

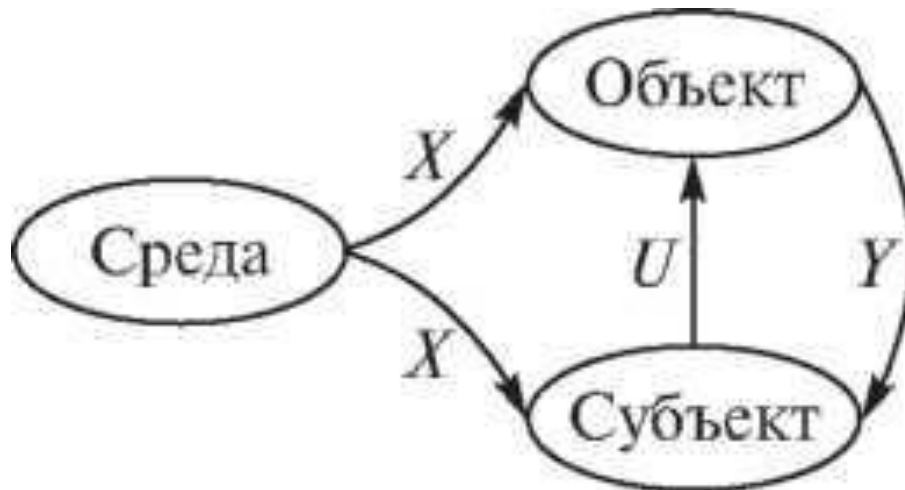
# **Основные понятия теории систем**

# Понятия «управление» и «система управления»

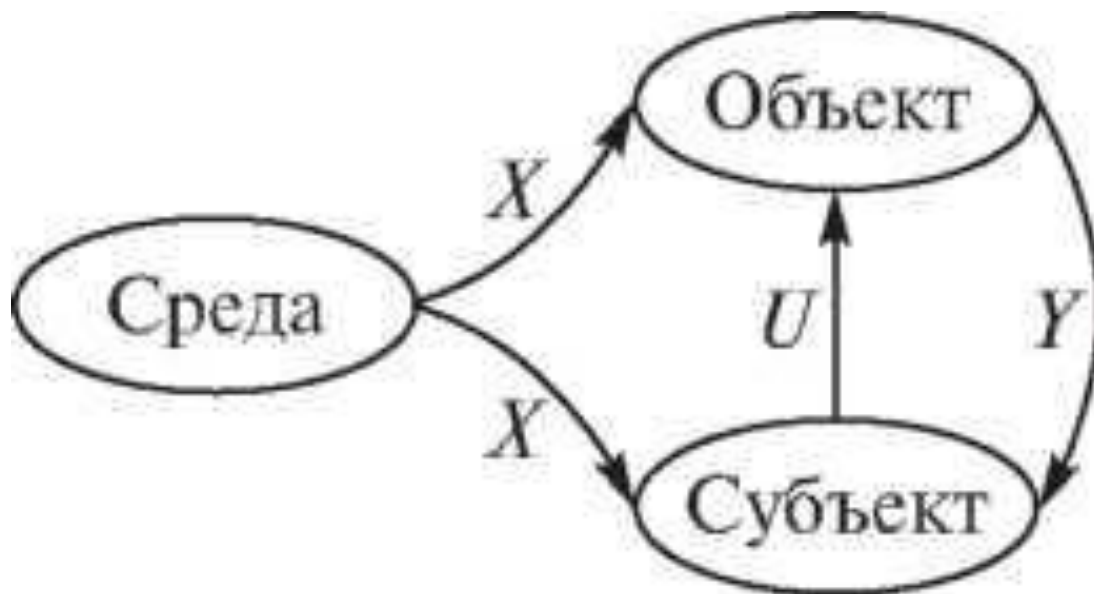
Центральным понятием информатики— является понятие «управление».

**Управление** — в широком смысле — это обобщение приемов и методов, накопленных разными науками об управлении искусственными объектами и живыми организмами. Язык управления — это использование понятий «объект», «среда», «обратная связь», «алгоритм» и т. д. (управление как процесс).

Под **управлением** будем понимать процесс организации такого целенаправленного воздействия на некоторую часть среды, называемую объектом управления, в результате которого **удовлетворяются потребности субъекта**, взаимодействующего с этим объектом. Анализ управления позволяет выделить триаду — **среду, объект и субъект**, — внутри которой разыгрывается процесс управления



В данном случае **субъект** ощущает на себе воздействие среды  $X$  и объекта  $Y$ . Если состояние среды  $X$  он изменить не может, то состоянием объекта  $Y$  он может управлять с помощью специально организованного воздействия  $U$ . Это и есть управление.



Состояние объекта  $Y$  влияет на состояние потребностей субъекта. Потребности субъекта  $A = (\alpha_{lv}, \dots, \alpha_{fc})$ , где  $\alpha_i$  — состояние  $i$ -й потребности субъекта, которая выражается неотрицательным числом, характеризующим насущность, актуальность этой потребности. Свое поведение субъект строит так, чтобы минимизировать насущность своих потребностей, т. е. решает задачу многокритериальной оптимизации:

$$\alpha_i(X, U) \rightarrow \min_{r \in R} (i = 1, k), \quad (*)$$

где  $R$  — ресурсы субъекта.

Эта зависимость выражает неизвестную, но существующую связь потребностей с состоянием среды  $X$  и поведением  $U$  субъекта.

Пусть  $U_x^*$  — решение задачи (\*), т. е. оптимальное поведение субъекта, минимизирующее его потребности  $A$ . Способ решения задачи (\*), позволяющий определить  $U_x^*$ , называется **алгоритмом управления**.

$$U_x^* = \varphi(A_t, X),$$

где  $\varphi$  — алгоритм, позволяющий синтезировать управление по состоянию среды  $X$  и потребностей  $A_t$ . **Потребности субъекта изменяются не только под влиянием среды или объекта, но и самостоятельно, отражая жизнедеятельность субъекта во времени, что отмечается индексом  $t$ .**

Алгоритм правления  $\varphi$ , которым располагает субъект, и определяет эффективность его о функционирования в данной среде. Алгоритм имеет рекуррентный характер:

$$U_{N+1} = \varphi(U_N, A_t, X),$$

т. е. позволяет на каждом шаге улучшать управление. Например, в смысле

$$A_t(X, U_{N+1}) < A_t(X, U_N),$$

т. е. уменьшения уровня своих потребностей.

Процесс правления как организация целенаправленного воздействия на объект может реализовываться как на интуитивном, так и на осознанном уровне. Первый используют животные, второй — человек. Осознанное удовлетворение потребностей заставляет декомпозировать алгоритм управления и вводить промежуточную стадию — формулировку цели управления, т. е. действовать по двухэтапной схеме:

$$\underbrace{A_t \rightarrow Z^*}_{1} \rightarrow \underbrace{Z^* \rightarrow U^*}_{2} .$$



На первом этапе определяется цель управления  $Z^*$ , причем задача решается на **ИНТУИТИВНОМ** уровне:

$$Z^* = \varphi_1(X, A_t),$$

где  $\varphi_1$  — алгоритм синтеза цели  $Z^*$  по потребностям  $A_t$  и состоянию среды  $X$ . На втором этапе определяется правление  $U^*$ , реализация которого обеспечивает достижение цели  $Z^*$ , сформулированной на первой стадии, что и приводит удовлетворению потребностей субъекта.

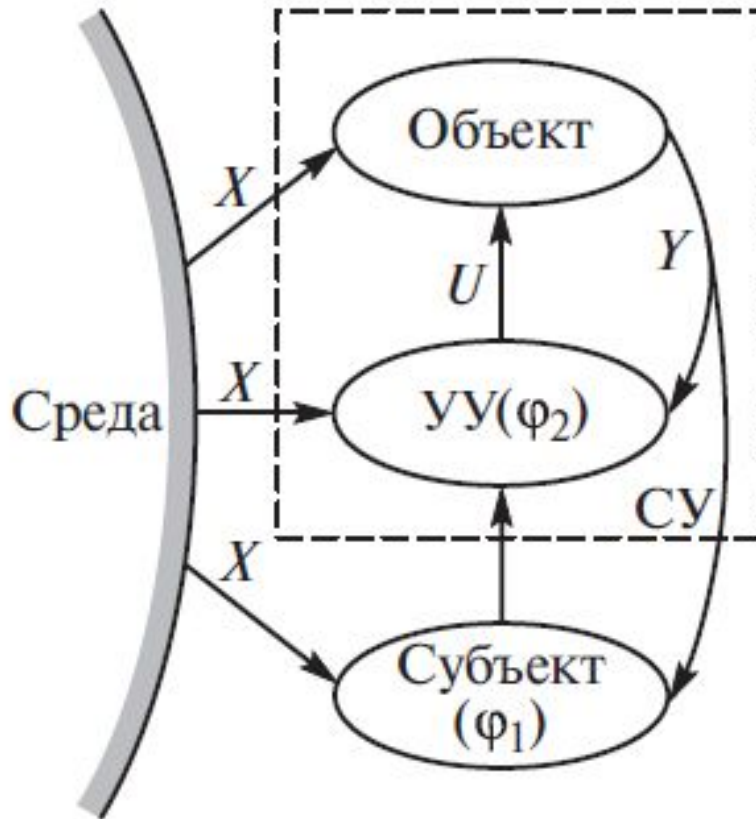
Именно на этой стадии может быть использована вся мощь формального аппарата, с помощью которого по цели  $Z^*$  синтезируется управление

$$U_x^* = \varphi_2(Z^*, X),$$

где  $\varphi_2$  — алгоритм правления. Этот алгоритм и есть предмет изучения информатики как науки.

Таким образом, разделение процесса управления на два этапа отражает известные стороны науки — **неформальный, интуитивный, экспертный** и **формальный, алгоритмизируемый**. Если первый этап пока полностью принадлежит человеку, то второй является объектом приложения формальных подходов. Естественно, что эти различные функции выполняются разными структурными элементами. Первую функцию  $\varphi_1$  выполняет субъект, а вторую  $\varphi_2$  — управляющее устройство (УУ).

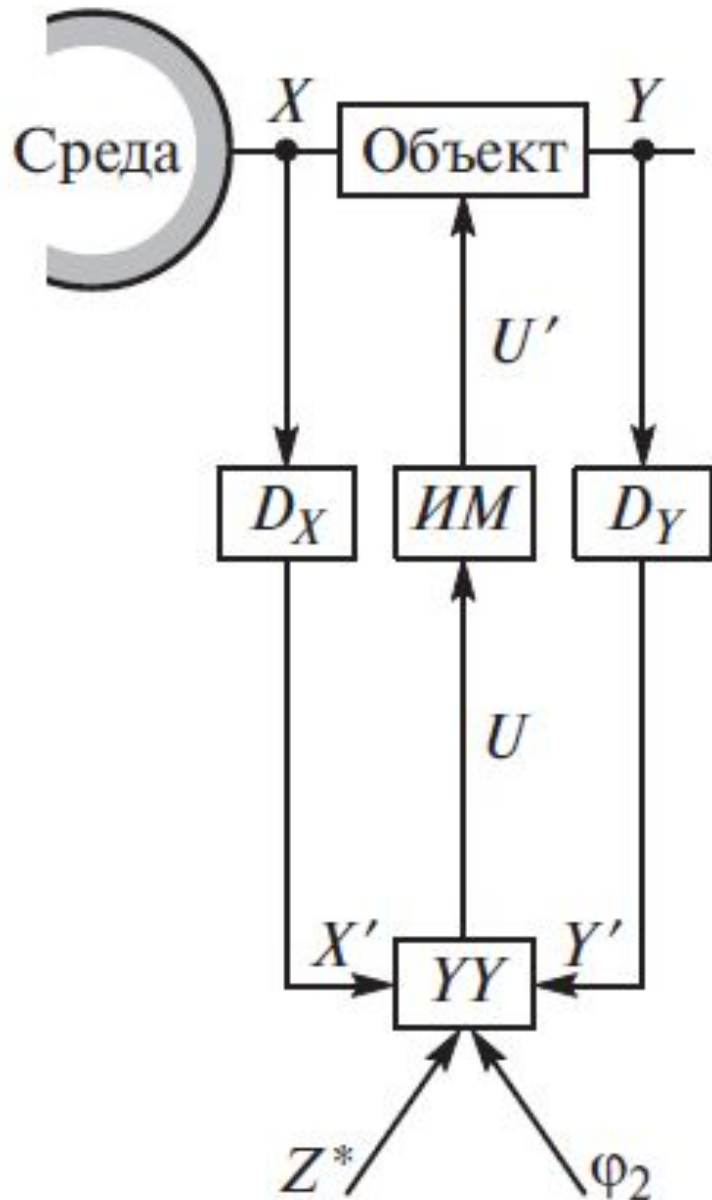
# Взаимодействие элементов системы управления



Штриховой линией выделена система управления (СУ), выполняющая функцию реализации целей управления  $Z^*$ , формируемых субъектом.

СУ – система управления  
УУ- устройство управления

# Системы управления и сложный объект управления



Здесь  $D_x$  и  $D_y$  — датчики, измеряющие состояние среды и объекта соответственно. Результаты измерений  $X' = D_x(X)$  и  $Y' = D_y(Y)$  образуют исходную информацию для  $YU$ , которое на этой основе вырабатывает команду управления  $U$ , являющуюся лишь информацией о том, в какое положение должны быть приведены управляемые входы объекта. Следовательно, управление  $U$  есть результат работы алгоритма.

**ИМ** –исполнительный механизм

Следовательно, управление  $U$  есть результат работы алгоритма

$$U = \varphi_2(J, Z^*).$$

Управление в широком смысле образуется четверкой

$$\{Z^*, J, U, \varphi_2\}.$$

Пример. Управление в технических и организационных системах.

$J$  – исходная информация для УУ (УУ на основе этого вырабатывает команду управления  $U$ ) ( $J = \{X', Y'\}$ )

$U$  – информация о необходимом положении управляемые входы объекта.

# Управление — целенаправленная организация того или иного процесса, протекающего в системе

Примеры.

В общем случае процесс управления состоит из следующих четырех этапов:

- получение информации о задачах управления ( $Z^*$ );
- получение информации о результатах управления (т.е. о поведении объекта управления  $Y'$ );
- **анализ полученной информации** и выработка решения ( $J = \{X', Y'\}$ );
- исполнение решения (т. е. осуществление управляющих воздействий  $U'$ ).

## **Процесс управления — это информационный процесс**

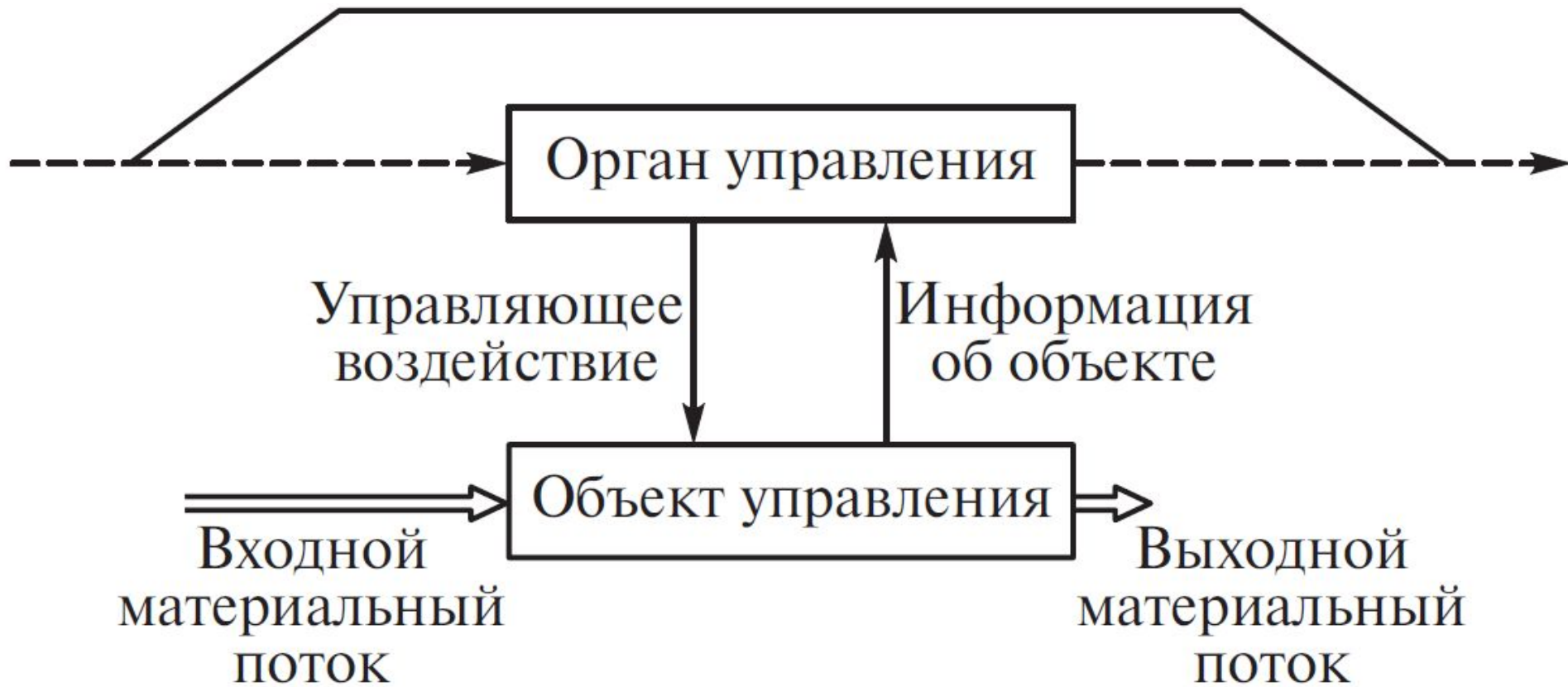
**Процесс правления — это информационный процесс, заключающийся в сборе информации о ходе процесса, передаче ее в пункты накопления и переработки, анализе поступающей, накопленной и справочной информации, принятии решения на основе выполненного анализа, выработке соответствующего управляющего воздействия и доведении его до объекта управления.**

**Каждая фаза процесса правления протекает во взаимодействии с окружающей средой при воздействии различного рода помех.**

**Цели, принципы и границы управления зависят от сущности решаемой задачи.**



# Процесс правления — это информационный процесс



# Модель человеко – машинного взаимодействия

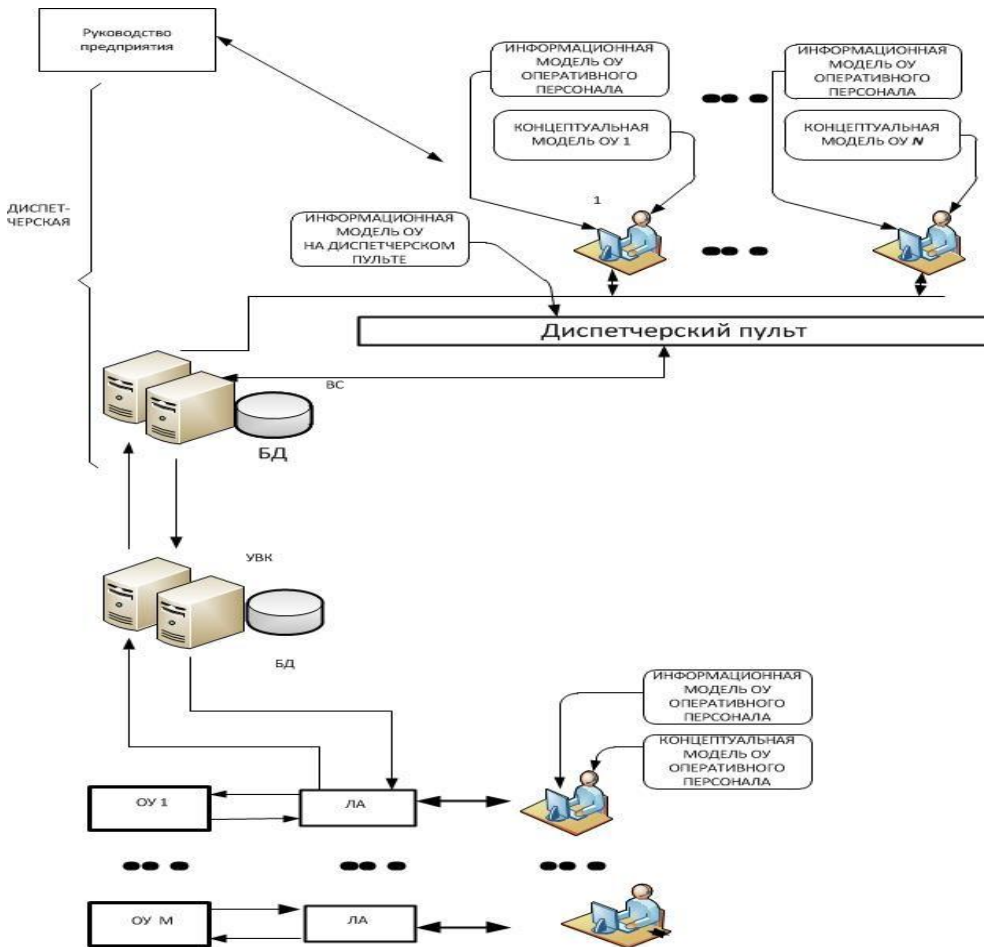


Рис. 1.1. Модель человеко-машинного взаимодействия

ОУ - объект управления;

ЛА - локальная автоматика;

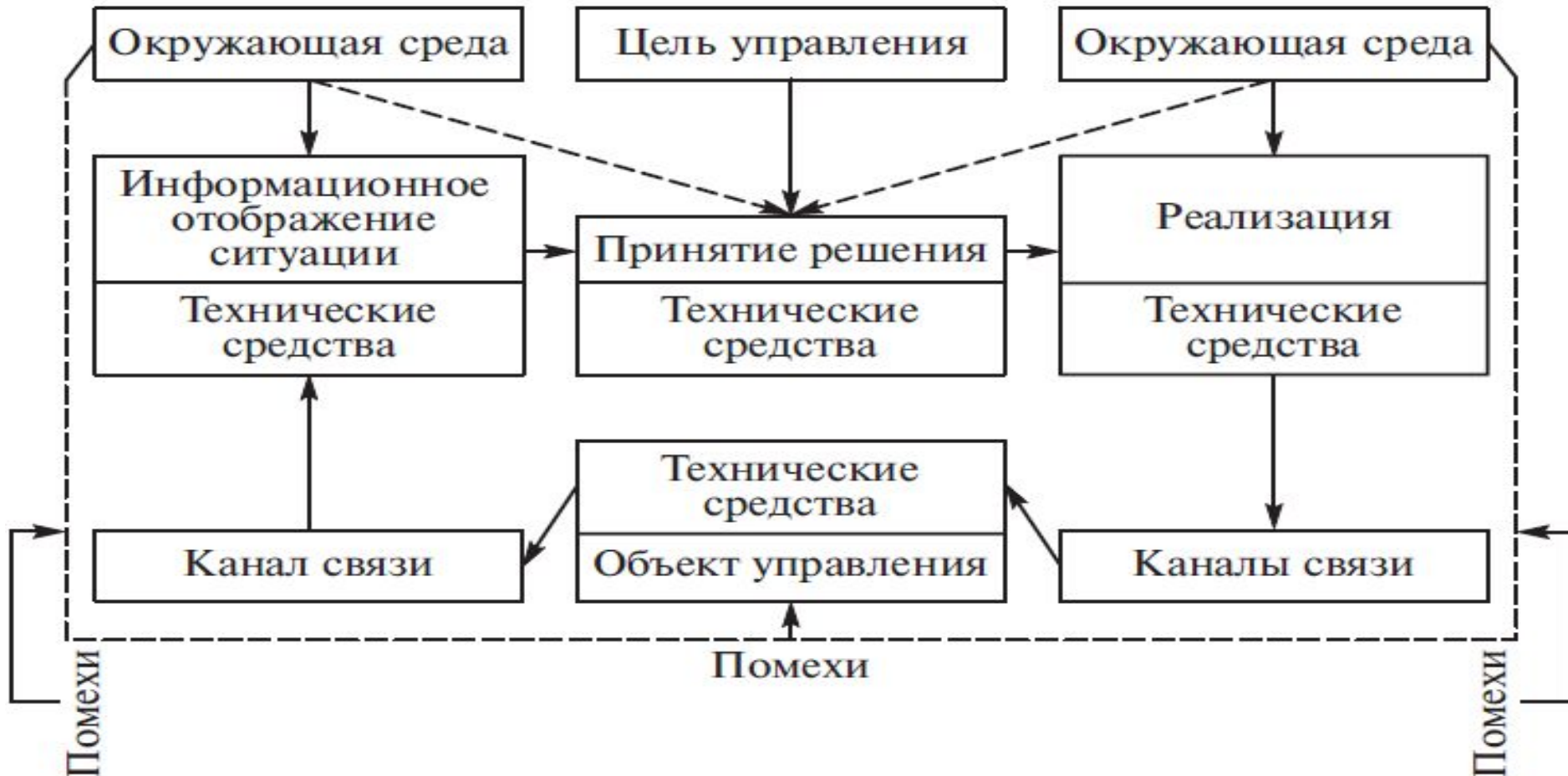
УВК - управляющий вычислительный комплекс;

ВС - вычислительная система;

БД - базы данных

# Система управления (СУ)

**Система управления** — совокупность взаимодействующих между собой объекта управления и органа управления, деятельность которых направлена на достижение заданной цели управления.



## Задачи, решаемые СУ

В СУ решаются четыре основные задачи правления: **стабилизация, выполнение программы, слежение, оптимизация.**

**Задачами стабилизации системы** являются задачи поддержания ее **выходных величин вблизи некоторых неизменных заданных значений**, несмотря на действие помех. Например, стабилизация напряжения  $U$  и частоты  $f$  тока в сети вне зависимости от изменения потребления энергии.

**Задача выполнения программы** возникает в случаях, когда заданные значения управляемых величин изменяются во времени заранее известным образом. Например, полет ракеты, выполнение работ по заранее намеченному графику.

## Задачи, решаемые СУ. Продолжение.

**Задача слежения.** В тех случаях, когда изменение заданных значений управляемых величин **заранее неизвестно** и, когда эти величины должны изменяться в зависимости от значений других величин, возникает **задача слежения**, т. е. а можно более точно о соблюдении соответствия между текущим состоянием данной системы и состоянием другой системы. Например, правление производством в условиях изменения спроса, слежение за целью (например, самолетом, кораблем, космическим объектом).

## **Задачи, решаемые СУ. Продолжение.**

**Системы оптимального управления.** В системах оптимального управления требуется наилучшим образом выполнить поставленную перед системой задачу при заданных реальных условиях и ограничениях. **Понятие оптимальности должно быть конкретизировано для каждого отдельного случая.**

## Решение о создании СУ

Прежде, чем принимать решение о создании СУ, необходимо рассмотреть все его этапы, независимо от того, с помощью каких технических средств они будут реализованы. Такой алгоритмический анализ управления является основой для принятия решения о создании СУ и степени ее автоматизации. При этом **анализе** следует обязательно учитывать фактор сложности объекта управления:

- **отсутствие математического описания системы;**
- **стохастичность поведения;**
- **негативность управлению;**
- **нестационарность, дрейф характеристик;**
- **невоспроизводимость экспериментов** (развивающаяся система все время как бы перестает быть сама собой, что предъявляет специальные требования к синтезу и коррекции модели объекта управления).

# Автоматическое и автоматизированное управление

Системы управления делятся на два больших класса: системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные системы управления (АСУ). В САУ управление объектом или системой осуществляется без непосредственного участия человека автоматическими устройствами. Это замкнутые системы. **Основные функции САУ: автоматический контроль и измерения, автоматическая сигнализация, автоматическая защита, автоматические пуск и остановка различных двигателей и приводов, автоматическое поддержание заданных режимов работы оборудования, автоматическое регулирование.**



В соответствии с общепринятым представлением под АСУ понимается «человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления в любых сферах человеческой деятельности». В определении особо следует выделить понятие «человеко-машинная система». В САУ функции человека сводятся к **разработке, отладке и контролю работы системы**. Само же управление осуществляется без участия человека.

В АСУ наличие человека (коллектива людей) в контуре управления является принципиальным. Человек (коллектив людей) является главным определяющим звеном системы управления, поскольку он принимает решения и несет за них всю ответственность — в этом принципиальная разница между автоматическими и автоматизированными системами.

## Терминология теории автоматизированного управления

Определение понятия «система». В настоящее время нет единства в определении понятия «система». В первых определениях в той или иной форме говорилось о том, что система — это элементы и связи (отношения) между ними. В качестве «рабочего» определения понятия системы в литературе по теории систем часто рассматривается следующее: **система — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство.**

## Элемент

**Элемент.** Под элементом принято понимать простейшую неделимую часть системы. Ответ на вопрос, что является такой частью, может быть неоднозначным и зависит от цели рассмотрения объекта как системы, от точки зрения на него или от аспекта его изучения. Таким образом, элемент — это **предел членения системы с точки зрения решения конкретной задачи и поставленной цели.** Систему можно расчленить на элементы различными способами в зависимости от формулировки цели и ее уточнения в процессе исследования.

## Подсистема

**Подсистема.** Система может быть разделена на элементы не сразу, а последовательным расчленением на подсистемы, которые представляют собой компоненты более крупные, чем элементы, и в то же время более детальные, чем система в целом. Возможность деления системы на подсистемы связана с вычленением совокупностей взаимосвязанных элементов, способных выполнять относительно независимые функции, подцели, направленные на достижение общей цели системы. Названием «подсистема» подчеркивается, что такая часть должна обладать свойствами системы (в частности, свойством **целостности**). Этим подсистема отличается от простой группы элементов, для которой **не сформулирована подцель и не выполняются свойства целостности** (для такой группы используется название «компоненты»). Например, подсистемы АСУ, подсистемы пассажирского транспорта крупного города.

# Структура

**Структура.** Это понятие происходит от латинского слова *structure*, означающего строение, расположение, порядок. Структура отражает наиболее существенные взаимоотношения между элементами и их группами (компонентами, подсистемами), которые мало меняются при изменениях в системе и обеспечивают существование системы и ее основных свойств. **Структура — это совокупность элементов и связей между ними. Структура может быть представлена графически, в виде теоретико-множественных описаний, матриц, графов и других языков моделирования структур.**

# Иерархии

Структуру часто представляют в виде **иерархии**. **Иерархия** — это упорядоченность компонентов по степени важности (многоступенчатость, служебная лестница). Между уровнями иерархической структуры могут существовать взаимоотношения строгого подчинения компонентов (узлов) нижележащего уровня одному из компонентов вышележащего уровня, т. е. отношения так называемого древовидного порядка. Такие иерархии называют сильными или иерархиями типа «дерево». Примеры иерархических структур: энергетические системы, АСУ, государственный аппарат.

# СВЯЗЬ

**СВЯЗЬ.** Понятие «связь» входит в любое определение системы наряду с понятием «элемент» и обеспечивает возникновение и сохранение структуры и целостных свойств системы. Это понятие характеризует одновременно и строение (статику), и функционирование (динамики) системы.

Связь характеризуется направлением, силой и характером (или видом). По первым двум признакам связи можно разделить на направленные и ненаправленные, сильные и слабые, а по характеру — на связи подчинения, генетические, равноправные (или безразличные), связи управления.



## Состояние

**Состояние.** Понятием «состояние» обычно характеризуют мгновенную фотографию, «срез» системы, остановку в ее развитии. Его определяют либо через входные воздействия и выходные сигналы (результаты), либо через макропараметры, макросвойства системы (например, давление, скорость, ускорение — для физических систем; производительность, себестоимость продукции, прибыль — для экономических систем).

## Состояние. Продолжение.

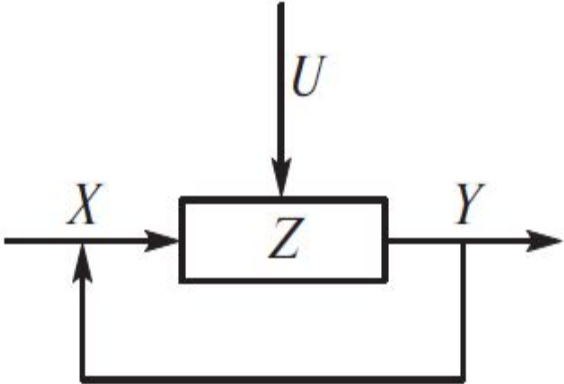
Более полно **состояние** можно определить, если рассмотреть **элементы** (или компоненты, функциональные блоки), определяющие состояние, учесть, что «входы» можно разделить на управляющие и возмущающие  **$x$**  (неконтролируемые) и что «выходы» (выходные результаты, сигналы) зависят от  **$\varepsilon$** ,  **$u$**  и  **$x$** , т. е.

$$z_t = f(\varepsilon_t, u_t, x_t).$$

Тогда в зависимости от задачи состояние может быть определено как  **$\{e, u\}$** ,  **$\{\varepsilon, u, z\}$**  или  **$\{e, x, u, z\}$** .

Таким образом, **состояние** — это **множество существенных свойств, которыми система обладает в данный момент времени.**

# Система как «черный ящик»

Представление системы	Обозначения
 <p data-bbox="330 943 683 993">Обратная связь</p>	<p data-bbox="987 654 1663 704"><math>X</math> — вектор входных сигналов</p> <p data-bbox="987 718 1696 768"><math>Y</math> — вектор выходных сигналов</p> <p data-bbox="987 782 1692 832"><math>Z</math> — вектор состояния системы</p> <p data-bbox="987 846 1789 896"><math>U</math> — вектор управляющих сигналов</p>

## Поведение

**Поведение.** Если система способна переходить из одного состояния в другое (например,  $z1 \rightarrow z2 \rightarrow z3$ ), то говорят, что она обладает поведением. Этим понятием пользуются, когда неизвестны закономерности переходов из одного состояния в другое. Тогда говорят, что система обладает каким-то поведением, и выясняют его о закономерности. С учетом введенных выше обозначений поведение можно представить а функцию

$$z_t = f(z_{t-1}, u_t, x_t).$$

# Внешняя среда

**Внешняя среда.** Под внешней средой понимается множество элементов, которые **не входят в систему**, но изменение их состояния вызывает изменение поведения системы.

# Модель

**Модель.** Под **моделью** системы понимается описание системы, отображающее определенную группу ее свойств. Углубление описания — детализация модели. Создание модели системы позволяет предсказывать ее поведение в определенном диапазоне условий.

# Модель функционирования

**Модель функционирования (поведения) системы** — это модель, предсказывающая изменение состояния системы во времени, например: натурные, электрические, машинные и другие модели.

# Равновесие

**Равновесие** — это способность системы в отсутствие внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранить свое состояние со временем.



# Устойчивость

Под **устойчивостью** понимается способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием внешних возмущающих воздействий. Эта способность обычно присуща системам при постоянном  $U_t$ , если только отклонения не превышают некоторого предела.

# Состояние равновесия

**Состояние** равновесия, в которое система способна возвращаться, по аналогии с техническими устройствами называют устойчивым состоянием равновесия.

Равновесие и устойчивость в экономических и организационных системах — гораздо более сложные понятия, чем в технике, и до недавнего времени ими пользовались только для некоторого предварительного описательного представления о системе.

# Развитие

Исследованию процесса развития, соотношения процессов развития и устойчивости, изучению механизмов, лежащих в их основе, уделяют в кибернетике и теории систем большое внимание. Понятие развития помогает объяснить сложные термодинамические и информационные процессы в природе и обществе.

# Цель

В практических применениях цель — это идеальное стремление, которое позволяет коллективу видеть перспективы или реальные возможности, обеспечивающие своевременность завершения очередного этапа на пути идеальным устремлениям. В настоящее время в связи с усилением программно-целевых принципов в планировании исследованию закономерностей целеобразования и представления целей в конкретных условиях уделяется все больше внимания. Например: энергетическая программа, продовольственная программа, жилищная программа, программа перехода рыночной экономике.

## Понятие большой системы

В зависимости от числа элементов, входящих в систему, выделяет четыре класса систем: малые системы ( $10 \dots 10^3$  элементов), сложные ( $10^4 \dots 10^7$  элементов), ультрасложные ( $10^7 \dots 10^{30}$  элементов), суперсистемы ( $10^{30} \dots 10^{200}$  элементов). Та а понятие элемента возникает относительно задачи и цели исследования системы, то и данное определение сложности является относительным, а не абсолютным.

В теории систем большой системой (сложной, системой большого масштаба, Large Scale Systems) называют систему, если она состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов и способна выполнять сложную функцию.

Простая система может находиться только в двух состояниях: состоянии работоспособности (исправном) и состоянии отказа (неисправном). При отказе элемента простая система либо полностью прекращает выполнение своей функции, либо продолжает ее выполнение в полном объеме, если отказавший элемент резервирован. Большая система при отказе отдельных элементов и даже целых подсистем не всегда теряет работоспособность, зачастую только снижаются характеристики ее эффективности. Это свойство больших систем обусловлено их функциональной избыточностью и, в свою очередь, затрудняет формулировку понятия «отказ» системы.

Под **большой системой** понимается совокупность материальных ресурсов, средств сбора, передачи и обработки информации, людей-операторов, занятых на обслуживании этих средств, и людей-руководителей, облеченных надлежащими правами и ответственностью за принятие решений. Материальные ресурсы — это сырье, материалы, полуфабрикаты, денежные средства, различные виды энергии, станки, оборудование, люди, занятые на выпуске продукции, и т. д.

Примеры больших систем: информационная система, пассажирский транспорт крупного города, производственный процесс, система управления полетом крупного аэродрома, энергетическая система и др.

# Этапы управления



# Этапы управление сложной системой



Рис. \*

# 1. Формирование целей

Множество целей правления, которое должно реализовываться СУ, определяется а внешними по отношению системе, так и внутренними факторами и, в частности, потребностями субъекта А. Сложность формализации учета влияния этих факторов на цели очевидна. Различают три вида целей: **стабилизация** — заключается в требовании поддерживать выходы объекта на заданном уровне; **ограничение** — требует нахождения в заданных границах целевых переменных  $Z_i^*$ ,  $i = 1, k$ ; **экстремальная цель** — сводится к поддержанию в экстремальном состоянии целевых переменных  $Z_i^*$

Цель — отвечает на вопрос «Чего нужно достигнуть?», а задача — на вопрос «Какими действиями этого можно достигнуть?». Цель в технике часто ошибочно идентифицируют с задачей. Например, «цель — строительство нового многоэтажного жилого дома». На самом деле, «строительство многоэтажного жилого дома» — задача, цель же — «повышение благосостояния отдельной категории граждан».

## **Пример. Целями создания автоматизированной системы учёта являются:**

Целями создания автоматизированной системы учёта являются:

- *повышение* точности учёта... [с <было> по <стало>];
- *снижение* затрат, связанных с...;
- *повышение* эффективности... + расшифровка, в чём заключается эффективность.

Задачи создания автоматизированной системы учёта:

- замена устаревших приборов учёта на приборы, отвечающие современным требованиям;
- автоматизация процесса измерения учитываемых физических величин;
- автоматизация процесса консолидации данных об измеренных величинах.

## 2. Определение объекта управления

Этот этап связан с выделением той части среды субъекта, состояние которой он может изменить и тем самым воздействовать на свои потребности. В ряде случаев, когда границы объекта очевидны, проблемы выделения объекта из среды не возникает. Это бывает, когда объект достаточно автономен (самолет, телефонная станция и т. д.). Однако в других случаях связи объекта со средой настолько сильны и разнообразны, что порой очень трудно понять, где кончается объект и начинается среда. Именно это и заставляет вводить специальный этап — определение объекта управления.

Объект должен быть в определенном смысле минимальным, т. е. иметь наименьший объем. Это необходимо с целью минимизации трудоемкости его изучения при синтезе модели. При этом существенным ограничением выступает достижимость множества целей управления  $\{Z^*\}$  в рамках выделенного для этого ресурса  $R$ . Это означает, что для любого состояния среды  $X$  должно найтись управление  $U^* \in R$ , с помощью которого можно добиться любой допустимой цели  $Z^* \in \{Z^*\}$ .

### 3. Структурный синтез модели

Последующие три этапа управления сложными системами связаны с решением задачи создания ее модели, которая нужна для синтеза управления  $U$ . Только с помощью модели объекта можно построить управление  $U^*$ , переводящее объект в требуемое (целевое) состояние  $Z^*$ .

Модель  $F$ , связывающая входы  $X$  и  $U$  с выходом  $Y$ , определяется структурой  $ST$  и параметрами  $C = \{c_1, \dots, c_k\}$ , т. е. представима в виде двойки  $F = \{ST, C\}$ .

На этом этапе определяется структура  $ST$ , т. е. модель объекта с точностью до значений ее параметров  $C$ . Этап структурного синтеза включает определение внешней структуры модели, декомпозицию модели, определение внутренней структуры элементов модели.



Синтез внешней структуры сводится к содержательному определению входов  $X$  и  $U$ , выхода  $Y$  без учета внутренней структуры объекта, т. е. объект рассматривается как некий «черный ящик» с  $n + q$  входами и  $m$  выходами. Декомпозиция модели заключается в том, чтобы, воспользовавшись априорными сведениями о структуре объекта, упростить задачу синтеза структуры модели. Синтез структуры модели сводится к определению вида оператора  $F$  модели объекта с точностью до параметров  $C$ .

Это значит, что параметры становятся переменными модели, т. е.

$$Y = F(X, U, C), \quad (*)$$

где  $F$  — оператор преобразования структуры  $ST$ , параметры которого для удобства внесены в переменные  $C$ . Представление оператора преобразования модели в виде (\*) можно назвать параметризацией модели, что эквивалентно заданию его структуры. При синтезе структуры моделей объектов управления могут применяться различные подходы — от классических методов ТАУ до современных методов имитационного моделирования (методы случайного поиска, статистических испытаний и др.),

## 4. Идентификация параметров модели объекта

Этот этап связан с определением числовых значений параметров  $S$  в режиме нормально о функционирования объекта. Делается это стандартными приемами идентификации. Для выяснения зависимости выхода объекта от управляемых входов  $U$  необходимо преднамеренно их изменять, т. е. экспериментировать с объектом. Однако сложная система «не любит» эксперименты, нарушающие режим ее нормально о функционирования. Поэтому эксперимент, которого нельзя избежать, следует проводить, минимально возмущая объект, но так, чтобы получить при этом максимальную информацию о влиянии варьируемых параметров на выход объекта.

## 5. Планирование эксперимента

На данном этапе главным является синтез плана эксперимента, позволяющего с максимальной эффективностью определить искомые параметры модели объекта управления. Для статического объекта этот план  $U$  представляет собой набор состояний управляемого выхода объекта

$\tilde{U} = \{U_1, \dots, U_N\}$ , а для динамического — план-функцию  $\tilde{U} = U(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ , т. е. программу изменения во времени входа объекта. Эксперимент на объекте дает возможность определить реакцию объекта на это воздействие. В статическом случае эта реакция имеет вид  $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ , где  $y_i = F^\circ(V_i)$ ,  $i = \overline{1 \dots N}$ , а в динамическом —  $\tilde{y}(t) = F^\circ[U(t)]$ .

Полученная информация и является исходной для определения параметров модели  $F: Y = F(U, C)$ , что осуществляется методами идентификации.

План эксперимента  $\tilde{U}$  определяется:

- структурой  $ST$  модели  $F$ ,
- ресурсом планирования  $R$ , который образуется выделяемыми на эксперимент средствами, областью планирования, определяющей пределы изменения входа  $U$ ;
- критерием планирования, который определяет эффективность плана  $\tilde{U}$ .

## 6. Синтез управления

На этом этапе принимается решение о том, каково должно быть управление  $U$ , чтобы достигнуть заданной цели управления  $Z^*$  в объекте. Это решение опирается на имеющуюся модель объекта  $F$ , заданную цель  $Z^*$ , полученную информацию о состоянии среды  $X$  и выделенный ресурс управления  $R$ , который представляет собой ограничения, накладываемые на управление  $U$  в связи со спецификой объекта и возможностями СУ. Достижение цели  $Z^*$  возможно соответствующим выбором управления  $U$  (состояние среды  $X$  изменяется независимо от нас).

Это приводит к экстремальной задаче

$$Q(X, Y) \Rightarrow \min_{V \in \Omega} \Rightarrow U^*,$$

решение которой  $U^*$  является оптимальным управлением. Способы решения задачи существенно зависят от структуры модели объекта  $F$ . Если объект статический, т. е.  $F$  — функция, то получаем задачу математического программирования, если же динамический, т. е.  $F$  — оператор, то решают вариационную задачу.

## 7. Реализация правления

Реализация правления или отработка в объекте оптимального решения  $U^*$ , полученного на предыдущем этапе. Реализовав управление и убедившись, что цель управления не достигнута, возвращаются к одному из предыдущих этапов. Даже в лучшем случае, когда поставленная цель достигнута, необходимость обращения к предыдущему этапу вызывается изменением состояния среды  $X$  или сменой цели управления  $Z^*$ .

Таким образом, при благоприятном стечении обстоятельств обращаются к этапу синтеза управления (стрелка  $a$  на рис. \*), где определяется новое состояние, которое отражает новую ситуацию, сложившуюся в среде. Так функционирует стандартный контур управления простым объектом.



## 8. Адаптация

Специфика управления сложной системой состоит в том, что благодаря зашумленности и нестационарности, информация, полученная на предыдущих этапах, приближенно отражает состояние системы лишь в предыдущие моменты времени. Это и вызывает необходимость коррекции. Коррекция может затрагивать различные этапы.

Простейшая коррекция связана с подстройкой параметров модели  $S$  (стрелка  $s$ , рис. \*). Такого рода коррекцию называют адаптацией модели, а управление — адаптивным управлением.

Если управление  $U$  не обеспечивает необходимого разнообразия входа объекта для эффективной коррекции параметров модели, то приходится принимать специальные меры планирования эксперимента путем добавления специальных тестовых сигналов (стрелка  $b$ , рис. \*). Такое управление называют дуальным.



Однако одной коррекции параметров модели может оказаться недостаточно, если изменилась ее структура. Поэтому время от времени необходима коррекция структуры модели, т. е. приведение ее в соответствие с новой информацией (стрелка *d*, рис. \*).



Далее коррекция может коснуться самого объекта, точнее, границы разделения объекта и среды. Это бывает необходимо при значительном изменении (эволюции) объекта и окружающей ее среды (стрелка *e*, рис.\*). И, наконец, созданная СУ по ряду причин может не реализовать все множество целей управления, в результате необходима адаптация целей (стрелка *g*, рис. \*).



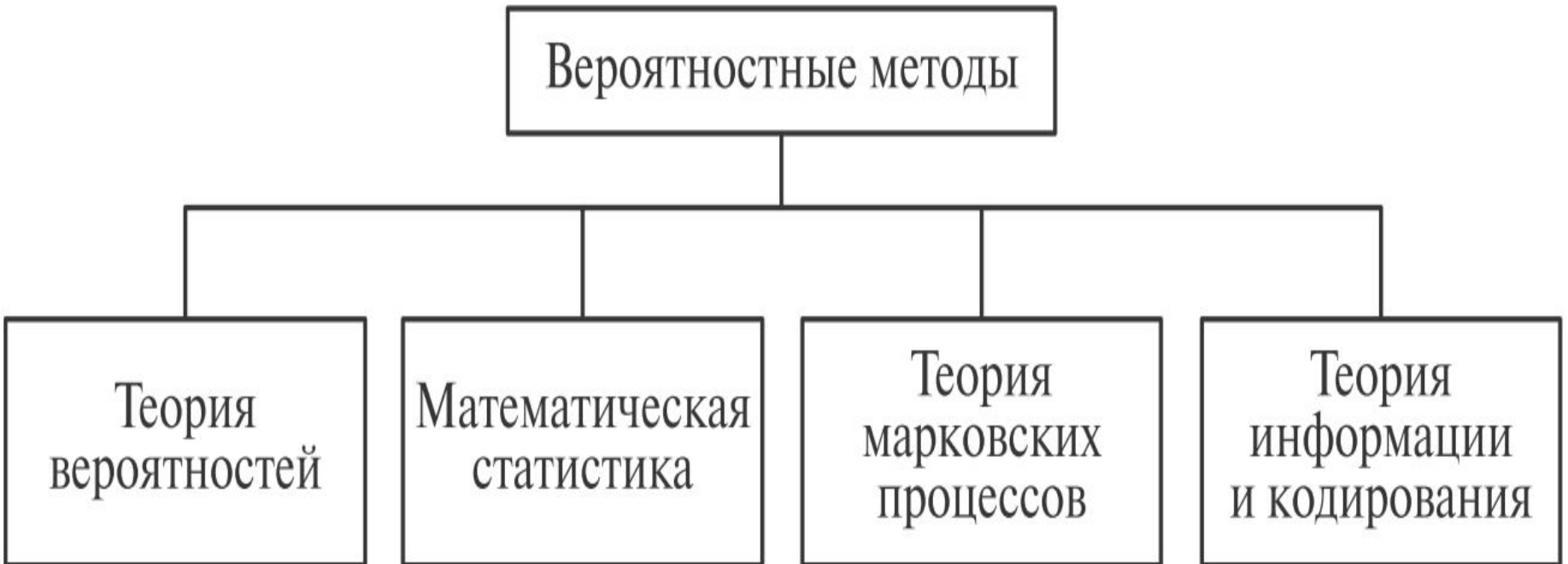
В ряде случаев некоторые из них выпадают. Например, объект управления может быть выделен из среды и тогда нет необходимости в этапе планирования эксперимента, так как модель объекта проста и все ее параметры можно определить без специально организованно о эксперимента.

# **Объект и предмет теории автоматизированного управления**

Объектом любой теории является то, на что она направлена, т. е. что является ее содержанием. В этом смысле объектом теории автоматизированного управления является процесс управления в организационно-экономических и технических системах.

Предметом теории является аппарат, с помощью которого производятся исследования объекта данной теории. Предметом теории могут быть математические методы и модели, виды моделирования, технические средства. Так как в основе исследования большинства **сложных систем** лежат вероятностные методы (теория вероятности, математической статистике и теории марковских процессов).

# Вероятностные методы





# Оптимальные методы обработки, передачи, преобразования и

## защиты информации

Оптимальные методы обработки, передачи, преобразования и защиты информации существенным образом зависят от способов ее кодирования, которым уделяется большое внимание в этом разделе. Для построения оптимальных систем управления необходимо иметь в наличии математический аппарат для отыскания оптимальных законов управления. В зависимости от специфики системы управления могут применяться различные методы оптимизации: от классических методов Эйлера — Лагранжа, динамического программирования и принципа максимума Понтрягина до методов математического программирования. При этом рассматриваются непрерывные и дискретные, детерминированные и вероятностные варианты этих методов.

Очень часто для отыскания оптимального управления приходится решать численными методами дифференциальные, интегральные или разностные уравнения, которые составляют в настоящее время самостоятельный большой раздел прикладной математики.

Вторая группа объединяет кибернетические модели объектов, поведение которых описывается дифференциальными или разностными уравнениями. Большинство методов исследования таких систем излагается в работах по системам автоматического регулирования и управления. Для этих методов характерно рассмотрение процессов во времени, поэтому такие модели могут быть названы динамическими системами.

Третью группу моделей управления составляют дискретные модели. Эти модели применяются и для исследования процессов управления, протекающих во времени, но в основном в них время не используется. Например, требуется с помощью вычислительных машин раскроить листовое железо для обшивки корабля наилучшим образом с точки зрения расхода материала, причем время, в течение которого производится раскрой, не имеет особого значения. Здесь с успехом применяются как детерминированные, так и вероятностные методы расчета.

# Методы дискретной математики



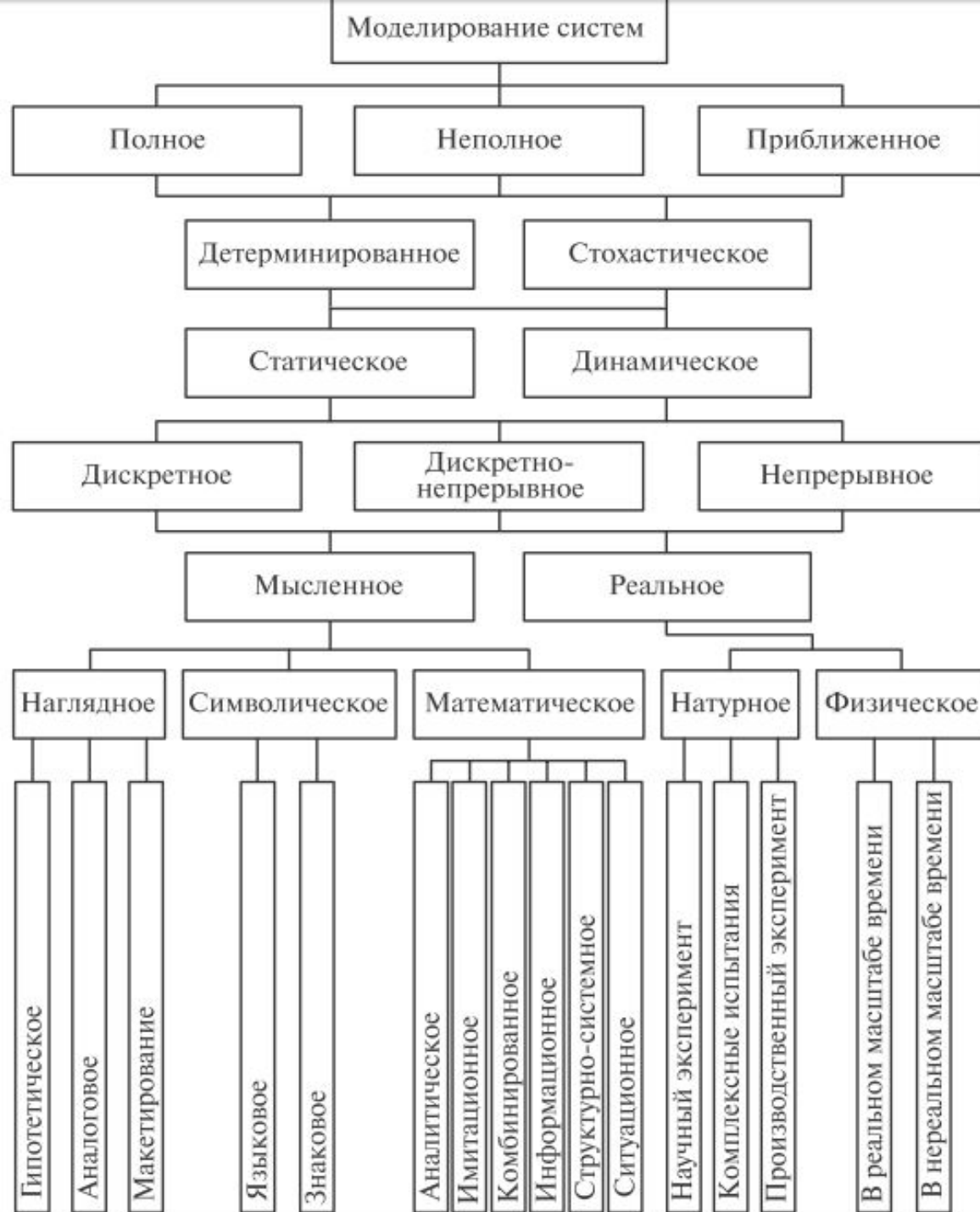
# Классификация моделей вероятностной природы



Раздел «Теория искусственно о интеллекта» включает различные аспекты теории принятия решений в больших системах, а также вопросы создания информационных и программных комплексов, моделирующих искусственный разум.

Мощным аппаратом теории автоматизированного управления является моделирование. В основе моделирования лежит теория подобия, которая утверждает, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одно о объекта другим, точно таким же. При моделировании абсолютное подобие не имеет места, и стремятся к тому, чтобы модель достаточно хорошо отображала исследуемую сторону функционирования объекта.

# Классификация ВИДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ





## Классификация моделей по степени полноты

По степени полноты модели они делятся на полные, неполные и приближенные. Полные модели идентичны объекту во времени и пространстве. Для неполного моделирования эта идентичность не сохраняется. В основе приближенного моделирования лежит подобие, при котором некоторые стороны функционирования реально о объекта не моделируются совсем.

## **Классификация моделей по характеру изучаемых процессов в системе**

В зависимости от характера изучаемых процессов в системе виды моделирования подразделяются на детерминированные и стохастические, статические, динамические, дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные. Детерминированное моделирование отображает процессы, в которых предполагается отсутствие случайных воздействий. Стохастическое моделирование учитывает вероятностные процессы и события. Статическое моделирование служит для описания поведения объекта в фиксированный момент времени, а динамическое — для исследования объекта во времени. Дискретное, непрерывное и дискретно-непрерывное моделирования используются для описаний процессов, имеющих изменение во времени. При этом оперируют аналоговыми, цифровыми и аналого-цифровыми моделями.

# Классификация моделей по форме представления объекта

В зависимости от формы представления объекта моделирование классифицируется на **мысленное** и **реальное**. **Мысленное моделирование** применяется тогда, когда модели не реализуемы в заданном интервале времени либо отсутствуют условия для их физического создания (например, ситуации микромира). Мысленное моделирование реализуется в виде наглядного, символического и математического. При наглядном моделировании на базе представлений человека о реальных объектах создаются наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте.

В основу **гипотетического** моделирования закладывается гипотеза о закономерностях протекания процесса в реальном объекте, которая отражает уровень знаний исследователя об объекте и базируется на причинно-следственных связях между входом и выходом изучаемого объекта. Этот вид моделирования используется, когда знаний об объекте недостаточно для построения формальных моделей.

**Аналоговое моделирование** основывается на применении аналогий различных уровней. Для достаточно простых объектов наивысшим уровнем является полная аналогия. С усложнением системы используются аналогии последующих уровней, когда аналоговая модель отображает несколько либо только одну сторону функционирования объекта.

**Макетирование** применяется, когда протекающие в реальном объекте процессы не поддаются физическому моделированию либо могут предшествовать проведению других видов моделирования. В основе построения мысленных макетов также лежат аналогии, обычно базирующиеся на причинно-следственных связях между явлениями и процессами в объекте.

## **Классификация моделей по форме представления объекта. Мысленное моделирование. Продолжение.**

Символическое моделирование представляет собой искусственный процесс создания логического объекта, который замещает реальный и выражает основные свойства и отношения с помощью определенной системы знаков и символов. В основе языкового моделирования лежит некоторый тезаурус, который образуется из набора входящих понятий, причем этот набор должен быть фиксированным. Если ввести условное обозначение отдельных понятий, т. е. знаки, а также определенные операции между этими знаками, то можно реализовать знаковое моделирование и с помощью знаков отображать набор понятий — составлять отдельные цепочки из слов и предложений. Используя операции объединения, пересечения и дополнения теории множеств, можно в отдельных символах дать описание какого-то реального объекта.

## **Классификация моделей по форме представления объекта. Мысленное моделирование. Продолжение. Математическое моделирование.**

**Математическое моделирование — это процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью. В принципе, для исследования характеристик процесса функционирования любой системы математическими методами, включая и машинные, должна быть обязательно проведена формализация этого процесса, т. е. построена математическая модель. Исследование математической модели позволяет получать характеристики рассматриваемого реально о объекта.**

## Математическая модель

Вид математической модели зависит как от природы реально о объекта, так и от задач исследования объекта, требуемой достоверности и точности решения задачи. Любая **математическая модель** описывает реальный объект с некоторой степенью приближения. Для аналитического моделирования характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраических, интегродифференциальных, конечно-разностных и т. д.) или логических условий.



**Аналитическая модель** исследуется следующими методами: аналитическим, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными системы; численным, когда, не умея решать уравнения в общем виде, стремятся получить числовые результаты при конкретных начальных данных; качественным, когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения (например, оценить устойчивость решения).

В настоящее время распространены методы машинной реализации исследования характеристик процесса функционирования БС. Для реализации математической модели на ЭВМ необходимо построить соответствующий моделирующий алгоритм.

## Имитационное моделирование

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы. Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и др., которые часто создают трудности при аналитических исследованиях.

# Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование

Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей производится предварительная декомпозиция процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы и для тех из них, где это возможно, используются аналитические модели, а для остальных подпроцессов строятся имитационные модели. Такой подход позволяет охватить качественно новые классы систем, которые не могут быть исследованы с использованием только аналитического или имитационного моделирования в отдельности.

# Информационное моделирование

**Информационное моделирование** связано с исследованием моделей, в которых отсутствует непосредственное подобие физических процессов, происходящих в моделях, реальным процессам. В этом случае стремятся отобразить лишь некоторую функцию и рассматривают реальный объект как «черный ящик», имеющий ряд входов и выходов, и моделируются некоторые связи между выходами и входами. Таким образом, в основе информационных моделей лежит отражение некоторых информационных процессов правления, что позволяет оценить поведение реального объекта.

Для построения модели в этом случае необходимо выделить исследуемую функцию реального объекта, попытаться формализовать эту функцию в виде некоторых операторов связи между входом и выходом и воспроизвести данную функцию на имитационной модели, причем на совершенно другом математическом языке, естественно, иной физической реализации процесса.

# Структурно-системное моделирование

Структурно-системное моделирование базируется на некоторых специфических особенностях структур определенно о вида, используя их а средство исследования систем или разрабатывая на их основе с применением других методов формализованного представления систем (теоретико-множественных, лингвистических и т. п.) специфические подходы моделированию.

Структурно - системное моделирование включает:

- методы сетевого моделирования;
- сочетание методов структуризации с лингвистическими (языковыми);
- структурный подход в направлении формализации построения и исследования структур разного типа (иерархических, произвольных графов) на основе теоретико-множественных представлений, понятия номинальной шкалы и теории измерений.

## Ситуационное моделирование.

Ситуационное моделирование основано на теории мышления, в рамках которой можно описать механизмы регулирования процессов принятия решений. В модельной теории мышления лежит представление о формировании в структурах мозга информационной модели объекта и внешнего мира. Эта информация воспринимается человеком на базе уже имеющихся у него знаний.

Целесообразное поведение человека строится путем формирования целевой ситуации и мысленно о преобразования исходной ситуации в целевую. Основой построения модели является описание объекта в виде совокупности элементов, связанных между собой определенными отношениями, отображающими семантику предметной области.

## Ситуационное моделирование. Продолжение.

Модель объекта имеет много уровневую структуру и представляет собой тот информационный контекст, на фоне которого протекают процессы управления. Чем богаче информационная модель объекта и выше возможности ее манипулирования, тем лучше и многообразнее качество принимаемых решений при управлении.



## Реальное моделирование

При реальном моделировании используется возможность исследования характеристик либо на реальном объекте целиком, либо на его части. Такие исследования на объектах, работающих как в нормальных режимах, так и при организации специальных режимов для оценки интересующих исследователя характеристик (при других значениях переменных параметров, в другом масштабе времени и т. д.). Реальное моделирование является наиболее адекватным, но его возможности ограничены. Например, проведение реального моделирования АСУП требует проведения экспериментов с управляемым объектом, т. е. предприятием, что в большинстве случаев невозможно.

# Натурное моделирование

**Натурным моделированием** называют проведение исследования на **реальном объекте** с последующей обработкой результатов эксперимента на основе теории подобия. Натурный эксперимент подразделяется на **научный эксперимент, комплексные испытания и производственный эксперимент.** Научный эксперимент характеризуется широким использованием средств автоматизации проведения, применением весьма разнообразных средств обработки информации, возможностью вмешательства человека в процесс проведения эксперимента.

## Натурное моделирование. Продолжение.

В соответствии с этим появилось новое научное направление — автоматизация научного эксперимента и новая специализация в рамках специальности АСУ – АСНИ (автоматизированные системы научных исследований и комплексных испытаний).

Одна из разновидностей эксперимента — комплексные испытания, когда вследствие повторения испытаний объектов в целом (или больших частей системы) выявляются общие закономерности характеристик качества, надежности этих объектов. В этом случае моделирование осуществляется путем обработки и обобщения сведений о группе однородных явлений.

## Натурное моделирование. Продолжение.

Наряду со специально организованными испытаниями возможна реализация **натурного моделирования** путем обобщения опыта, накопленного в ходе производственного процесса, т. е. можно говорить о производственном эксперименте. Здесь на базе теории подобия обрабатывают статистический материал по производственному процессу и получают его обобщенные характеристики. Необходимо помнить про отличия эксперимента от реального протекания процесса. Оно заключается в том, что в эксперименте могут появиться отдельные критические ситуации и определиться границы устойчивости процесса. В ходе эксперимента новые факторы и возмущающие воздействия вводятся в процесс функционирования объекта.

## Натурное моделирование. Продолжение.

Другим видом реального моделирования является физическое, отличающееся от натурного тем, что исследование проводится на установках, которые сохраняют природу явлений и обладают физическим подобием. В процессе физического моделирования задаются некоторые характеристики внешней среды и исследуется поведение либо реального объекта, либо его модели при заданных или создаваемых искусственно воздействиях внешней среды. Физическое моделирование может протекать в реальном и нереальном (псевдореальном) масштабах времени или рассматриваться без учета времени. В последнем случае изучению подлежат так называемые «замороженные» процессы, фиксируемые в некоторый момент времени. Наибольшую сложность и интерес с точки зрения корректности получаемых результатов представляет физическое моделирование в реальном масштабе времени.

# **МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

## **Термины. Автоматизированные системы управления.**

Автоматизированные системы управления представляют собой сложные человеко-машинные комплексы. Это совокупность крупных подсистем, симбиоз данных и знаний, экономико-математических моделей, инструментальных и технических средств, средств связи и оргтехники, а также специалистов, предназначенных для обработки информации и принятия решений.

# Классификация автоматизированных систем

В качестве признаков классификации АС используются следующие признаки:

- направление деятельности;
- область и специфика применения;
- охватываемая территория;
- организация информационных процессов;
- назначение;
- структура и др.



## Укрупнённая классификация АС

При самом общем (глобальном) рассмотрении АС ее можно представить состоящей из двух частей: **функциональной и обеспечивающей**. Например, АС организационного типа, таким, как АС управления предприятием (АСУП), системам управления объединением, фирмой, отраслью присуще наличие очень большого числа различных целей, которые система стремится достичь одновременно. У АСУП можно выделить следующие цели: **повышение вероятности выполнения плана, снижение себестоимости продукции, повышение качества продукции, выход продукции на международный рынок, повышение престижа предприятия в административно-территориальном районе и т. п.**

## Укрупнённая классификация АС. Продолжение.

Между целями могут существовать как взаимоподдержка, так и состязательность. Взаимоподдержка выражается в том, что достижение одной цели способствует достижению другой (или других) целей; состязательность выражается в том, что ради большего достижения других целей приходится поступиться степенью достижения данной цели.

В свою очередь, каждая из глобальных целей может быть разбита на некоторое множество локальных целей или целей более низкого уровня. Аналогично каждая из локальных целей может быть разбита на некоторое множество подцелей следующего уровня иерархии.

## Функциональная подсистема

**Функциональная подсистема** — это часть АС, которой поставлена в соответствие одна или несколько целей (подцелей) системы управления. Таким образом, функциональная часть АС — это некоторый набор функциональных подсистем. В самом простейшем случае функциональная подсистема состоит из управляющей части и объекта управления.



## Функциональная подсистема. Продолжение.

Управляющая часть воздействует на объект управления посредством выдачи команд, желая привести объект управления в некоторое требуемое состояние. Команды — это распорядительная информация. Поскольку управляющей части безразлично состояние объекта управления, то все да присутствует обратная связь, это — осведомительная информация.

Взаимодействие управляющей части с объектом управления осуществляется в некоторой среде, которая в общем случае вредит управлению.

## Функциональные подсистемы. Продолжение.

Применительно к АСУП традиционно выделяют следующие функциональные подсистемы:

- технической подготовки производства;
- технико-экономического планирования;
- оперативного управления производством;
- материально-технического снабжения;
- управления кадрами;
- управления качеством продукции;
- финансовая подсистема и др.

## Функциональные подсистемы. Продолжение.

Практически в любой подсистеме функциональной части АС решаются следующие функциональные задачи:

— **планирование**, т. е. разработка расписания деятельности объекта управления на некоторый календарный отрезок времени;

— **контроль**, т. е. сбор первичной информации о состоянии объекта управления и внешней среды;

— **регулирование**, т. е. сопоставление собранного круга данных с некоторыми запланированными (или нормативными) величинами;

— **выдача управляющих воздействий** — команд, подаваемых на объект управления в случае отклонения реальных параметров производственного процесса от запланированных или нормативных величин.

Применительно к АСУП **управляющие воздействия** могут быть:

- **экономические** (выдача заработной платы, премий, начисление штрафов);
- **технологические** (введение нового оборудования, изменение существующей технологии);
- **административные** (объявления благодарностей, административных взысканий и т. д.).

## Обеспечивающая система

При решении любой из перечисленных выше глобальных функциональных задач из структуры системы может быть выделена часть, которая **обеспечивает их решение** — обеспечивающая часть АС.

Она включает в себя математическое, информационное, программное, техническое, лингвистическое и другие виды обеспечения АС.



## Термины.

Иногда в литературе обеспечивающую часть называют **автоматизированной системой обработки данных** (или АСОД) или **информационно-вычислительной системой (ИВС)**.

**Математическое обеспечение** — это набор математических формул, соотношений, алгоритмов, математических моделей, методик, предназначенных для решения задач управления и обработки информации.

**Информационное обеспечение** применительно к АСУП — совокупность единой системы классификаторов, кодов технико-экономической информации, унифицированной системы документации, а также массивов информации, используемых в АС.

Проще говоря, **информационное обеспечение** — это вся информация, используемая для решения задач управления и обработки информации.

**Программное обеспечение** — это набор рабочих программ, пакетов программ, пакетов прикладных программ, программных комплексов и т. п. Проще говоря, это все программы, используемые для решения задач управления и обработки информации с помощью ЭВМ.

**Техническое обеспечение** — все технические средства, используемые для автоматизированного решения задач управления и обработки информации.

**Лингвистическое обеспечение** — это набор языковых средств, реализующий дружественный интерфейс между пользователем и ЭВМ в целях повышения эффективности общения человека с машиной.

# Классификация АС по направлению деятельности



Прежде всего можно выделить два очень больших класса систем — это АСУ технологическими процессами (АСУТП) и АС организационно-управленческого типа. В АСУТП объектом управления является технологический процесс, понимаемый в широком смысле это понятие, это собственно технологический процесс, а также, например, процесс управления полетом ракеты или самолета, движением корабля, управление химическим или ядерным реактором и т. п. **В организационных системах объектом управления является коллектив людей (предприятие, отрасль, дивизия и т. п.). Другое различие между этими системами заключается в виде основного носителя информации. В АСУТП этим носителем является сигнал (электрический, механический, гидравлический, радиосигнал и т. п.), в организационных системах основной носитель — документ.**

# Интегрированные системы

Интегрированные системы представляют собой совокупность одной организационной системы и нескольких АСУТП, причем организационная система располагается на верхнем уровне иерархии, а АСУТП — на одном или нескольких нижних уровнях.

# Классификация АС по сфере применения

Из этого класса АС исторически первыми стали применяться АС на производстве.



## Классификация АС по организации информационных процессов

В зависимости от организации информационных процессов АС делятся на два больших класса: **управляющие и информационные**. В информационных системах (ИС) управление отсутствует, например: автоматизированные системы научных исследований — АСНИ, «Библиотека», системы автоматизированного проектирования — САПР, экспертные системы — ЭС и др. В отличие от чисто информационных систем в таких АИС, как автоматизированные системы управления технологическими процессами — АСУТП, АСУ предприятиями — АСУП, управление занимает важное место и бывает либо **автоматическим**, либо **автоматизированным**.

Информационно-поисковые системы (ИПС) — в них объектом управления является процедура поиска требуемой информации в очень больших объемах этой информации. Типичный пример — различные библиотечные системы, системы продажи билетов на транспортные средства и т. п.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) — в них объектом управления является процесс проектирования изделий любой природы (станка, самолета, ЭВМ, АСУ и т. п.).



## **АС научных исследований и комплексных испытаний (АСНИ)**

АС научных исследований и комплексных испытаний (АСНИ). Здесь объектом управления является процесс исследования объекта любой работы (исследования процесса работы двигателя, полета самолета, работы реактора и т. п.).

В последнее время активно развиваются гибкие автоматизированные производства (ГАП). ГАП — некоторая производственная единица, функционирующая на основе безлюдной технологии и находящаяся под управлением единой программы. Переналадка производства (естественно, в некоторых пределах) с выпуска одного изделия на другое сводится к замене только программного обеспечения.

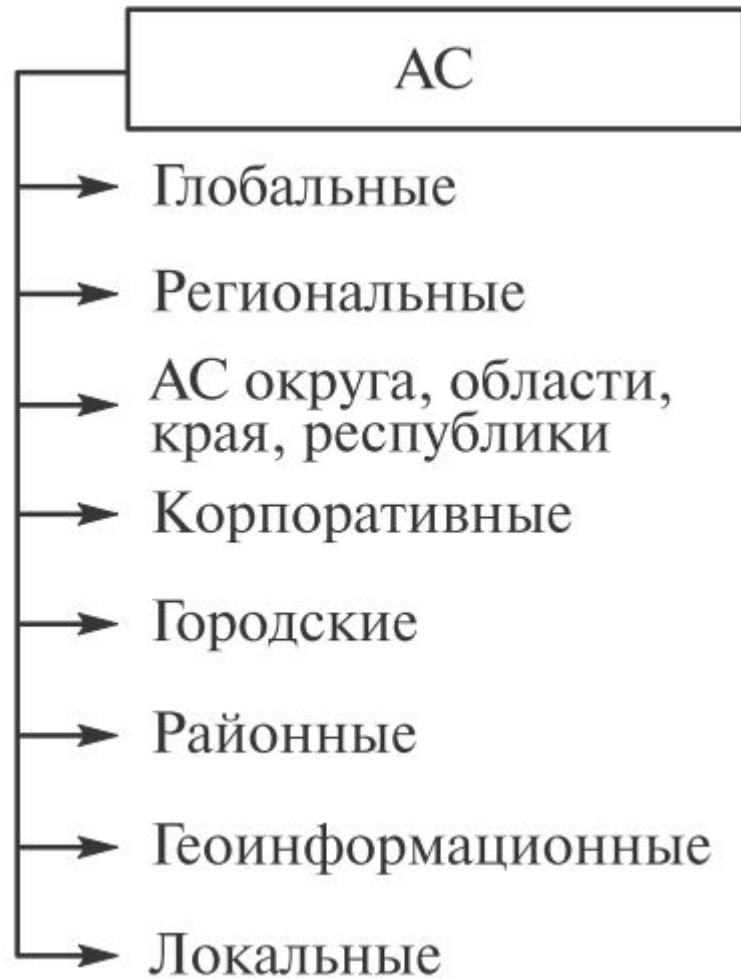
Для всех этих классов систем характерны общие черты АС, а именно наличие всех вышеперечисленных видов обеспечения и человека как основного звена, принимающего решения. Все вышеперечисленные классы систем оперируют с данными, или, проще говоря, с некоторыми цифрами, хранящимися в памяти системы.

**Интеллектуальные системы** (экспертные системы) в отличие от предыдущих систем оперируют со знаниями, хранящимися в банке знаний. Типичные примеры — это медицинские экспертные системы, геологические экспертные системы и т. п. База знаний (или банк знаний) формируется в результате обобщения знаний ведущих ученых, практиков, а также информации, хранящейся в монографиях, статьях, книгах, и т. п.

# Классификация АС по назначению



# Классификация АС по территориальном признаку



АС различаются также по уровню развития в зависимости от поколений ЭВМ, на которых они базируются.

Следует отметить информационные технологии (ИТ) и АС, с помощью которых регулируются микросоциальные процессы. Это ИТ и АС денежно-кассовых операций, распределения мест на транспорте, в гостиницах, метеорологической и другой справочной информации.

# **Основные принципы построения автоматизированных систем**

Накопленный опыт разработки и эксплуатации АС позволяет сформулировать ряд принципов их построения, соблюдение которых является необходимым условием создания эффективных систем. Мы рассмотрим эти принципы применительно к системам управления производством, но они в полной мере применимы и к системам других классов.

# 1. Принцип системного подхода

Это основополагающий принцип. Суть его заключается в том, что проектируемый объект должен рассматриваться с позиций более высокого уровня. Так, например, проектируемая задача должна рассматриваться с позиций функциональной подсистемы, в которую она входит; проектируемая подсистема — с позиций системы и т. п.

**Проектирование АС должно начинаться с тщательного системно о анализа объекта управления, управляющей части и внешней среды.** Необходимо выяснить все множество факторов, под влиянием которых находится система, а также все множество факторов, на которые влияет сама система. Параллельно с этим необходимо выяснить все множество целей, стоящих перед проектируемой системой.



Для каждой цели необходимо разработать один или несколько критериев эффективности, которые являются численной мерой степени достижения целей. Необходимо вскрыть весь комплекс вопросов, которые необходимо решить для того, чтобы проектируемая система наилучшим образом соответствовала бы поставленным целям и критериям эффективности. Применительно к АС организационного управления производственными процессами в этот комплекс вопросов должны включаться не только технические вопросы, но также вопросы экономические и организационные. Внедрение АС должно сопровождаться **усовершенствованием экономических показателей и методов экономического стимулирования**, а также изменением существующих и узаконенных форм документов, изменением маршрутов их движения, изменением функциональных обязанностей работников аппарата управления и т. п.

## 2. Принцип новых задач

Суть его заключается в том, что совершенно недостаточно ограничиться тем, чтобы переложить на ЭВМ и другие технические средства сложившиеся формы, методы и задачи управления. Главное внимание следует уделить тем огромным возможностям, которые открывает использование современной вычислительной техники и программного обеспечения. Особое внимание следует обратить на те задачи, которые в существующей системе управления вследствие большого объема или вычислительных сложностей не решаются или решаются в неполной степени.

Например, эффективное использование оборотных средств.

### 3. Принцип первого руководителя

Успешная реализация двух первых принципов возможна лишь в том случае, если разработка и внедрение АС находятся в непосредственном ведении первых лиц организации заказчика (директор или главный инженер). При этом на системного инженера возлагается задача четкого распределения функций между организацией заказчика и организацией разработчика.

## **Принцип первого руководителя. Функциями заказчика являются:**

- **формулировка целей системы, критериев эффективности, общей концепции системы (совместно с руководящим составом организации разработчика);**
- **определение приоритетов и очередности ввода различных задач управления (совместно с разработчиками системы);**
- **участие в разработке информационной базы системы;**
- **реализация организационных мероприятий (изменение структуры и функций аппарата управления), выделение соответствующих площадей под технические средства системы, организация финансирования разработки, выделение соответствующих штатных единиц для персонала, обслуживающего разработанную систему.**

## **Принцип первого руководителя. Функции разработчика (помимо перечисленных выше):**

- **разработка технического задания** на проектируемую систему (совместно с руководством организации заказчика);
- **разработка технического проекта** (разработка структуры системы, алгоритмов решения задач, информационной базы каждой задачи, выбор комплекса технических средств);
- **разработка рабочего проекта** (разработка форм документов, рабочих программ, инструкций по эксплуатации);
- **внедрение разработанной системы** в эксплуатацию (совместно с персоналом, эксплуатирующим систему).

## 5. Принцип разумной типизации проекта

Разрабатывая столь дорогостоящие изделия, каким является автоматизированная система, системный инженер, естественно, стремится к тому, чтобы предлагаемые им решения подходили бы как можно более широкому кругу заказчиков. Однако типизация, естественно, приводит к ухудшению предлагаемых решений, поскольку она не позволяет учитывать всю специфику объекта управления. На первых этапах разработки АС была попытка разработки универсальной программы для подсистемы материально-технического снабжения. Эта программа оказалась очень медленно действующей в силу своей универсальности. Применительно к этому примеру принцип «разумной типизации» заключается в разумном увеличении скорости выполнения конкретной программы по сравнению с универсальной.

## **6. Принцип автоматизации документооборота**

В автоматизированных системах совершенно недостаточно ограничиться выполнением расчетов на ЭВМ по тем или иным моделям, необходимо автоматизировать все стадии обработки информации, а именно сбор первичной информации, ее передача, обработка, хранение и доведение полученных результатов до конкретных пользователей данной АС.

## **7. Принцип единой информационной базы**

Суть его заключается в том, что на магнитных носителях накапливается и постоянно обновляется информация, необходимая для решения не отдельных, а всех задач управления.



## **8. Принцип однократности ввода и многократности использования информации**

Он непосредственно следует из предыдущего принципа. Информация о любом документе, объекте или событии должна вводиться в систему только один раз. Невыполнение этого принципа приводит тому, что, например, об одном и том же событии может появиться несколько противоречивых мнений, что засоряет память системы и неизбежно выводит ее из строя. Многократность использования означает, что на любой уровень управления, от министра до начальника участка, информация должна поступать из единой информационной базы. При этом, конечно, формы представления этой информации, степень ее детализации и т. п. для каждого уровня должны быть различными.

## 9. Принцип комплексности задач и рабочих программ

Большинство задач, решаемых в рассматриваемых системах, тесно связаны между собой, например задачи подсистем технико-экономического планирования и материально-технического снабжения. Между этими подсистемами идет постоянный обмен информацией и раздельное решение этих задач существенно снижает эффективность всей системы.

# **КАТЕГОРИАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

# Системный анализ

Так как большие (сложные) системы в середине XX века стали объектом изучения, проектирования и управления, то потребовалось обобщение методов исследования таких систем. Появилась объективная необходимость в возникновении прикладной науки, устанавливающей связь между абстрактной теорией систем и системной практикой. Это оформилось в научную дисциплину — **системный анализ**. **Системный анализ** является междисциплинарной наукой, обобщающей методологию исследования сложных технических, биологических и социальных систем. Для проведения анализа и синтеза сложных систем используется широкий спектр математических методов и моделей.

# Математический аппарат системного анализа

Основу математического аппарата системного анализа составляют линейное и нелинейное программирование, теория принятия решений, теория игр и исследования операций, имитационное и ситуационное моделирование, теория массового обслуживания, теория надежности, теория статистических решений и др. В настоящее время методы системного анализа получили широкое применение при перспективном и текущем планировании, проектировании различных сложных систем и объектов, управлении производственными и технологическими процессами, прогнозировании отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Особенно часто к методам системного анализа обращаются при решении задач распределения трудовых ресурсов и запасов, выбора средств транспортировки грузов, составления маршрутов и расписаний перевозок, размещения новых производственных комплексов, сбора информации в АСУ и целого ряда других задач. Причем при решении задач системного анализа наряду со строгим математическим аппаратом применяются эвристические, интуитивные и качественные методы.

## **Системность как общее свойство материи**

Современные научные данные и современные системные представления позволяют говорить о мире как о бесконечной иерархической системе систем. Причем части системы находятся в развитии, на разных стадиях развития, на разных уровнях системной иерархии и организации. Системность как всеобщее свойство материи проявляется через следующие составляющие: системность практической деятельности, системность познавательной деятельности и системность среды, окружающей человека.

## Признаки системности

Рассмотрим практическую деятельность человека, т. е. его активное и целенаправленное воздействие на окружающую среду. Покажем, что человеческая практика системна. Отметим очевидные и обязательные признаки системности: **структурированность системы, взаимосвязанность составляющих ее частей, подчиненность организации всей системы определенной цели.** По отношению к человеческой деятельности эти признаки очевидны.



## Алгоритмичность

Всякое осознанное действие преследует определенную цель. Во всяком действии достаточно просто увидеть его составные части, более мелкие действия. При этом легко убедиться, что эти составные части должны выполняться не в произвольном порядке, а в определенной их последовательности.

Название для такого построения деятельности — алгоритмичность. Понятие алгоритма возникло сначала в математике и означало задание точно определенной последовательности однозначно понимаемых операций над числами или другими математическими объектами. В настоящее время понятие алгоритма применяется к различным отраслям деятельности. Так говорят не только об алгоритмах принятия управленческих решений, об алгоритмах обучения, алгоритмах написания программ, но и об алгоритмах изобретательства.

Важно сознавать, что в алгоритме должна сохраняться логическая последовательность действий. При этом допускается, что в алгоритме определенно о вида деятельности могут присутствовать неформализованные виды действия. Подавляющее большинство элементов творческой деятельности, совершаемой человеком, являются неосознанной реализацией определенных алгоритмизируемых закономерностей, т. е. реализацией неосознаваемых, но объективно существующих и формализуемых критериев. Таким образом, во-первых, всякая деятельность алгоритмична. Не всегда алгоритм реальной деятельности осознается, ряд процессов человек выполняет интуитивно, т. е. его способность решать некоторые задачи доведена до автоматизма. Это есть признак профессионализма, который вовсе не означает, что в действиях профессионала отсутствует алгоритм.

## Системность практической деятельности

Следует отметить, что роль системных представлений в практике постоянно увеличивается, что растет сама системность человеческой деятельности. Данный тезис можно пояснить на примере проектирования технических объектов. Если раньше перед разработчиками новых образцов техники ставилась задача создания работоспособно о объекта, то в настоящее время практика ставит задачу создания новых объектов с некоторыми оптимальными свойствами. Т. е. к разрабатываемым образцам еще на этапе проектирования предъявляются требования оптимальности. Цели, которые ставятся перед разработчиками, таким образом, являются более глобальными, более сложными.

## Системность мышления

Далее отметим, что системным является само мышление. Успешное решение поставленной задачи зависит от того, насколько системно подходит специалист к ее анализу. Неудачи в решении тех или иных проблем связаны с отходом от системности, с игнорированием части существенных взаимосвязей компонентов системы. Разрешение возникшей проблемы осуществляется путем перехода на новый, более высокий уровень системности. В связи с этим можно отметить, что системность не столько состояние, сколько процесс.

## Системность процесса познания

Свойство системности присуще процессу познания. Системны знания, накопленные человечеством. В качестве особенности процесса познания отметим наличие аналитического и синтетического образов мышления. Анализ — это процесс, состоящий в разделении целого на части, в представлении сложного в виде совокупности более простых компонентов. Но чтобы познать целое, сложное, необходим и обратный процесс — синтез. Это относится как к индивидуальному мышлению, так и к общечеловеческому знанию.

Аналитичность человеческого знания находит свое отражение в существовании различных наук, в продолжающейся их дифференциации, во все более глубоком изучении все более узких вопросов. Вместе с тем мы наблюдаем и обратный процесс синтеза знаний.

## **Свойство системности результатов познания**

Свойство системности присуще результатам познания. В технических науках это реализуется в построении адекватных моделей, являющихся отражением исследуемых объектов, моделей, описывающих динамическое поведение материальных объектов.

## Системность среды

Системна также среда, окружающая человека. Свойство системности является естественным свойством природы. Как уже отмечалось, окружающий нас мир есть бесконечная система систем, иерархическая организация все более сложных объектов. Причем как в живой, так и неживой природе действуют свои законы организации, являющиеся объективными биологическими или физическими законами.

**В данном аспекте системность выражается в необходимости комплексного учета всех особенностей и возможных воздействий факторов внешней среды на ее состояние в последующие моменты.** В случае недостаточной проработки данных вопросов, игнорирования ряда факторов, наблюдается возникновение проблемы в развитии природы, негативное воздействие на хозяйственную и культурную деятельность человека.

## Системность человеческого общества

Системно человеческое общество в целом. Системность человеческого общества выражается во взаимосвязи развития отдельных структур (национальных, государственных, религиозных образований) и в их взаимном влиянии друг на друга. Причем следует отметить, что уровень системности человеческого общества постоянно увеличивается. Системность необходимо, таким образом, рассматривать в историческом аспекте. Если в древнем мире племена жили достаточно отдаленно друг от друга и уровень общения между ними был минимален, то в современном обществе события происходящие в одних государствах находят отклик и имеют влияние в различных частях мира.



# **Место системного анализа в системных представлениях**

Применения системных представлений для анализа сложных объектов и процессов рассматривают системные направления, включающие в себя: системный подход, системные исследования, системный анализ.

## Системный подход

Используя этот термин, подчеркивали необходимость исследования объекта с разных сторон, комплексно, в отличие от ранее принятого деления исследований на физические, химические и др. Оказалось, что с помощью многоаспектных исследований можно получить более правильное представление о реальных объектах, выявить их новые свойства, лучше определить взаимоотношения объекта с внешней средой, другими объектами. Заимствованные при этом понятия теории систем вводились не строго, не исследовался вопрос, каким классом систем лучше отобразить объект, какие свойства и закономерности этого класса следует учитывать при конкретных исследованиях и т. п. Иными словами, термин «системный подход» практически использовался вместо терминов «комплексный подход», «комплексные исследования».

# **Методики и процедуры системного анализа**

# Принципы, этапы и процедуры системного анализа

В системном анализе можно выделить три главных направления. Эти три направления соответствуют трем этапам, которые всегда присутствуют в исследовании сложных систем. Перечислим их:

1. Постановка задачи исследования.
2. Построение модели исследуемого объекта.
3. Решение поставленной математической задачи.

# 1. Постановка задачи исследования.

На данном этапе формулируется цель анализа. Цель исследования предполагается внешним фактором по отношению к системе. Таким образом, цель становится самостоятельным объектом исследования. Цель должна быть формализована. Задача системно о анализа состоит в проведении необходимого анализа неопределенностей, ограничений и формулировании, в конечном счете, некоторой оптимизационной задачи:

$$f(x) \rightarrow \max, \quad x \in G$$

Здесь  $x$  — элемент некоторого нормированного пространства  $G$ , определяемо о природой модели,  $G \subset E$ , де  $E$  — множество, которое может иметь сколь угодно сложную природу, определяемую структурой модели и особенностями исследуемой системы.

Таким образом, задача системно о анализа на этом этапе трактуется как некоторая оптимизационная проблема. Анализируя требования к системе, т. е. цели, которые предполагает достигнуть исследователь, и те неопределенности, которые при этом неизбежно присутствуют, исследователь должен сформулировать цель анализа на языке математики. Язык оптимизации оказывается здесь естественным и удобным, но вовсе не единственно ВОЗМОЖНЫМ.

## Построение модели

Построение модели, т.е. **формализация изучаемой системы, процесса или явления.** Построение модели есть описание процесса на языке математики. При построении модели осуществляется математическое описание явлений и процессов, происходящих в системе. Поскольку знание всегда относительно, то описание на любом языке отражает лишь некоторые стороны происходящих процессов и никогда не является абсолютно полным. С другой стороны, следует отметить, что при построении модели необходимо уделять основное внимание тем сторонам изучаемого процесса, которые интересуют исследователя. **Глубоко ошибочным является желание при построении модели системы отразить все стороны существования системы.**



При проведении системного анализа, как правило, интересуются динамическим поведением системы. Причем, при описании динамики с точки зрения проводимого исследования есть первостепенные параметры и взаимодействия, а есть несущественные в данном исследовании параметры. Таким образом, качество модели определяется соответствием выполненного описания тем требованиям, которые предъявляются к исследованию, соответствием получаемых с помощью модели результатов ходу наблюдаемого процесса или явления. Построение математической модели есть основа всего системного анализа, центральный этап исследования или проектирования любой системы. От качества модели зависит результат всего системного анализа.

### 3. Решение поставленной математической задачи

Только этот третий этап анализа можно отнести собственно к этапу, использующему в полной степени математические методы. Хотя без знания математики и возможностей ее аппарата успешное выполнение двух первых этапов невозможно, так как и при построении модели системы, и при формулировании цели и задач анализа широкое применение должны находить методы формализации. Однако отметим, что именно на завершающем этапе системного анализа могут потребоваться тонкие математические методы. Но следует иметь в виду, что задачи системного анализа могут иметь ряд особенностей, которые приводят к необходимости применения наряду с формальными процедурами эвристических подходов. Также к таковым причинам можно отнести большую размерность вектора  $X$  и сложность структуры множества  $G$ .

Сформулированные три этапа проведения системно о анализа являются как бы основой решения любой задачи проведения системных исследований. Суть их состоит в том, что необходимо построить модель исследуемой системы, т. е. дать формализованное описание изучаемо о объекта, сформулировать критерий решения задачи системно о анализа, т. е. поставить задачу исследования и далее решить поставленную задачу. Указанные три этапа проведения системно о анализа являются укрупненной схемой решения задачи. В действительности задачи системно о анализа являются достаточно сложными. Поэтому перечисление этапов не может быть самоцелью. Практикующему системному инженеру требуется представлять **методику** выполнения каждого из этапов.

## Методика системного анализа

Методики, реализующие принципы системного анализа в конкретных условиях, направлены на то, чтобы формализовать процесс исследования системы, процесс поставки и решения проблемы. Методика системного анализа разрабатывается и применяется в тех случаях, когда у исследователя нет достаточных сведений о системе, которые позволили бы выбрать адекватный метод формализованного представления системы.

Общим для всех методик системно о анализа является формирование вариантов представления системы (процесса решения задачи) и выбор наилучшего варианта. Положив в основу методики системно о анализа эти два этапа, их затем можно разделить на подэтапы. Например, первый этап можно разделить следующим образом:

1. Отделение (или ограничение) системы от среды.
2. Выбор подхода к представлению системы.
3. Формирование вариантов (или одно о варианта — что часто делают, если система отображена в виде иерархической структуры) представления системы.

Второй этап можно представить следующими подэтапами:

1. Выбор подхода к оценке вариантов.
2. Выбор критериев оценки и ограничений.
3. Проведение оценки.
4. Обработка результатов оценки.
5. Анализ полученных результатов и выбор наилучше о варианта (или корректировка варианта, если он был один).

В настоящее время трудно привести примеры методик, в которых все этапы были бы проработаны равноценно. Например, в зарубежных методиках (ПАТТЕРН, ПРОФИЛЕ, ППБ и др.), предназначенных, как правило, для анализа относительно хорошо структурированных военно-технических проблем, обычно более детально проработаны методы проведения одно о этапа — этапа оценки и анализа структуры.

## **Основные процедуры системно о анализа следующие:**

- определение целей системно о анализа;**
- изучение структуры системы, анализ ее компонентов, выявление взаимосвязей между отдельными элементами;
- сбор данных о функционировании системы, исследование информационных потоков, наблюдения и эксперименты над анализируемой системой;
- построение моделей;
- проверка адекватности моделей, анализ неопределенности и чувствительности;
- исследование ресурсных возможностей;
- формирование критериев;
- генерирование альтернатив;
- реализация выбора и принятия решений;
- внедрение результатов анализа.

## Определение целей системного анализа

**Формулирование проблемы.** Для традиционных наук начальный этап работы заключается в постановке формальной задачи, которую надо решать. В исследовании сложной системы это промежуточный результат, которому предшествует длительная работа по структурированию исходной проблемы. Начальный пункт определения целей в системном анализе связан с формулированием проблемы. Здесь следует отметить следующую особенность задач системно о анализа. Необходимость системного анализа возникает тогда, когда заказчик уже сформулировал свою проблему, то есть проблема не только существует, но и требует решения.



системный аналитик должен отдавать себе отчет в том, что сформулированная заказчиком проблема представляет собой приблизительный, рабочий вариант. Причины, по которым исходную формулировку проблемы необходимо считать в качестве первого приближения, состоят в следующем. Система, для которой формулируется цель проведения системного анализа, не является изолированной. Она связана с другими системами, входит как часть в состав некоторой надсистемы. Например, автоматизированная система управления отделом или цехом на предприятии является структурной единицей АСУ всего предприятия, точно также как АСУ предприятия имеет связи с отраслевой системой. Сама система, в свою очередь, состоит из подсистем. И поэтому, формулируя проблему для рассматриваемой системы, необходимо учитывать, как решение данной проблемы отразится на системах, с которыми связана данная система.

И поэтому, формулируя проблему для рассматриваемой системы, необходимо учитывать, как решение данной проблемы отразится на системах, с которыми связана данная система.

Неизбежно планируемые изменения затронут и подсистемы, входящие в состав данной системы, и надсистему, содержащую данную систему. Таким образом, к любой реальной проблеме следует относиться не как к отдельно взятой, а как к объекту из числа взаимосвязанных проблем.

Другая причина того, что у сформулированной заказчиком проблеме следует относиться как к первоначальному рабочему варианту, состоит в том, что она (проблема) является его рабочей моделью, его взглядом на проблемную ситуацию.

В реальной жизни необходимо учитывать позиции всех заинтересованных сторон. Учет мнений всех заинтересованных сторон приводит к дополнениям, уточнениям первоначально о варианте описанной проблемы. Следовательно, системное исследование проблемы должно начинаться с ее расширения до системы проблем, связанных с исследуемой, без учета которых она не может быть решена. Это расширение должно происходить как с учетом связей данной системы с над- и подсистемами, так и с точки зрения углубления данной проблемы, ее детализации.

Для формулирования системы проблем необходимо сформировать перечень заинтересованных лиц, так или иначе связанных с работами по системному анализу. В данный перечень следует включать, во-первых, клиента, который ставит проблему, заказывает и оплачивает системный анализ. Именно заказчик формулирует исходную проблему системно о анализа. Далее включаются лица, принимающие решения, от полномочий которых зависит решение проблемы

# ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Математическое моделирование многие считают скорее искусством, чем стройной и законченной теорией. **Здесь очень велика роль опыта, интуиции и других интеллектуальных качеств человека.** Поэтому невозможно написать достаточно формализованную инструкцию, определяющую, как должна строиться модель той или иной системы. Тем не менее отсутствие точных правил не мешает опытным специалистам строить удачные модели. К настоящему времени уже накоплен значительный опыт, дающий основание сформулировать некоторые принципы и подходы к построению моделей.

**Требования, которым должна удовлетворять  
правильно построенная модель**

# 1. Адекватность

Этот принцип предусматривает соответствие модели целям исследования по уровню сложности и организации, а также соответствие реальной системе относительно выбранного множества свойств. До тех пор, пока не решен вопрос, правильно ли отображает модель исследуемую систему, ценность модели незначительна.

## **2. Соответствие модели решаемой задаче**

**Модель должна строиться для решения определенного класса задач или конкретной задачи исследования системы. Попытки создания универсальной модели, нацеленной на решение большого числа разнообразных задач, приводят к такому усложнению, что она оказывается практически непригодной. Опыт показывает, что при решении каждой конкретной задачи нужно иметь свою модель, отражающую те аспекты системы, которые являются наиболее важными в данной задаче. Этот принцип связан с принципом адекватности.**



### **3. Упрощение при сохранении существенных свойств системы**

Модель должна быть в некоторых отношениях проще прототипа - в этом смысл моделирования. Чем сложнее рассматриваемая система, тем по возможности более упрощенным должно быть ее описание, умышленно утрирующее типичные и игнорирующее менее существенные свойства. Этот принцип может быть назван принципом абстрагирования от второстепенных деталей.

## **4. Соответствие между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели**

Модели по своей природе всегда носят приближенный характер. Возникает вопрос, каким должно быть это приближение. С одной стороны, чтобы отразить все сколько-нибудь существенные свойства, модель необходимо детализировать. С другой стороны, строить модель, приближающуюся по сложности к реальной системе, очевидно, не имеет смысла. Она не должна быть настолько сложной, чтобы нахождение решения оказалось слишком затруднительным. Компромисс между этими двумя требованиями достигается нередко путем проб и ошибок.

Практическими рекомендациями по уменьшению сложности моделей являются:

1. Изменение числа переменных, достигаемое либо исключением несущественных переменных, либо их объединением. Процесс преобразования модели в модель с меньшим числом переменных и ограничений называют агрегированием. Например, все типы ЭВМ в модели гетерогенных сетей можно объединить в четыре типа - ПЭВМ, рабочие станции, большие ЭВМ (мейнфреймы), кластерные ЭВМ.

2. Изменение природы переменных параметров. Переменные параметры рассматриваются в качестве постоянных, дискретные - в качестве непрерывных и т.д. Так, условия распространения радиоволн в модели радиоканала для простоты можно принять постоянными.

3. Изменение функциональной зависимости между переменными. Нелинейная зависимость заменяется обычно линейной, дискретная функция распределения вероятностей - непрерывной.

4. Изменение ограничений (добавление, исключение или модификация). При снятии ограничений получается оптимистичное решение, при введении - пессимистичное. Варьируя ограничениями, можно найти возможные граничные значения эффективности. Такой прием часто используется для нахождения предварительных оценок эффективности решений на этапе постановки задач.

5. ограничение точности модели. Точность результатов модели не может быть выше точности исходных данных.

5. Баланс погрешностей различных видов. В соответствии с принципом баланса необходимо добиваться, например, баланса систематической погрешности моделирования за счет отклонения модели от оригинала и погрешности исходных данных, точности отдельных элементов модели, систематической погрешности моделирования и случайной погрешности при интерпретации и осреднении результатов.

6. Многовариантность реализаций элементов модели. Разнообразие реализаций одного и того же элемента, отличающихся по точности (а следовательно, и по сложности), обеспечивает регулирование соотношения «точность/сложность».

7. Блочное строение. При соблюдении принципа блочного строения облегчается разработка сложных моделей и появляется возможность использования накопленного опыта и готовых блоков с минимальными связями между ними. Выделение блоков производится с учетом разделения модели по этапам и режимам функционирования системы. К примеру, при построении модели для системы радиоразведки можно выделить модель работы излучателей, модель обнаружения излучателей, модель пеленгования и т.д.

## Пример - модель развития экономики (модель Харрода).

Эта упрощенная модель развития экономики страны предложена английским экономистом Р. Харродом. В модели учитывается один определяемый фактор - капитальные вложения, а состояние экономики оценивается через размер национального дохода. Для математической постановки задачи введем следующие

обозначения:

- $Y_t$  - национальный доход в год  $t$ ;
- $K_t$  - производственные фонды в год  $t$ ;
- $C_t$  - объем потребления в год  $t$ ;
- $S_t$  - объем накопления в год  $t$ ;
- $V_t$  - капитальные вложения в год  $t$ .

Будем предполагать, что функционирование экономики происходит при выполнении следующих условий:

- условие баланса доходов и расходов за каждый год

$$Y_t = C_t + S_t;$$

- условие исключения пролеживания капитала

$$S_t = V_t;$$

- условие пропорционального деления национального годового дохода

$$S_t = aY_t.$$



Два условия принимаются для характеристики внутренних экономических процессов. Первое условие характеризует связь капитальных вложений и общей суммы производственных фондов, второе - связь национального годового дохода и производственных фондов.

Капитальные вложения в год / могут рассматриваться как прирост производственных фондов или производная от функции производственные фонды принимается как капитальные годовые вложения:

$$V_t = \frac{dK}{dt} \cdot$$

Национальный доход в каждый год принимается как отдача производственных фондов с соответствующим нормативным коэффициентом фондоотдачи:

$$Y_t = \frac{K_t}{b}.$$

Соединяя условия задачи, можно получить следующее соотношение:

$$Y_t = \frac{Y_t}{a} = \frac{dK}{adt} = \frac{b}{a} \frac{dY}{dt}.$$

Отсюда следует итоговое уравнение Харрода:

$$b \frac{dY}{dt} = aY.$$

Его решением является экспоненциальное изменение национального дохода по годовым интервалам:

$$Y_t = Y_0 e^{at/b}.$$

Несмотря на упрощенный вид математической модели, ее результат может быть использован для укрупненного анализа национальной экономики. Параметры *a* и *b* могут стать параметрами управления при выборе плановой стратегии развития в целях максимального приближения к предпочтительной траектории изменения национального дохода или для выбора минимального интервала времени достижения заданного уровня национального дохода.

# ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Сущность построения математической модели состоит в том, что реальная система упрощается, схематизируется и описывается с помощью того или иного математического аппарата. Можно выделить следующие основные этапы построения моделей.

**1. Содержательное описание моделируемого объекта.** Объекты моделирования описываются с позиций системного подхода. Исходя из цели исследования устанавливаются совокупность элементов, взаимосвязи между элементами, возможные состояния каждого элемента, существенные характеристики состояний и соотношения между ними. Например, фиксируется, что если значение одного параметра возрастает, то значение другого – убывает и т.п.

Вопросы, связанные с полнотой и единственностью набора характеристик, не рассматриваются. Естественно, в таком словесном описании возможны логические противоречия, неопределенности. Это исходная естественно-научная концепция исследуемого объекта. Такое предварительное, приближенное представление системы называют *концептуальной моделью*. Для того чтобы содержательное описание служило хорошей основой для последующей формализации, требуется обстоятельно изучить моделируемый объект. Нередко естественное стремление ускорить разработку модели уводит исследователя от данного этапа непосредственно к решению формальных вопросов. В результате построенная без достаточного содержательного базиса модель оказывается непригодной к использованию.

# ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

## 1. Содержательное описание моделируемого объекта.

**Объекты** моделирования описываются с позиций системного подхода. Исходя из цели исследования устанавливаются совокупность элементов, взаимосвязи между элементами, возможные состояния каждого элемента, существенные характеристики состояний и соотношения между ними. Например, фиксируется, что если значение одного параметра возрастает, то значение другого – убывает и т.п.

# ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

## *2. Формализация операций.*

*Формализация сводится в общих чертах к следующему. На основе содержательного описания определяется исходное множество характеристик системы. Для выделения существенных характеристик необходим хотя бы приближенный анализ каждой из них. При проведении анализа опираются на постановку задачи и понимание природы исследуемой системы. После исключения несущественных характеристик выделяют управляемые и неуправляемые параметры и производят символизацию. Затем определяется система ограничений на значения управляемых параметров. Если ограничения не носят принципиальный характер, то ими пренебрегают.*

Дальнейшие действия связаны с формированием целевой функции модели. В соответствии с известными положениями выбираются показатели исхода операции и определяется примерный вид функции полезности на исходах. Если функция полезности близка к пороговой (или монотонной), то оценка эффективности решений возможна непосредственно по показателям исхода операции. В этом случае необходимо выбрать способ свертки показателей (способ перехода от множества показателей к одному обобщенному показателю) и произвести саму свертку. По свертке показателей формируются критерий эффективности и целевая функция.

В целом замена содержательного описания формальным - это итеративный процесс.



# ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

## 3. Проверка адекватности модели.

Требование адекватности находится в противоречии с требованием простоты, и это нужно учитывать при проверке модели на адекватность. Исходный вариант модели предварительно проверяется по следующим основным аспектам:

1. Все ли существенные параметры включены в модель?
2. Нет ли в модели несущественных параметров?
3. Правильно ли отражены функциональные связи между
4. параметрами?
5. Правильно ли определены ограничения на значения пара
6. метров?

Для проверки рекомендуется привлекать специалистов, которые не принимали участия в разработке модели. Они могут более объективно рассмотреть модель и заметить ее слабые стороны, чем ее разработчики. Такая предварительная проверка модели позволяет выявить грубые ошибки. После этого приступают к реализации модели и проведению исследований. Полученные результаты моделирования подвергаются анализу на соответствие известным свойствам исследуемого объекта.

Для установления соответствия создаваемой модели оригиналу используются следующие пути:

1. сравнение результатов моделирования с отдельными экспериментальными результатами, полученными при одинаковых условиях;
2. использование других близких моделей;
3. сопоставление структуры и функционирования модели с прототипом.

**Главным путем проверки адекватности модели исследуемому объекту выступает практика.** Однако она требует накопления статистики, которая далеко не всегда бывает достаточной для получения надежных данных. По результатам проверки модели на адекватность принимается решение о возможности ее практического использования или о проведении корректировки.

# ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

## 4. Корректировка модели.

При корректировке модели могут уточняться существенные параметры, ограничения на значения управляемых параметров, показатели исхода операции, связи показателей исхода операции с существенными параметрами, критерий эффективности. После внесения изменений в модель вновь выполняется оценка адекватности.

# ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

## 5. Оптимизация модели

Сущность оптимизации моделей состоит в их упрощении при заданном уровне адекватности. Основными показателями, по которым возможна оптимизация модели, выступают время и затраты средств для проведения исследований на ней. В основе оптимизации лежит возможность преобразования моделей из одной формы в другую. Преобразование может выполняться либо с использованием математических методов, либо эвристическим путем.

# **ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ШКАЛ ИЗМЕРЕНИЯ.**

# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ШКАЛ ИЗМЕРЕНИЯ

Разработка и эксплуатация информационных, телекоммуникационных, энергетических, транспортных и других сложных систем выявили проблемы, решить которые можно лишь на основе комплексной оценки различных по своей природе факторов, разнородных связей, внешних условий и т. д. В связи с этим в системном анализе выделяют раздел «теория эффективности», связанный с определением качества систем и процессов, их реализующих.

Теория эффективности - научное направление, предметом изучения которого являются вопросы количественной оценки качества характеристик и эффективности функционирования сложных систем.

В общем случае оценка сложных систем может проводиться для разных целей. Во-первых, для оптимизации - выбора наилучшего алгоритма из нескольких, реализующих один закон функционирования системы. Во-вторых, для идентификации - определения системы, качество которой наиболее соответствует реальному объекту в заданных условиях. В-третьих, для принятия решений по управлению системой. Перечень частных целей и задач, требующих оценки систем, можно продолжить. Общим во всех подобных задачах является подход, основанный на том, что понятия «оценка» и «оценивание» рассматриваются отдельно и оценивание проводится в несколько этапов. Под оценкой понимают результат, получаемый в ходе процесса, который определен как оценивание.



Принято считать, что с термином «оценка» сопоставляется понятие «истинность», а с термином «оценивание» - «правильность». Другими словами, истинная оценка может быть получена только при правильном процессе оценивания. Это положение определяет место теории эффективности в задачах системного анализа.

## **Четыре этапа оценивания сложных систем.**

**Этап 1. Определение цели оценивания.** В системном анализе выделяют два типа целей. Качественной называют цель, достижение которой выражается в номинальной шкале или в шкале порядка. Количественной называют цель, достижение которой выражается в количественных шкалах. Определение цели должно осуществляться относительно системы, в которой рассматриваемая система является элементом (подсистемой).

**Этап 2. Измерение свойств систем, признанных существенными для целей оценивания.** Для этого выбирают соответствующие шкалы измерений свойств и всем исследуемым свойствам систем присваивается определенное значение на этих шкалах.

**Этап 3. Обоснование предпочтений критериев качества и критериев эффективности функционирования систем на основе измеренных на выбранных шкалах свойств.**

**Этап 4. Собственно оценивание.** Все исследуемые системы, рассматриваемые как альтернативы, сравниваются по сформулированным критериям и в зависимости от целей оценивания ранжируются, выбираются, оптимизируются и т.д.

# ПОНЯТИЕ ШКАЛЫ

В основе оценки лежит процесс сопоставления значений качественных или количественных характеристик исследуемой системы значениям соответствующих шкал. Исследование характеристик привело к выводу о том, что все возможные шкалы принадлежат к одному из нескольких типов, определяемых перечнем допустимых операций на этих шкалах.

Формально шкалой называется кортеж из трех элементов  $\langle X, \varphi, Y \rangle$ , где  $X$  реальный объект,  $Y$  шкала,  $\varphi$  гомоморфное отображение  $X$  на  $Y$ .

В современной теории измерений определено:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n, R_x\}$  эмпирическая система с отношением, включающая множество свойств  $x_j$ , на которых в соответствии с целями измерения задано некоторое отношение  $R_x$ .

В процессе измерения необходимо каждому свойству  $x_i \in X$  поставить в соответствие признак или число, его характеризующее.

Если, например, целью измерения является выбор, то элементы  $x_i$ , рассматриваются как альтернативы, а отношение  $R_x$  должно позволять сравнивать эти альтернативы;

$Y = \{\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n), R_y\}$  с отношением, являющаяся отображением эмпирической системы в виде некоторой образной или числовой системы, соответствующей измеряемой эмпирической системе;

$\varphi \in \Phi$  - гомоморфное отображение  $X$  на  $Y$ , устанавливающее соответствие между  $Z$  и  $Y$  так, что  $\{\varphi(x_1), \dots, \varphi(x_n)\} \in R_y$  только тогда, когда  $(x_1, \dots, x_n) \in R_x$ .

Тип шкалы определяется по  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\}$ , множеству допустимых преобразований  $x_i \rightarrow y_i$ .

В соответствии с приведенными определениями, охватывающими как количественные, так и качественные шкалы, измерение эмпирической системы  $X$  с отношением  $R_x$  состоит в определении знаковой системы  $Y$  с отношением  $R_y$ , соответствующей измеряемой системе. Предпочтения  $R_x$  на множестве  $X \times X$  в результате измерения переводятся в знаковые (в том числе и количественные) соотношения  $R_y$  на множестве  $Y \times Y$ .

# ШКАЛЫ НОМИНАЛЬНОГО ТИПА

Самой слабой качественной шкалой является номинальная (шкала наименований, классификационная шкала), по которой объектам  $x_i$ , или их неразличимым группам дается некоторый признак. Основным свойством этих шкал является сохранение неизменными отношений равенства между элементами эмпирической системы в эквивалентных шкалах.

Шкалы номинального типа задаются множеством взаимно однозначных допустимых преобразований шкальных значений.

Название «номинальный» объясняется тем, что такой признак дает лишь ничем не связанные имена объектам. Эти значения для разных объектов либо совпадают, либо различаются; никакие более тонкие соотношения между значениями не зафиксированы.

Шкалы номинального типа допускают только различение объектов на основе проверки выполнения отношения равенства на множестве этих элементов.

Номинальный тип шкал соответствует простейшему виду измерений, при котором шкальные значения используются лишь как имена объектов, поэтому шкалы номинального типа часто называют также шкалами наименований.

Примерами измерений в номинальном типе шкал могут служить номера автомашин, телефонов, коды городов, лиц, объектов и т. п. Единственная цель таких измерений выявление различий между объектами разных классов. Если каждый класс состоит из одного объекта, шкала наименований используется для различения объектов.



# Измерение объектов в номинальной шкале

Эмпирическая  
система  $X$

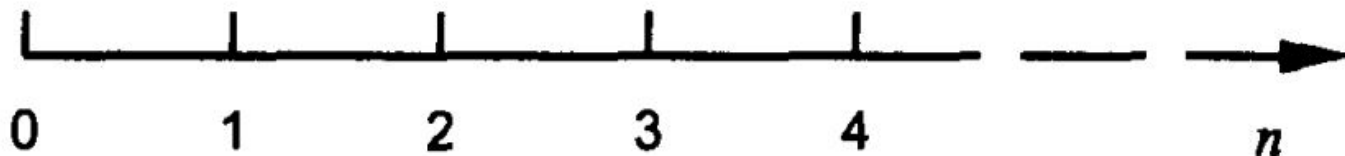
$a \in A$

$b \in B$

$\{c, d\} \in C$

Гомоморфное  
отображение  $\varphi$

Знаковая  
система  $Y$



На рис. изображено измерение в номинальной шкале объектов, представляющих три множества элементов  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Здесь эмпирическую систему представляют четыре элемента:  $a \in A$ ,  $b \in B$ ,  $\{c, d\} \in C$ , принадлежащих соответствующим множествам. Знаковая система представлена цифровой шкалой наименований, включающей элементы 1, 2, ...,  $n$  и сохраняющей отношение равенства. Гомоморфное отображение  $\varphi$  ставит в соответствие каждому элементу из эмпирической системы определенный элемент знаковой системы.

Следует обратить внимание на две особенности номинальных шкал.

Во-первых, элементам  $c$  и  $d$  поставлено в соответствие одно и то же значение шкалы измерения. Это означает, что при измерении эти элементы не различаются.

Во-вторых, при измерении в шкале наименований символы  $1, 2, 3, \dots, n$ , используемые в качестве шкальных значений, являются не числами, а цифрами, служащими лишь для обозначения и различия объектов. Так, цифра 2 не является в два раза или на единицу больше цифры 1 в отличие от чисел 2 и 1.

Всякая обработка результатов измерения в номинальной шкале должна учитывать данные особенности. В противном случае могут быть сделаны ошибочные выводы по оценке систем, не соответствующие действительности.

# ШКАЛЫ ПОРЯДКА

Шкала называется ранговой (шкала порядка), если множество  $\Phi$  состоит из всех монотонно возрастающих допустимых преобразований шкальных значений.

Монотонно возрастающим называется такое преобразование  $\varphi(x)$ , которое удовлетворяет условию: если  $x_1 > x_2$ , то и  $\varphi(x_1) > \varphi(x_2)$  для любых шкальных значений  $x_1 > x_2$  из области определения  $\Phi(x)$ . Порядковый тип шкал допускает не только различие объектов, как номинальный тип, но и используется для упорядочения объектов по измеряемым свойствам.

Измерение в шкале порядка может применяться, например, в следующих ситуациях:

- необходимо упорядочить объекты во времени или пространстве. Это ситуация, когда интересуются не сравнением степени выраженности какого-либо их качества, а лишь взаимным пространственным или временным расположением этих объектов;
- нужно упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, но при этом не требуется производить его точное измерение;
- какое-либо качество в принципе измеримо, но в настоящий момент не может быть измерено по причинам практического или теоретического характера.

Примером шкалы порядка может служить шкала твердости минералов, предложенная в 1811 г. немецким ученым Ф. Моосом и до сих пор распространенная в полевой геологической работе.

Другими примерами шкал порядка могут служить шкалы силы ветра, силы землетрясения, сортности товаров в торговле, различные социологические шкалы и т.п.

Любая шкала, полученная из шкалы порядка  $S$  с помощью произвольного монотонно возрастающего преобразования шкальных значений, будет также точной шкалой порядка для исходной эмпирической системы с отношениями.

Несколько более «сильными», чем порядковые шкалы, являются шкалы гиперпорядка. Допустимыми для этих шкал являются гипермонотонные преобразования, т.е. преобразования  $\varphi(x)$ , такие, что для любых  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$ .

$$\varphi(x_1) - \varphi(x_2) < \varphi(x_3) - \varphi(x_4)$$

только когда  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$  принадлежат области определения  $\varphi(x)$  и  $x_1 - x_2 < x_3 - x_4$ .

При измерении в шкалах гиперпорядка сохраняется упорядочение разностей численных оценок.







































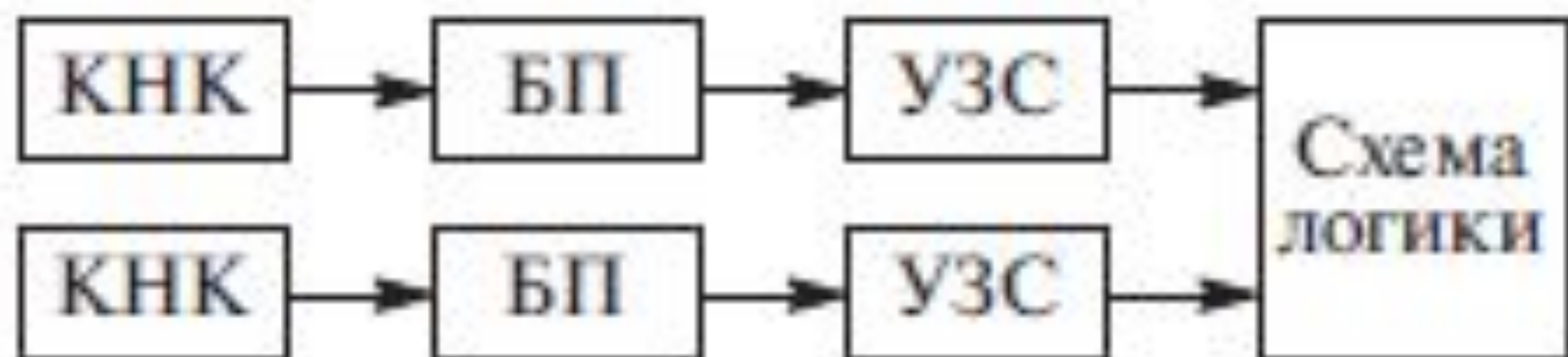












## Центральный процессор

### Арифметико-логическое устройство

Регистровая  
память

Регистр  
флагов

Выполняемая  
операция

### Устройство управления

Программный  
счетчик

Регистр  
адреса

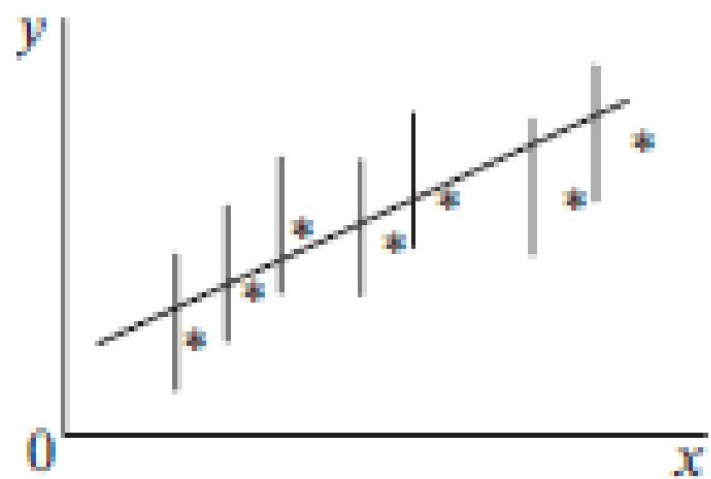
Регистр  
команды

Генератор  
тактовой  
частоты

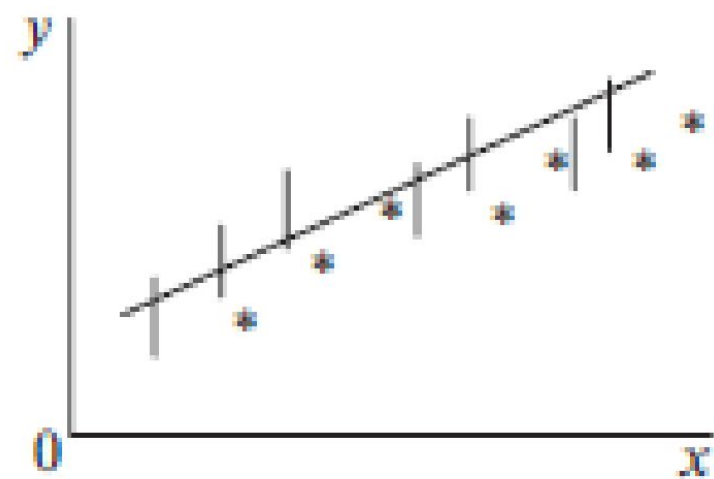
Пульт  
управления







a)



б)





Таблица 3.1

Независимая переменная	Значение переменной
Цвет изображения	Черно-белое Одноцветное Двухцветное Трехцветное Семицветное
Размерности изображения	Плоское изображение Объемное изображение
Градации яркости	Непрерывные Дискретные (оцифрованные)
Звуковое сопровождение	Без звука Монофонический звук Стерефонический звук
Передача запахов	Без передачи запахов С сопровождением запахов
Наличие обратной связи	Без обратной связи С обратной связью









