамике).
- процедурные модели- отражается процедурное, операционное знание.
- **детерминированные** - отражают процессы и явления, не подверженные случайностям,
- **стохастические** - отражают случайные процессы, описываемые вероятностными характеристиками и статистическими закономерностями.

По степени абстрактности

- формализованные – например, математические модели.
- слабо формализуемые или содержательные (семантические) - сохраняется семантика моделируемого объекта. В этом смысле эти модели уникальны. Примеры содержательных моделей: дерево целей, модель организационной структуры компании, блок-схема алгоритма.

# Виды подобия

Между оригиналом и моделью должно быть установлено отношение похожести, подобия.

Способы установления подобия:

- **Прямое** подобие – устанавливается в процессе физического взаимодействия в процессе создания модели (фотография, протез, масштабированные модели самолетов, макеты зданий и т.п.)
- **Косвенное** подобие - обнаруживается в виде совпадения или достаточной близости абстрактных моделей различных физических процессов (например, электрических и механических) (часы – аналог времени, подопытные крысы – аналог человеческого организма).
- **Условное** подобие – устанавливается в результате соглашений. Например, деньги (модель стоимости), удостоверение личности (официальная модель владельца), чертежи (модель изделия), карты (модели местности) и т.д.

# Виды подобия

Между оригиналом и моделью должно быть установлено отношение похожести, подобия.

Способы установления подобия:

- **Прямое** подобие – устанавливается в процессе физического взаимодействия в процессе создания модели (фотография, протез, масштабированные модели самолетов, макеты зданий и т.п.)
- **Косвенное** подобие - обнаруживается в виде совпадения или достаточной близости абстрактных моделей различных физических процессов (например, электрических и механических) (часы – аналог времени, подопытные крысы – аналог человеческого организма).
- **Условное** подобие – устанавливается в результате соглашений. Например, деньги (модель стоимости), удостоверение личности (официальная модель владельца), чертежи (модель изделия), карты (модели местности) и т.д.

# Виды моделей

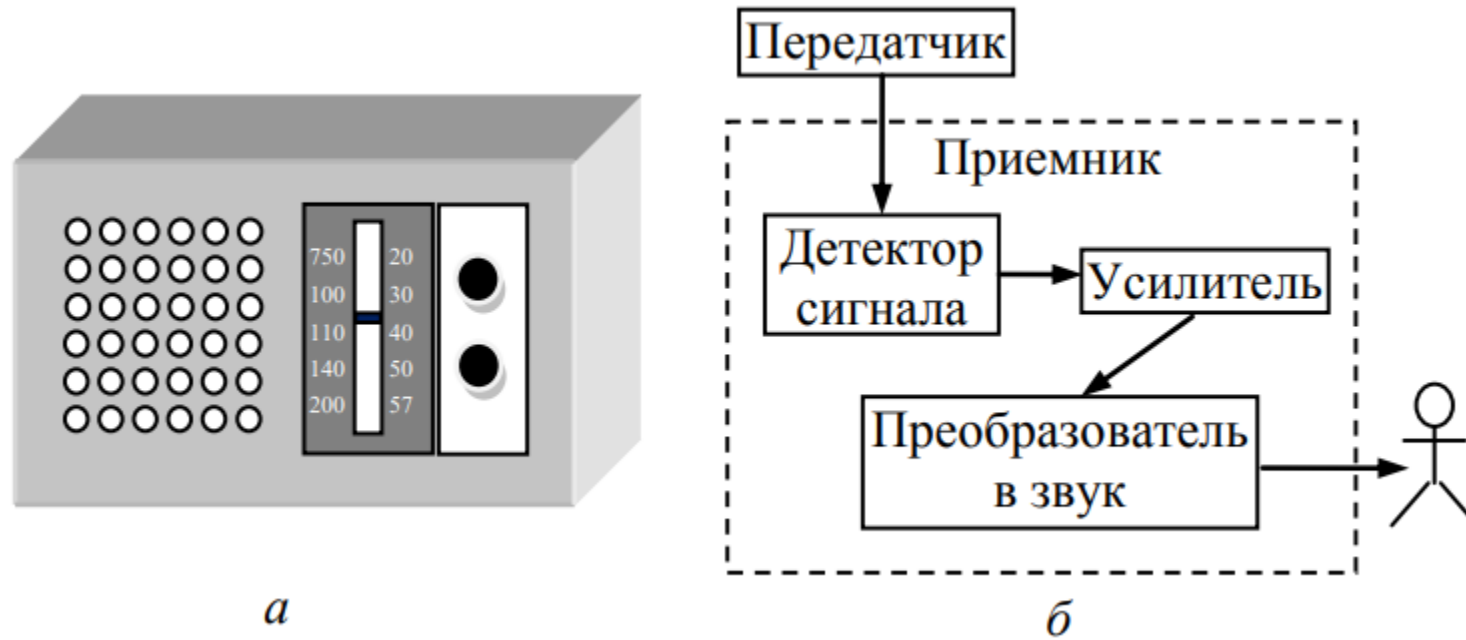


Рис. 1. Различные модели радиоприемника:  
а — модель внешнего вида. Прямое подобие  
б — структурная схема. Условное подобие.

# Свойства моделей

**конечность** — модели отображают оригинал лишь в конечном числе его отношений;  
**упрощенность** — модели отображают только существенные стороны объекта;  
**приблизительность** — действительность отображается моделями грубо или приблизительно;

**адекватность** — модели отражают моделируемую систему с *достаточной* полнотой и точностью. Модель, с помощью которой успешно достигается поставленная цель называют адекватной этой цели (например, геоцентрическая модель Птолемея была неправильной, но адекватной в смысле точности описания движения планет).

Адекватность и истинность не всегда совместимы;

**динамичность** — модели развиваются, переходят одна в другую;

**ингерентность** – согласованность, совместимость модели с окружающей средой, принадлежность модели этой среде. Ингерентность – это также условие, необходимое для проявления, реализации модельных свойств модели.

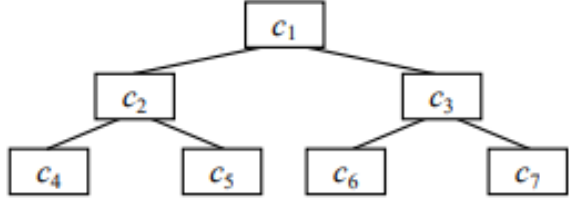
# Языки описания моделей

Абстрактные модели описываются на том или ином языке, т. е. в виде некоторой знаковой системы.

Каждый из языков имеет свой набор символов — условных обозначений, свои правила формирования модели и ее интерпретации.

Одна и та же модель может быть представлена на разных языках.

Представление модели дерева целей на различных языках

Язык	Модель дерева целей
Естественный	«Глобальная цель с кодом $c_1$ содержит две подцели второго уровня – $c_2$ и $c_3$ . В свою очередь, подцель $c_2$ содержит подцели $c_4$ и $c_5$ , а подцель $c_3$ – подцели $c_6$ и $c_7$ »
Графический	 <pre> graph TD     c1[c1] --&gt; c2[c2]     c1 --&gt; c3[c3]     c2 --&gt; c4[c4]     c2 --&gt; c5[c5]     c3 --&gt; c6[c6]     c3 --&gt; c7[c7]         </pre>
Теории множеств	<p>Множество целей <math>C = \{c_i\}, i = \overline{1,7}</math></p> <p>Отношение доминирования <math>R_{\succ} \subset C \times C</math>:</p> <p><math>c_1 R_{\succ} c_2, c_1 R_{\succ} c_3, c_2 R_{\succ} c_4, c_2 R_{\succ} c_5, c_3 R_{\succ} c_6, c_3 R_{\succ} c_7</math></p>
Математический	$C = \begin{bmatrix} 1110000 \\ 0101100 \\ 0010011 \\ 0001000 \\ 0000100 \\ 0000010 \\ 0000001 \end{bmatrix}, c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{я цель содержит } j - \text{ю} \\ 0, & \text{если } i - \text{я цель не содержит } j - \text{ю} \end{cases}$
Логический	<p><math>P(c_1, c_2) \&amp; P(c_1, c_3) \&amp; P(c_2, c_4) \&amp; P(c_2, c_5)</math></p> <p><math>\&amp; P(c_3, c_6) \&amp; P(c_3, c_7) \equiv \text{И},</math></p> <p>где <math>P(c_i, c_j)</math> — предикат, означающий, что цель <math>c_i</math> содержит подцель <math>c_j</math></p>
Произвольный семиотический	$c_1 (c_2 (c_4, c_5), c_3 (c_6, c_7)),$ где $c_{i1} (c_{i2}, \dots, c_{im})$ — означает, что цель $c_{i1}$ содержит подцели $c_{i2}, \dots, c_{im}$ .

# Языки описания моделей

**Естественный язык.** Описания моделируемых объектов, явлений, процессов на естественном языке (языке общения между людьми). Естественный язык обладает наиболее богатыми описательными возможностями. Однако он расплывчат, многозначен и не формализован. Поэтому чаще всего его используют для первоначального описания моделируемого объекта, служащего отправной точкой для построения более формализованной модели на другом, более абстрактном языке.

**Графический язык.** Модель на графическом языке представляется в виде некоторого графического образа — в виде графа, схемы, диаграммы, графика, гистограммы, чертежа. Основным достоинством подобных моделей является наглядность. Графические образы зачастую лучше воспринимаются и запоминаются, чем, скажем, формулы и тексты. Методы формирования и преобразования графических моделей определенного вида разрабатываются в таких научных дисциплинах, как теория графов, теория сетевого планирования и управления, теория сетей Петри, теория семантических сетей и др.



# Языки описания моделей

**Язык теории множеств.** Теоретико-множественное представление получило широкое распространение благодаря, с одной стороны, его формальности, и, с другой стороны, его общности (он применим, практически без ограничений, ко всем возможным объектам, даже к плохо структурированным, неопределенным системам). Язык теории множеств используется как обобщающий язык при сопоставлении различных направлений математики и других дисциплин, является основой для самых разных научных направлений, в том числе и для общей теории систем. Основными понятиями теории множеств являются: множество, элементы множества, отношения на множествах.

# Языки описания моделей

**Математический (аналитический) язык.** Математические модели описывают соотношения между количественными параметрами моделируемого объекта или логические условия в виде аналитических формул (алгебраических, интегродифференциальных, конечноразностных и т. д.). Это могут быть уравнения, связывающие переменные состояния, входов и выходов системы или соотношения для вычисления критериев оценки системы и др.

В системном анализе получили наибольшее распространение математические модели оптимизации, математического программирования, исследования операций, теории игр. Построение подобных моделей предполагает выделение переменных (искомых величин), формирование целевой функции, связывающей критерий с переменными, и описание условий в виде ограничений, накладываемых на переменные. Целью поиска решения на модели является нахождение таких значений переменных, при которых достигается наилучшее значение целевой функции и удовлетворяются ограничения.

# Языки описания моделей

**Логический язык.** Язык математической логики (логики высказываний, логики предикатов) используется для моделирования логических закономерностей и логических выводов (дедуктивных, индуктивных). Базовыми понятиями математической логики являются высказывание, предикат, логические операции (конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, импликация, эквивалентность).

**Семиотический язык,** язык математической лингвистики. Семиотика — наука о знаках, знаковых системах — изучает правила построения языков. Под знаком понимаются элементы, обладающие тремя свойствами: синтаксисом, семантикой и прагматикой. Чтобы создать некоторый произвольный семиотический язык, нужно прежде всего определить алфавит языка. Для порождения грамматически (синтаксически) правильных предложений — цепочек символов алфавита — вводятся синтаксические правила (операции). Кроме того, необходимо определить семантику и прагматику отдельных знаков и конструкций. Под семантикой при этом понимают содержание, смысл формируемых или распознаваемых конструкций языка, а под прагматикой — полезность для конкретной цели, задачи.

# Содержание

1. Понятие «модель системы»
2. Базовые модели системы
3. Модели многоуровневых иерархических структур
4. Закономерности систем

# Базовые модели системы

Три ключевые характеристики любой системы — целостность, делимость и коммуникативность — определяют три базовых типа моделей систем:

- **модель «черного ящика»**, описывающую систему как нечто целое, характеризующее общими свойствами и поведением;
- **модель состава**, отражающую состав подсистем и элементов системы или среды;
- **модель структуры**, отражающую внутренние связи между компонентами системы и/или взаимосвязи системы с подсистемами внешней среды.

# Базовые модели системы

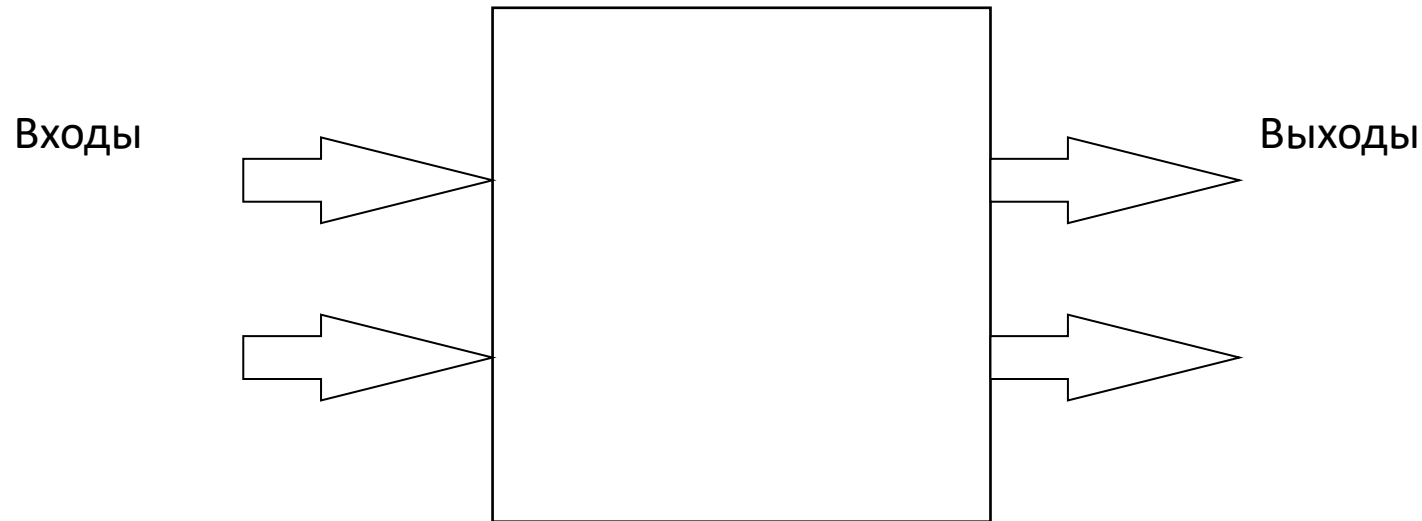
Каждая из этих моделей систем может также относиться к тому или иному классу по любой из классификаций, приведенных выше.

Например, может быть познавательной или нормативной в зависимости от того, описывает ли она существующую систему или проектируемую, пока не созданную.

Могут быть построены как статические, так и динамические базовые модели систем. Например, статическая модель «черного ящика» может представлять собой описание входных и выходных переменных системы, а динамическая — описание функций изменения этих переменных во времени.

Способы воплощения базовых моделей систем также могут быть разными. Хотя чаще формируются абстрактные модели, описываемые на том или ином языке, можно представить и материальную модель (например, в виде некоего макета, состоящего из отдельных частей, моделирующих подсистемы и элементы)

# Модель «черного ящика»



**Модель «черного ящика»** рассматривает систему как единое целое, о структуре которого в модели нет информации, т. е. система представляется как черный «непрозрачный» ящик.

Два аспекта исследования системы, для которых используется данная модель:

- исследование внешних взаимосвязей системы с окружающей средой;
- исследование свойств системы как целого.

# Модель «черного ящика»

Исследование внешних взаимосвязей системы с окружающей средой.

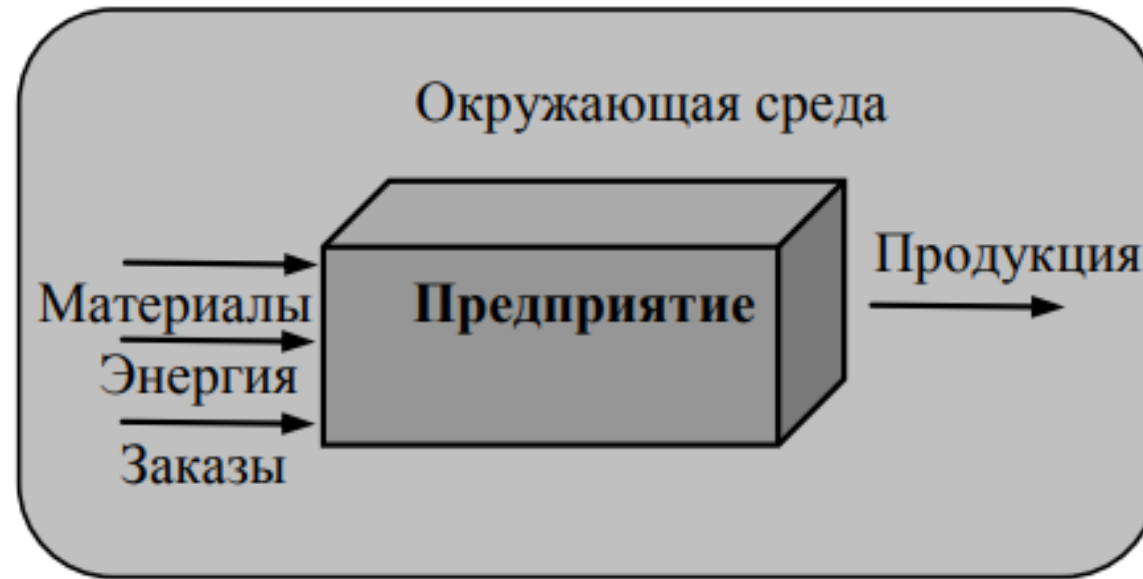
В модели фиксируются входные и выходные связи системы с окружающей средой. Это может быть просто перечисление входов и выходов (формально — определение множества  $X$  входных объектов и множества  $Y$  выходных результатов).

Дополнительно входы и выходы могут быть описаны с помощью переменных (характеристик, параметров). Могут быть заданы закономерности изменений входных и выходных переменных во времени:  $x(t)$ ,  $y(t)$ , где  $t$  — моменты времени.

Модель «черного ящика» не предполагает описание соотношений между входными и выходными переменными. В случае если такие соотношения фиксируются, говорят о модели «серого» или «белого» ящика (в зависимости от степени определенности и полноты отображения входов на выходы).



# Модель «черного ящика»



Модель черного ящика предприятия

В каждом конкретном случае могут быть составлены подробные классификаторы входов, выходов и их параметров. Например, каждый вид продукции может быть охарактеризован такими параметрами, как вид, количество (объем), качество, себестоимость, цена и т. д.

# Модель «черного ящика»

**Выходы системы** - связи, с помощью которых система воздействуют на среду. (связи из системы в среду). Соответствуют слову «цель» в определении системы.

**Входы** – связи, с помощью которых среда воздействуют на систему.

- Строя модель мы отбираем конечное число входов и выходов по целевому назначению т.е., по существенности той или иной связи по отношению к цели. Несущественные связи не включаем в модель, но они, конечно, все равно действуют независимо от нас. Нередко оказывается, что казавшееся несущественным или неизвестным для нас, является важным и должно быть учтено.
- Особое значение это имеет при задании цели системы, т.е. при определении выходов системы главную цель приходится сопровождать заданием дополнительных целей, которые тоже нужно обязательно достигать.

# Модель «черного ящика»

## Пример

Опишем выходы системы «наручные часы».

- 1) основная цель - показания времени в определенный момент времени (не отличает от других видов часов);
- 2) дополнительная цель (выход) – удобство ношение часов на запястье;
- 3) дополнительная цель (выход) – достаточная в бытовых условиях прочность, влагонепроницаемость, точность, габариты, вес, цена и т.д.

# Модель «черного ящика»

## Исследование свойств системы как целого.

Подход к построению модели «черного ящика» заключается в фиксации целостных свойств системы в виде качественных и количественных параметров. Параметры могут отражать фиксированные свойства, не подверженные изменению, либо изменяющиеся, зависящие от состояния системы. В последнем случае для характеристики различных состояний системы удобно использовать переменные. Тогда каждое конкретное состояние системы задается определенной комбинацией значений переменных.

Параметр	I квартал	II квартал	III квартал
Объем производства	240	300	270
Численность персонала	3	3	3
Производительность	80	100	90
Затраты, тыс. руб.	65	60	60
Затраты на ед. продукции	0,27	0,2	0,22
Эффективность	средняя	высокая	средняя

# Модель «черного ящика»

Исследование свойств системы как целого.

Некоторые из параметров могут быть непосредственно измерены наблюдателем или каким-либо образом оценены (например, на основе субъективных суждений экспертов). При этом результаты измерений или оценивания фиксируются на некоторой шкале.

Значения одних параметров могут определяться на основе значений других, если известны зависимости между параметрами, например, в виде формул расчета. В этом случае можно говорить о модели как о «сером» или «белом» ящике (в литературе встречаются также термины «полупрозрачный», «прозрачный» ящик).

# Модель «черного ящика»

Среди параметров (переменных состояния) выделяются:

- управляемые — переменные, значения которых определяются управляющими воздействиями на систему;
- возмущения — переменные, значения которых определяются случайными воздействиями;
- целевые — переменные, используемые для оценивания качества системы (критерии достижения цели).

Модель «черного ящика» в виде совокупности предыдущих состояний системы может быть использована для нахождения причинно-следственных связей между параметрами (например, между управляемыми и целевыми), а также для определения закономерностей изменения параметров во времени. При этом могут быть использованы методы статистической обработки.

# Модель «черного ящика»

Кроме того, модель «черного ящика» может также использоваться для:

- сравнительной оценки системы по отношению к другим системам данного типа - в модели фиксируются значения параметров исследуемой системы и параметров аналогичных систем.
- для выбора оптимального варианта реализации системы - в модели фиксируются возможные варианты системы в виде соответствующих комбинаций значений параметров. .

Некоторые авторы не делают различия между представлением модели «черного ящика» в виде описания входов и выходов и представлением в виде описания свойств системы, понимая под входами управляемые переменные и возмущения, а под выходами — целевые переменные.

Однако при таком подходе может возникнуть терминологическая путаница, так как целевыми могут быть переменные, характеризующие параметры входных объектов, а управляемыми — параметры выходов. Например, целью производственной системы может быть снижение объема используемых ресурсов (параметр входа), а управляемым параметром — объем производимой продукции (параметр выхода).

# Модель состава

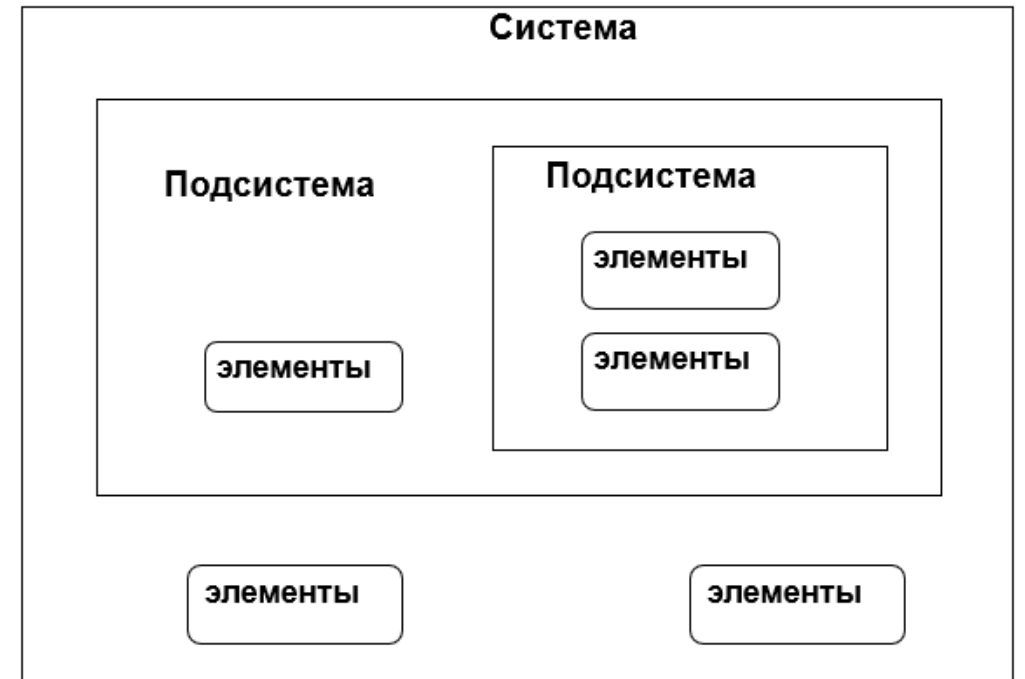
В модели состава фиксируется состав компонентов системы — подсистем и элементов.

В силу свойства иерархичности системы, модель состава неизбежно принимает иерархический вид.

При этом можно выделить два основных способа построения такой иерархии: декомпозицию; композицию

Использование декомпозиции/композиции при моделировании систем тесно связано с иерархичностью мышления человека, с такими основополагающими способами познания, как анализ и синтез.

Сочетание синтетического и аналитического мышления — один из основных принципов системного подхода.



Модель состава



# Модель состава

Способ построения иерархии состава	Способ познания
Декомпозиция (последовательное расчленение системы на все более мелкие части)	Анализ, т. е. разделение целого на части и представление сложного в виде более простых компонентов, позволяет решить противоречие между бесконечностью природы и конечностью ресурсов, используемых в познавательных процессах. Исследование отдельных компонентов системы, взятых вне связи друг с другом, не позволяет исследовать эмерджентные свойства системы, судить о системе как о целом.
Композиция (последовательное объединение частей системы во все более крупные подсистемы)	Синтез – обратный процесс. Метод исследования явления в его единстве и взаимной связи частей, обобщение, сведение в единое целое данных, добытых анализом.

# Модель состава

Системы	Подсистемы	Элементы
Система телевидения	Подсистема передач	Центральная телестудия. Антенно-передающий центр
	Канал связи	Среда распространения радиоволн. Спутники ретрансляторы
	Приемная подсистема	Местные телестудии. Телевизоры потребителей
Семья	Члены семьи	Муж Жена Предки Потомки Другие родственники
	Имущество семьи	Общее жилье и хозяйство. Личная собственность членов семьи

# Модель состава

Построение модели состава позволяет рассматривать систему на разных уровнях абстрагирования.

- На верхнем уровне система представляется как целое.
- Чем ниже мы спускаемся по иерархии, тем более детальным становится рассмотрение системы.

При решении задачи проектировании или управлении сложной системой иерархическое представление позволяет снизить размерность задачи путем сведения ее к множеству более простых, иерархически связанных задач

# Модель состава

Сложности в построении модели определяются неоднозначностью разбиения целого на части:

- Разные модели состава одной системы получаются вследствие того, что понятие элементарности можно определить по-разному. То, что с одной точки зрения является элементом, с другой оказывается подсистемой, подлежащей дальнейшему рассмотрению.
- Модель состава (как и любая другая) является целевой, и для различных целей один и тот же объект потребуется разбить на разные части. Например, модель состава промышленного предприятия, построенная для главного механика, будет отличаться от модели того же предприятия, предназначенной для главного экономиста.
- На процесс создания модели оказывает влияние точка зрения исследователя, его компетентность, полнота информации о системе и др.

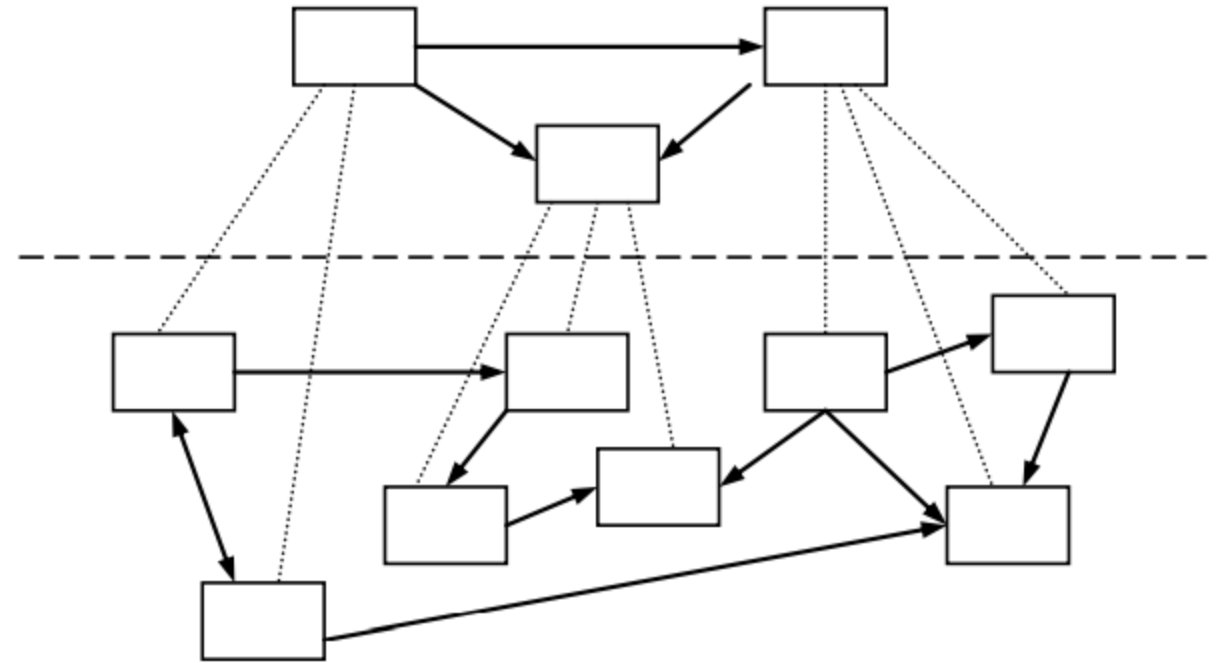
Для облегчения процесса формирования модели состава используются **стандартные основания декомпозиции**. Их применение снижает неоднозначность, однако не устраняет ее полностью, так как остается вопрос выбора того или иного основания при каждом акте декомпозиции.

# Модель структуры

Модель структуры системы – совокупность элементов и существенных связей между ними, необходимых и достаточных для достижения заданной системой цели.

Модель структуры строится на основе модели состава системы и предполагает установление отношений между компонентами (подсистемами, элементами) системы.

Как правило, модель структуры строится для одного уровня модели состава, т. е. для каждого уровня формируется своя структурная модель.



Модель структуры для различных уровней модели состава

# Модель структуры

Если мы объединим модели «черного ящика», состава и структуры, то получим еще одну модель - **структурную модель системы** («белый ящик», «конструкция системы»). В структурной модели указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы).

В модели состава также присутствуют отношения, но только отношения типа «целое-часть» между материнской системой (подсистемой) и ее дочерними подсистемами или элементами. Поэтому можно рассматривать модель состава как частный случай модели структуры.

# Модель структуры

В модели структуры могут отражаться самые разнообразные отношения:

- материальные потоки (вещественные, энергетические и информационные);
- пространственные отношения (например: дальше, ближе, выше, ниже);
- временные отношения (например: раньше, позже, одновременно);
- причинно-следственные связи;
- отношения власти/подчинения;
- отношения роли (например, быть инструментом, исполнителем, результатом и др.

Полной классификации всех видов отношений не существует.

Например, в естественном языке (в частности в русском, английском, итальянском) количество языковых конструкций, выражающих отношения, не так много — около 200.

# Модель структуры

Отношения могут быть:

- направленными
- ненаправленными.

В зависимости от количества объектов, связанных отношением, различают:

- одноместные (унарные) - отражают свойства объекта, которыми он обладает,
- двухместные (бинарные),
- трехместные (тернарные)
- n-местные (n-арные) отношения.

Модели структуры удобно изображать в виде графов.

При этом объекты (подсистемы, элементы) представляются в виде вершин (узлов графа), а отношения между ними — в виде дуг (ребер).

Если направления отношений не обозначаются, то граф называется неориентированным, если обозначаются — ориентированным или орграфом.



# Модель структуры

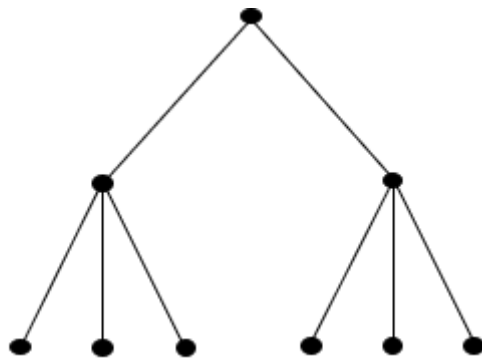
**Иерархические структуры** – они представляют декомпозицию системы в пространстве (все компоненты существуют одновременно, не разнесены во времени):

- модели на основе отношения «целое-часть», отражающие состав системы (например, автомобиль – кузов, колеса, двигатель);
- модели, отражающие отношения типа «общее-частное» между понятиями (классами понятий) (например, автомобиль - легковой автомобиль, грузовик.;
- деревья целей, построенные на основе отношений «цель-средство» (цели (задачи, проблемы) – подчиненные цели);
- модели, отражающие отношение «власти-подчиненности» - модели организационных структур управления. Оргструктуры могут быть и неиерархическими, например, матричными и др.

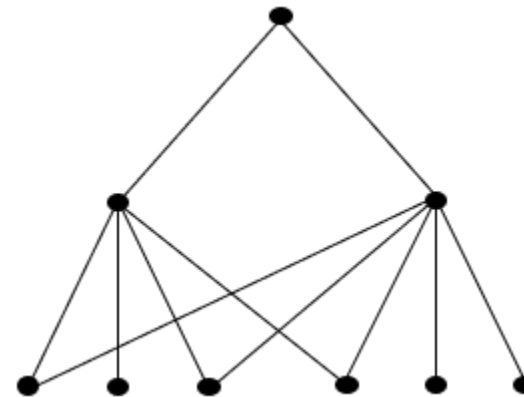
# Модель структуры

Структуры, в которых каждый элемент нижележащего уровня подчинены одному узлу вышестоящего уровня, называют древовидными структурами, структурами типа дерева, иерархическими структурами с сильными связями (рисунок а)

Структуры, в которых элемент нижележащего уровня может быть подчинен двум и более узлам вышестоящего уровня, называют иерархическими структурами со слабыми связями (рисунок б).

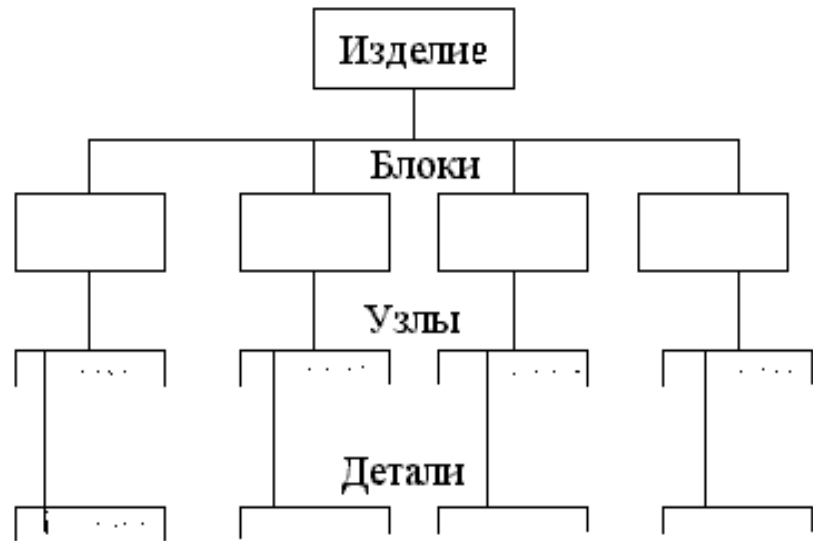


а)

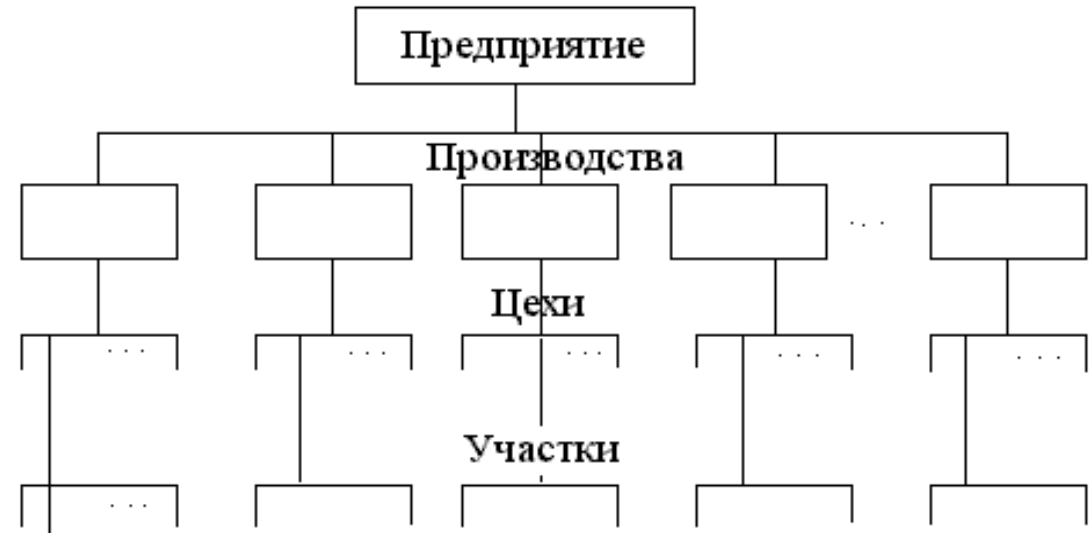


б)

# Модель структуры



Структура изделия



Производственная структура

В принципе, в иерархических структурах важно лишь выделение уровней соподчинения, а между уровнями и между компонентами в пределах уровня могут существовать любые взаимоотношения.

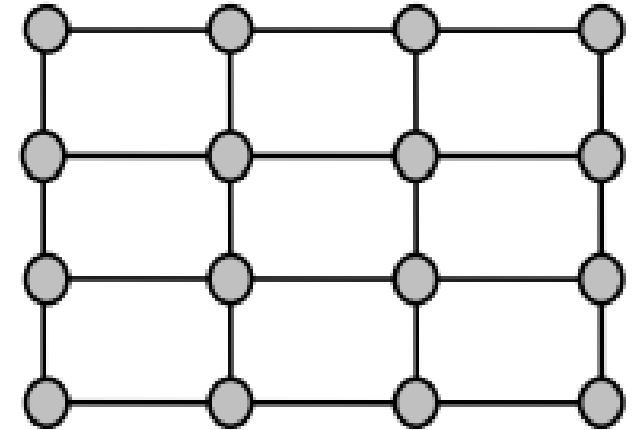
# Модель структуры

**Матричные схемы** чаще всего используются для отражения структуры систем, элементы которых связаны двумя типами связей.

Связи одного типа представляются в виде вертикальных линий, связи другого типа — в виде горизонтальных линий.

Например, в матричных оргструктурах используются два канала управления: как правило, один канал соответствует функциональному признаку структуризации, второй — проектному.

В виде матриц могут быть представлены связи между данными в реляционных базах данных. Причем могут использоваться и многомерные матрицы. Так, в технологии организации баз данных OLAP используются так называемые OLAP-кубы, отражающие многомерное представление данных. Аналогичные представления используются в различных многомерных классификациях.



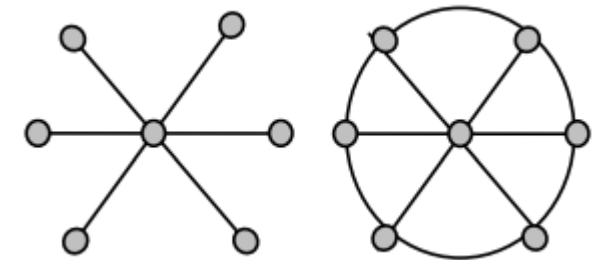
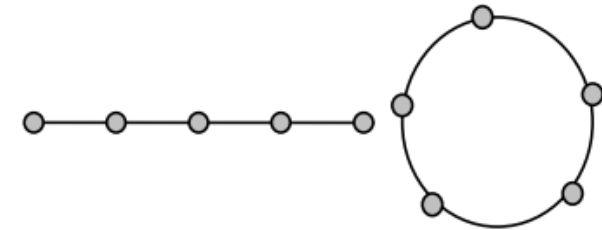
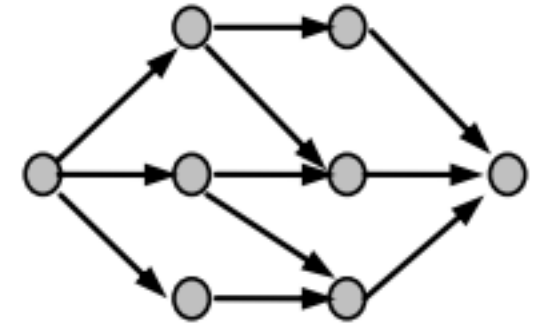
# Модель структуры

**Сетевые структуры** представляют декомпозицию системы во времени. Чаще всего используются для моделирования процессов.

Существуют графы, отображающие в виде ребер отдельные работы (действия, операции) процесса, а в виде вершин — события (результаты работ), представляются в виде направленной сети с одним истоком (начальное состояние) и одним стоком (конечное состояние). Подобные сетевые графики используются при календарном планировании.

Распространены и сетевые структуры, отображающие в виде вершин работы, а в виде ребер — потоки (материальные, энергетические, информационные) между работами либо логические взаимовлияния, отражающие технологическую последовательность работ.

В виде сетей различной конфигурации представляют структуры коммуникаций. Например, внутригрупповые коммуникационные сети.



# Модель структуры

## Комбинирование базовых моделей систем.

Базовые модели лежат в основе большинства прикладных методологий системного. При этом, как правило, модели используются в различных сочетаниях.

Например:

- 1) анализ некоторой системы может начинаться с выделения объектов окружающей среды, т. е. с построения модели состава «надсистемы» (системы более высокого порядка, включающей исследуемую систему).
- 2) затем устанавливаются связи между анализируемой системой и подсистемами окружающей среды, т. е. формируется модель структуры «надсистемы» и одновременно модель «черного ящика» исследуемой системы. Модель черного ящика в виде описания входов и выходов может быть дополнена описанием свойств системы.
- 3) Затем могут быть построены модели состава и структуры системы. При этом на каждом уровне декомпозиции для отдельных подсистем формируются модели «черного ящика».

# Динамические модели

Системы, в которых происходят какие бы то ни было изменения со временем, будем называть динамическими, а модели, отображающие эти изменения, — динамическими моделями систем.

Развитие моделей происходит примерно в той последовательности, как это было изложено: от “черного ящика” к “белому”. Однако этот путь конкретизации моделей непрост и нелегок и для многих систем еще не закончен из-за недостаточности имеющихся знаний.

# Динамические модели

Различают два типа динамики системы:

- функционирование - процессы, которые происходят в системе (и окружающей ее среде), стабильно реализующей фиксированную цель.
- развитие - то, что происходит с системой при изменении ее целей. Характерной чертой развития является тот факт, что существующая структура перестает соответствовать новой цели, и для обеспечения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы.

Не следует считать, что система всегда находится либо в фазе развития, либо в состоянии функционирования. При реконструкции одного цеха остальные функционируют, завод в целом развивается. Даже при коренной перестройке системы какие-то элементы и даже подсистемы старой структуры могут продолжать функционировать по-прежнему.



# Динамические модели

Типы динамических моделей такие же, как и рассмотренные выше типы статических моделей, только их элементы имеют временной характер.

Типы основных моделей для динамического варианта

Модель «черного ящика»	Модель состава	Модель структуры
Вход: начальное состояние Выход: конечное (желаемое состояние)	Перечень действий, необходимых для перевода начального состояния в конечное	Последовательность действий и продолжительность каждого действия
Структурная схема системы		
Сетевой график всего процесса		

# Содержание

1. Понятие «модель системы»
2. Базовые модели системы
3. Модели многоуровневых иерархических структур
4. Закономерности систем

# Модели многоуровневых иерархических структур

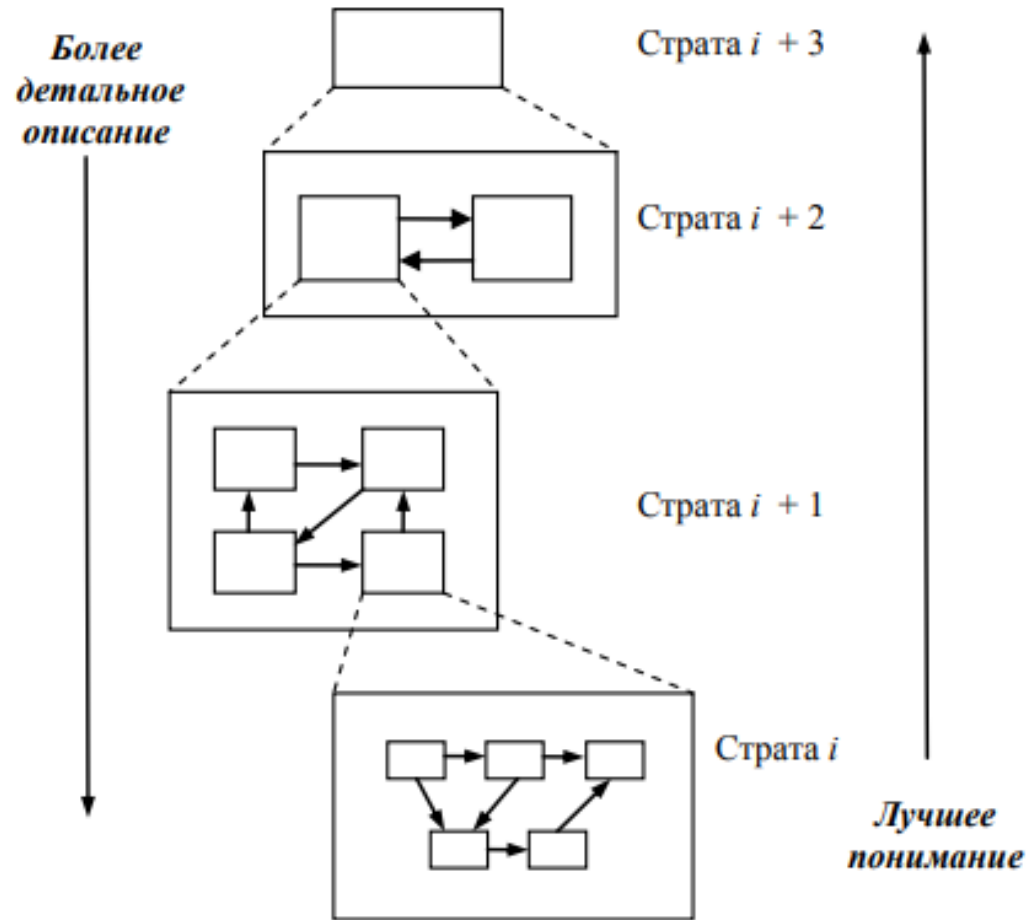
В теории систем М.Месаровича предложены особые классы иерархических структур типа **страт, слоев, эшелонов**, отличающихся различными принципами взаимоотношений элементов в пределах уровня и различным правом вмешательства вышестоящего уровня в организацию взаимоотношений между элементами нижележащего уровня.

## *Страты.*

При отображении сложных систем основная проблема состоит в том, чтобы найти компромисс между простотой описания, позволяющей составить и сохранять целостное представление об исследуемом или проектируемом объекте, и детализацией описания, позволяющей отобразить многочисленные особенности конкретного объекта.

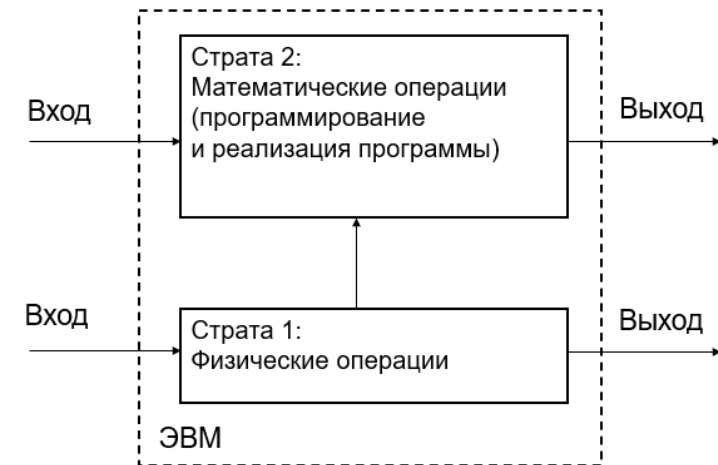
Один из путей решения этой проблемы – задание системы семейством моделей, каждая из которых описывает поведение системы с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования. Для каждого уровня существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывается поведение системы на этом уровне. Такое представление названо **стратифицированным**, а уровни абстрагирования – **стратами**

# Модели многоуровневых иерархических структур



**Страты** - этот вид иерархии позволяет описывать систему на разных уровнях абстрагирования, т. е. детальности описания.

На каждой страте имеется свой собственный набор терминов, концепций и принципов, с помощью которых описывается поведение системы.



Стратифицированное представление ЭВМ

Взаимосвязь между стратами: система для данной страты является подсистемой для следующей более высокой страты

# Модели многоуровневых иерархических структур



Страта 1 - Физические процессы обработки материалов и преобразования энергии  
Страта 2 - Обработка информации и управление  
Страта 3 - Экономика производства с точки зрения его производительности и прибыльности.

Предмет на любой из страт – один и тот же (физический продукт).

1 страта – он рассматривается как физический объект, который подлежит обработке в соответствии с физическими законами.

2 страта – рассматривается как управляемая переменная

3 страта – товар как экономическая категория.

Для каждой из страт свое описание и модель, а система – одна и та же.

Стратифицированное представление  
автоматизированного промышленного комплекса

# Модели многоуровневых иерархических структур



Структура системы понимания  
естественного языка

Структуру компьютерной системы понимания естественного языка можно представить в виде четырех страт:

- 1) морфологической, описывающей процедуры анализа слов (выделения основ, аффиксов) и определения грамматических признаков;
- 2) синтаксической, на которой представлены процедуры разбора предложений (поиска связей между словами и т. д.);
- 3) семантической, отражающей процедуры интерпретации на формальный язык;
- 4) ситуационной, представляющей синтез формального описания ситуации.

# Модели многоуровневых иерархических структур

## Особенности стратифицированного описания систем:

1. Выбор страт зависит от субъекта (наблюдателя), его знания и заинтересованности в деятельности системы, хотя для многих систем некоторые страты кажутся естественными, внутренне им присущими.
2. Аспекты описания функционирования системы на различных стратах в общем случае не связаны между собой, поэтому принципы и законы, используемые для характеристики системы на любой страте, в общем случае не могут быть выведены из принципов, используемых на других стратах.
3. Существует асимметричная зависимость между условиями функционирования системы на различных стратах. Требования, предъявляемые к работе системы на любой страте, выступают как условия ли ограничения деятельности на нижестоящих стратах. Это означает наличие в иерархических системах обратной связи.
4. На каждой страте имеется свой собственный набор терминов, концепция и принципов. Подсистема на данной страте является системой для нижестоящей.
5. Стратифицированное представление может использоваться как средство последовательного углубления представления о системе, ее детализации.

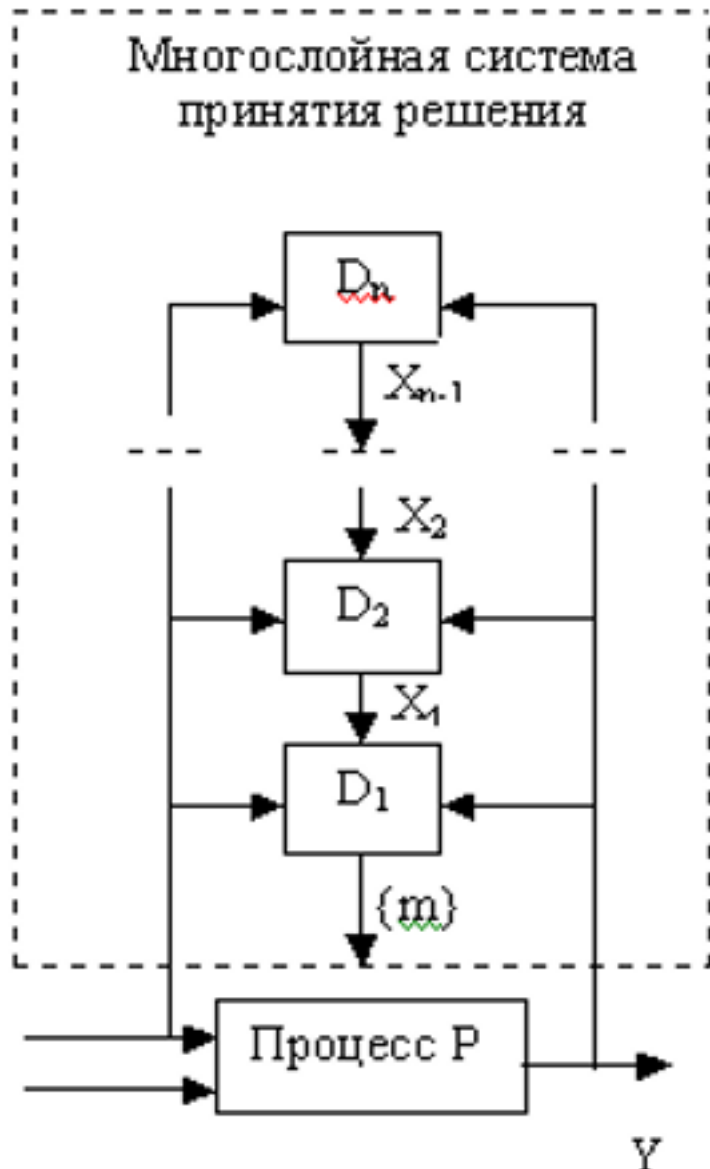
# Модели многоуровневых иерархических структур

## *Слои.*

Предложены М. Месаровичем для организации процессов принятия решений. Для уменьшения неопределенности ситуации выделяются *уровни сложности* принимаемого решения – *слои*, т.е. определяется совокупность последовательно решаемых проблем. При этом выделение проблем осуществляется таким образом, чтобы решение вышележащей проблемы определяло ограничения (допустимую степень упрощения) при моделировании на нижележащем уровне, т.е. снижало бы распределенность нижележащей проблемы, но без утраты замысла решения общей проблемы.



# Модели многоуровневых иерархических структур



Выход  $X_1$  блока  $D_2$  есть решение задачи, зависящей от параметра, фиксируемого входом  $X_2$ . Этот вход в свою очередь является выходом, принимающего решения блока более высокого уровня ( $D_3$ ).

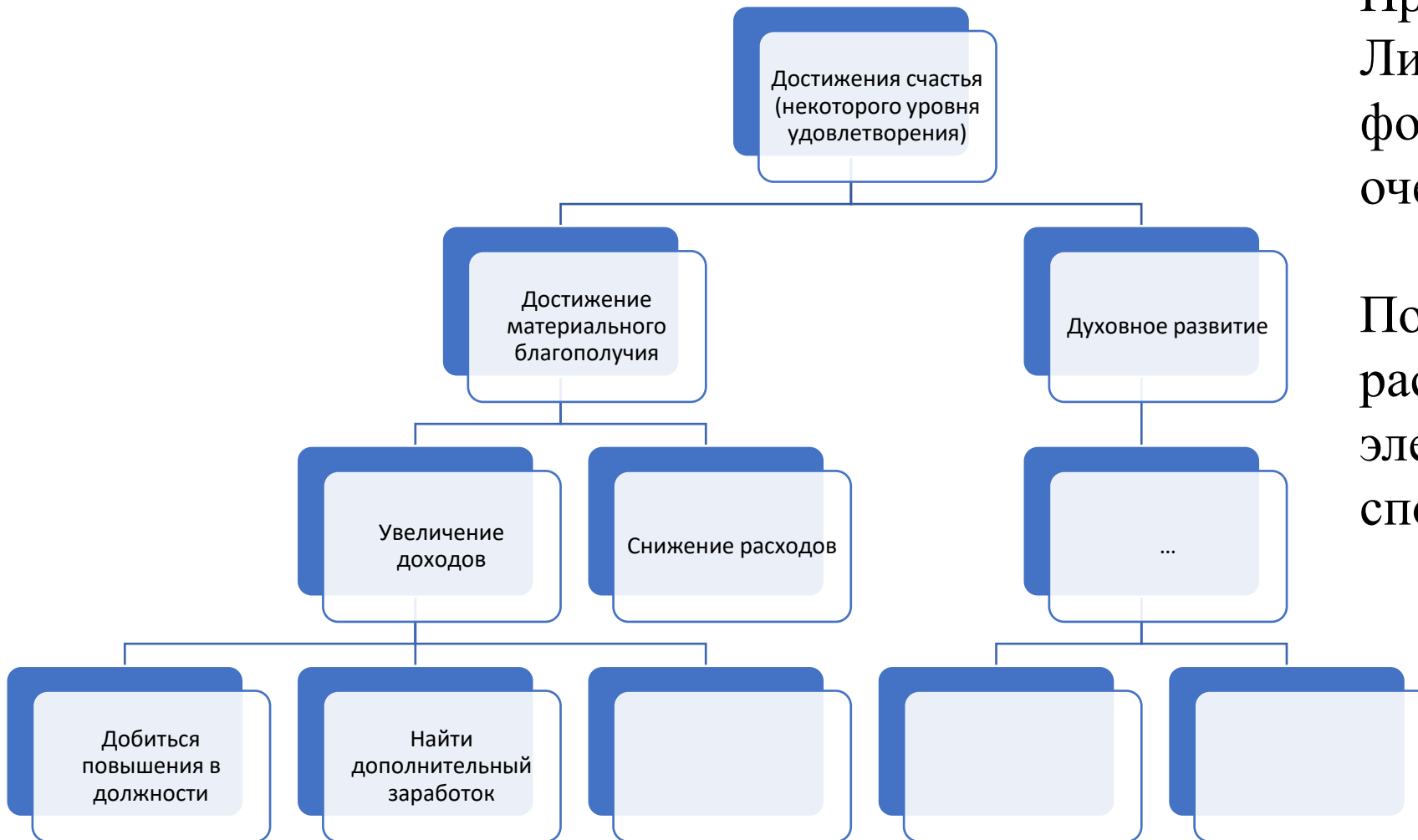
Таким образом, сложная проблема принятия решения разбивается на семейство последовательно расположенных более простых подпроблем, решение которых позволяет решить исходную сложную проблему.

# Модели многоуровневых иерархических структур

Пример.

Личная цель человека формулируется, как правило, очень расплывчато.

Подцели нижнего уровня могут рассматриваться как элементарные, если очевиден способ их решения.



# Модели многоуровневых иерархических структур



Примером многослойной структуры является структура процесса разработки программы развития сложной социально-экономической системы (например, комплексной программы развития региона, программы энергосбережения предприятия, инвестиционной программы и т. д.).

Можно выделить следующие уровни:

- слой целей по основным направлениям деятельности,
- слой стратегий (задач), определяющих курсы действий для достижения целей,
- слой программ (комплексов мероприятий), реализующих стратегии.

# Модели многоуровневых иерархических структур

*В отличие от стратифицированной иерархии, отношения между подсистемами смежных слоев имеют смысл не «часть-целое», а:*

- «средство-цель», «причина-следствие» (в том смысле, что достижение цели вышестоящего уровня есть следствие достижения подцелей),
- «аргумент-функция» (вышестоящая цель есть функция от нижестоящих целей),
- «ситуация-действие» (для достижения ситуации, соответствующей цели, требуется выполнение действий, реализующих подцели).

# Модели многоуровневых иерархических структур

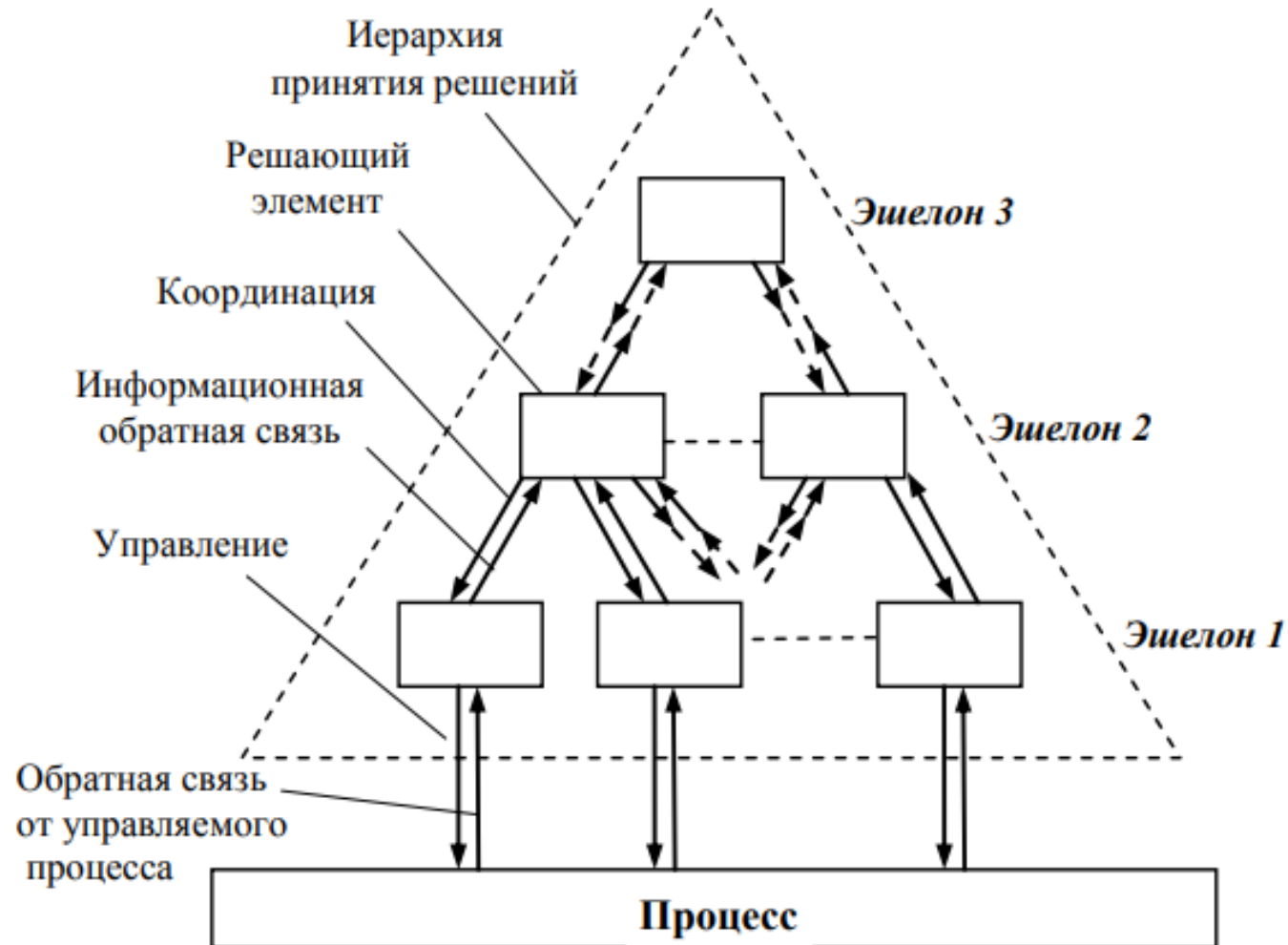
## *Эшелоны.*

Понятие многоэшелонной иерархической структуры вводится следующим образом:

- система представляется в виде относительно независимых, взаимодействующих между собой подсистем; при этом некоторые (или все) подсистемы имеют право принятия решений, а иерархическое расположение подсистем (многоэшелонная структура) определяется тем, что некоторые из них находятся под влиянием или управляются вышестоящими.

Уровень такой иерархии называют **эшелоном**.

# Модели многоуровневых иерархических структур



# Модели многоуровневых иерархических структур

Наиболее характерный пример систем подобного типа — **организационная система управления предприятием.**

Во главе находится первый руководитель (директор), координирующий принятие решений менеджерами среднего звена, отвечающими за различные сферы управления (снабжение, сбыт, производство, финансы и т. д.).

В свою очередь, менеджеры среднего звена координируют деятельность менеджеров нижнего звена, управляющих группами исполнителей (бригадами, участками, лабораториями и др.).

Исполнители непосредственно реализуют технологические процессы предприятия.

# Модели многоуровневых иерархических структур

Отличительной особенностью многоуровневых эшелонных систем является то, что элементы верхнего уровня хотя и обуславливают целенаправленную деятельность элементов нижних уровней, но не полностью управляют ею. **Принимающим решения элементам предоставлена некоторая свобода в выборе их собственных решений**, т. е. происходит распределение усилий по принятию решений между элементами различных уровней.

Система может иметь одну общую цель, однако у принимающих решения элементов могут быть и свои собственные цели. Эти цели могут конфликтовать друг с другом. В этом случае конфликт разрешается путем вмешательства элемента более высокого уровня. **Согласование противоречивых целей является основной проблемой в управлении организационными системами.**



# Модели многоуровневых иерархических структур

## Классы

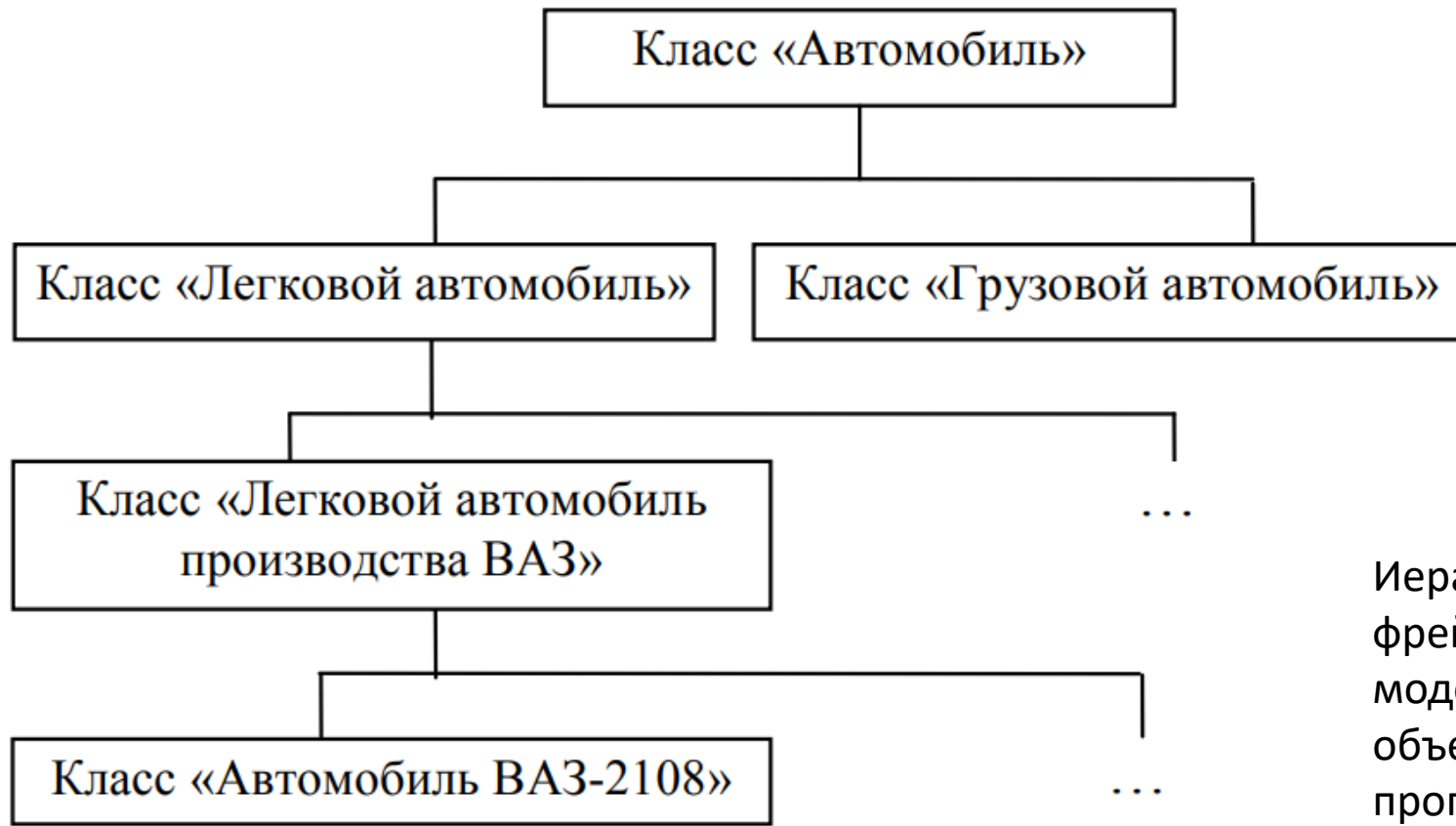
Данный вид иерархии используется для классификации понятий, относящихся к некоторой предметной области. Элементами иерархии являются классы понятий, связанные отношениями **«общее – частное»**.

На верхнем уровне располагается наиболее абстрактное, общее по отношению к другим классам понятие.

Класс понятий, лежащий ниже по иерархии, включает в себя декомпозируемый класс (все его свойства), добавляя к нему некоторые дополнительные свойства, т. е. уточняя его, конкретизируя.

Перенос свойств классов понятий на подклассы называют наследованием по аналогии наследованием ребенком черт своих родителей.

# Модели многоуровневых иерархических структур



Иерархии классов широко используются во фреймовой и объектно-ориентированной модели представления знаний, а также в объектно-ориентированном программировании.

# Содержание

- 1. Понятие «модель системы»**
- 2. Базовые модели системы**
- 3. Модели многоуровневых иерархических структур**
- 4. Закономерности систем**

# Закономерности систем

**Общесистемные закономерности** можно обнаружить в каждой системе, они реализуются в каждой системе в индивидуальной форме, специфической для этой конкретной системы.

Выделим 4 группы закономерностей:

- Закономерности взаимодействия части и целого
- Закономерности иерархической упорядоченности
- Закономерности развития
- Закономерности осуществимости.

# Закономерности взаимодействия части и целого

**Целостность.** Закономерность *целостности* (эмерджентность) проявляется в системе в возникновении у нее *«новых интегративных качеств, несвойственных ее компонентам»*.

Для того чтобы понять закономерность целостности, необходимо прежде всего учитывать две ее стороны:

- 1) свойство системы (целого) не является простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей);
- 2) свойство системы (целого) зависит от свойств составляющих ее элементов (частей).

Кроме того, при объединении в систему элементы теряют часть своих свойств, но могут приобрести и новые.

Свойство целостности связано с целью, для выполнения которой создается система. При этом если цель явно не задана, а у объекта есть целостные свойства, можно определить цель или выражение, связывающие цель со средствами ее достижения (целевую функцию, системообразующий критерий), путем изучения причин появления закономерности целостности.

# Закономерности взаимодействия части и целого

*Интегративность.* Иногда используется как синоним целостности.

Чаще всего целостность понимают как то, что позволяет отличить систему от остального (внешнего).

Интегративность же связана с более глубокими – системообразующими, системосохраняющими факторами, которые обеспечивают целостность системы.

В частности, важную роль выполняют неоднородность и противоречивость частей системы и их стремление вступить в коалицию

# Закономерности иерархической упорядоченности систем

Характеризуют отношения системы со средой.

***Коммуникативность.*** Система не изолирована от других систем, она связана множеством *коммуникаций* со средой, представляющей собой, в свою очередь, сложное и неоднородное образование, содержащее *надсистему* (систему более высокого порядка, задающую требования и ограничения исследуемой системе), подсистемы (нижележащие, подведомственные системы) и *систему одного уровня с рассматриваемой*.

# Закономерности иерархической упорядоченности систем

## *Иерархичность или иерархическая упорядоченность.*

1. В силу закономерности коммуникативности, которая проявляется не только между выделенной системой и ее окружением, но и между уровнями иерархии исследуемой системы, каждый уровень иерархической упорядоченности имеет сложные взаимоотношения с вышестоящим и нижележащим уровнями.
2. Важнейшая особенность иерархической упорядоченности как закономерности заключается в том, что закономерность целостности/эмерджентности (т.е. качественные изменения свойств компонентов более высокого уровня по сравнению с объединяемыми компонентами нижележащего) проявляется в ней на каждом уровне иерархии. При этом объединение элементов в каждом узле иерархической структуры приводит не только к появлению новых свойств у узла и утрате объединяемыми компонентами свободы проявления некоторых своих свойств, но и к тому, что каждый подчиненный член иерархии приобретает новые свойства, отсутствовавшие у него в изолированном состоянии.
3. При использовании иерархических представлений в качестве средства исследования систем с неопределенностью, происходит как бы «расчленение» «большой» неопределенности на более «мелкие», лучше поддающиеся исследованию.



# Закономерности развития систем

## *Историчность.*

Любая система не может быть неизменной, она не только возникает, функционирует, развивается, но и погибает.

Но для конкретных случаев развития организационных систем и сложных технических комплексов всегда трудно определить эти периоды.

Закономерность историчности можно учитывать, не только пассивно фиксируя старение, но и реконструируя систему для сохранения ее в новом качестве.

# Закономерности развития систем

## *Закономерность самоорганизации.*

Основная особенность самоорганизующихся систем с активными элементами – это способность противостоять энтропийным тенденциям, способность адаптироваться к изменяющимся условиям, преобразуя при необходимости свою структуру.

С другой стороны, в любой реально развивающейся системе существует не одна, а две тенденции: одна – стремления к возрастанию энтропии, вторая – негэнтропийная тенденция, лежащая в основе эволюции.

# Закономерности осуществимости систем

## *Эквифинальность.*

Эта закономерность характеризует как бы предельные возможности системы.

Эквифинальность это «способность, в отличие от состояния равновесия в закрытых системах, полностью детерминированных начальными условиями, ... достигать независящего от времени состояния, которое не зависит от ее начальных условий и определяется исключительно параметрами системы». (Берталанфи)

*Некое конечное состояние открытой системы не зависит от ее исходного состояния и определяется особенностями протекающих внутри нее процессов и характером ее взаимодействия со средой.*

*«Мы рождаемся равными, но не одинаковыми».*

Для открытых систем всегда существует не один, а несколько способов достижения одного и того же результата, одного и того же состояния.

Эквифинальность — динамическое свойство системы, осуществляющей движение (переход) различными путями из различных начальных состояний в одно и то же финальное состояние. Эквифинальностью обладают биологические, экономические, социальные и многие сложные технические системы, порядок смены состояний у которых не задан единственным способом.

# Закономерности осуществимости систем

## *Необходимость разнообразия.*

У.Р. Эшби сформулировал закон «необходимого разнообразия», который учитывает предельную осуществимость системы при ее создании.

Для задач принятия решений поясним одно из важных следствий этого закона на простом примере. Когда исследователь (лицо принимающее решение (ЛПР), наблюдатель N) сталкивается с проблемой D, решение которой для него неочевидно, то имеет место некоторое разнообразие возможных решений  $V_D$ . Этому разнообразию противостоит разнообразие мыслей исследователя (наблюдателя)  $V_N$ . Задача исследователя заключается в том, чтобы свести разнообразие  $V_D - V_N$  к минимуму, в идеале  $(V_D - V_N) \rightarrow 0$ .

# Закономерности осуществимости систем

## *Необходимость разнообразия.*

Для систем с управлением закон «необходимого разнообразия» может быть сформулирован следующим образом: разнообразие управляющей системы (системы управления)  $V_{su}$  должно быть больше разнообразия управляемого объекта  $V_{ou}$ :  $V_{su} > V_{ou}$ . Использование этого закона при разработке и совершенствовании систем управления предприятиями и организациями помогает определить причины проявляющихся в них недостатков и пути повышения эффективности управления.

# Закономерности целеобразования: возникновения и формулирования целей

*Зависимость представления о цели и формулировки цели от стадии познания объекта (процесса) и от времени.*

Анализ определений понятия «цель» позволяет сделать вывод о том, что, формулируя цель, нужно стремиться отразить в формулировке или в способе представления цели основное противоречие: ее активную роль в познании, управлении и в то же время необходимость сделать ее реалистичной, направить с ее помощью деятельность на получение определенного полезного результата. По мере развития представления о нем цель может переформулироваться.

.

# Закономерности целеобразования: возникновения и формулирования целей

## *Зависимость цели от внешних и внутренних факторов.*

При анализе причин возникновения и формулирования целей нужно учитывать, что на цель влияют как внешние по отношению к системе факторы (внешние требования, потребности, мотивы, программы), так и внутренние факторы (потребности, мотивы, программы самой системы и ее элементов, исполнителей цели); при этом последние являются такими же объективно влияющими на процесс целеобразования факторами, как и внешние (особенно при использовании в системах управления понятия цели как средства побуждения к действию).

.

# Закономерности целеобразования: возникновения и формулирования целей

*Возможность (и необходимость) сведения задачи формирования обобщенной цели к задаче ее структуризации.*

Цель первоначально возникает как некоторая «размытая» область, образ, область цели.

Задача формирования обобщенной цели в сложных системах должна сводиться к структуризации или декомпозиции цели для детализации в виде неупорядоченного или упорядоченного набора подцелей.

.



# Закономерности целеобразования: формирования структур

*Зависимость способа представления целей от стадии познания объекта.*

Цели могут представляться в форме различных структур:

- с помощью сетевых графиков (декомпозиция во времени);
- в виде иерархий различного вида (декомпозиция в пространстве);
- в матричной (табличной) форме.

На начальных этапах моделирования системы удобнее применять декомпозицию в пространстве и предпочтительнее древовидные иерархические структуры.

# Закономерности целеобразования: формирования структур

*Проявление в структуре целей закономерности целостности.*

В иерархической структуре закономерность целостности (эмерджентности) проявляется на любом уровне иерархии. Применительно к структуре целей это означает, что, с одной стороны, достижение цели вышестоящего уровня не может быть полностью обеспечено достижением подчиненных ей подцелей, хотя и зависит от них, а с другой стороны, потребности, программы нужно исследовать на каждом уровне структуризации, и получаемые разными ЛПР расчленения подцелей в силу различного раскрытия неопределенности могут оказаться разными.

.

# Закономерности целеобразования: формирования структур

*Закономерности формирования иерархических структур целей.*

Наиболее распространенным способом представления целей в системах (особенно в организационном управлении) являются древовидные иерархические структуры («деревья целей»).

Поэтому рассмотрим основные рекомендации по их формированию.

Можно рассматривать два подхода:

- а) формирование структур «сверху» – метод структуризации, декомпозиции, целевой подход;
- б) формирование структур «снизу» – морфологический, лингвистический подход.

# СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Основы теории систем и системного анализа: Учебное пособие / Силич М. П., Силич В. А. - 2013. 342 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/5452> , дата обращения: 01.09.2020.
- Корилов А.М. Теория систем и системный анализ: учебн. пособие. – / А.М. Корилов, С.Н. Павлов. – Томск: ТУСУР, 2007.- 344 с.