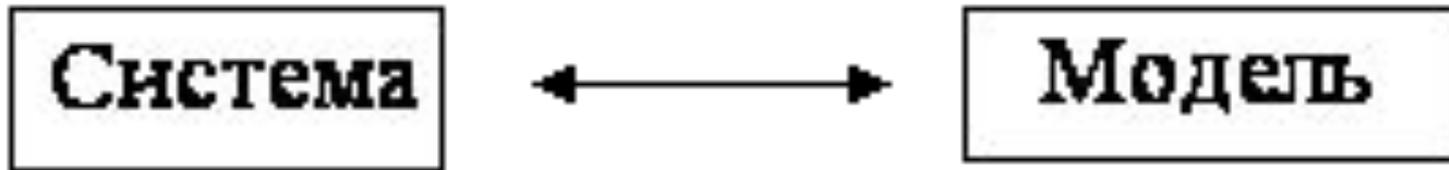


МОДЕЛИ СИСТЕМ

1. **Понятие моделирования, модели системы.**
2. **Свойства моделей. Требования, предъявляемые к моделям.**
3. **Классификация моделей систем.**
4. **Способы описания систем.**
 - Модель черного ящика.*
 - Модель состава системы.*
 - Модель структуры системы.*
 - Динамические модели систем.*

- **Модель - это искусственно создаваемый образ конкретного объекта, процесса или явления, любой системы, отражающий в той или иной степени процессы в исследуемой системе.**
- **Под *моделированием системы* понимают процесс создания модели, отражающей свойства системы, это способ исследования системы с помощью модели.**



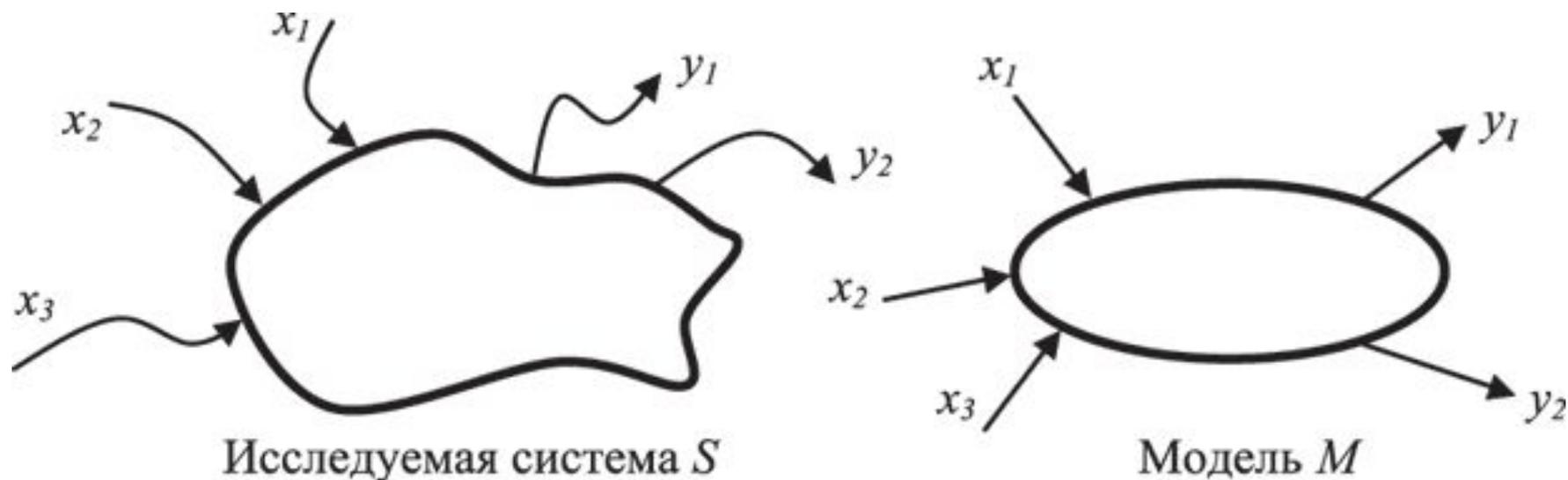
- **В основе моделирования лежит метод аналогий.** Аналогия – подобие, сходство предметов в каких-либо признаках, отношениях. Метод аналогий состоит в том, что **изучается один объект – модель, а выводы переносятся на другой – оригинал.**

Модель вместо исходного объекта используется в случаях, когда :

- «**эксперимент опасен**» — при деятельности в агрессивной среде вместо человека лучше использовать его макет; примером может служить луноход;
 - «**дорог**» — прежде чем использовать идею в реальной экономике страны, лучше опробовать её на математической или имитационной модели экономики, просчитав на ней все «за» и «против» и получив представление о возможных последствиях;
 - «**долговременен**» — изучить коррозию — процесс, происходящий десятилетия, — выгоднее и быстрее на модели;
 - «**кратковременен**» — изучать детали протекания процесса обработки металлов взрывом лучше на модели, поскольку такой процесс скоротечен во времени;
 - «**протяжен в пространстве**» — для изучения космогонических процессов удобны математические модели, поскольку реальные полёты к звёздам (пока) невозможны;
 - «**микроскопичен**» — для изучения взаимодействия атомов удобно воспользоваться их моделью;
 - «**невозможен**» — часто человек имеет дело с ситуацией, когда объекта нет или он ещё только проектируется; Пример — исторические процессы, — ведь повернуть историю вспять невозможно;
 - «**ненагляден**» — модель позволяет заглянуть в детали процесса, в его промежуточные стадии; при построении модели исследователь как бы вынужден описать причинно-следственные связи, позволяющие понять все в единстве, системе.
-

Модель M , описывающая систему $S(x_1, x_2, \dots, x_n; R)$, имеет вид: $M=(z_1, z_2, \dots, z_m; Q)$, где $z_i \in Z, i=1, 2, \dots, m, Q, R$ - множества отношений над X - множеством входных, выходных сигналов и состояний системы, Z - множество описаний, представлений элементов и подмножеств X .

Схема построения модели M системы S с входными сигналами X и выходными сигналами Y



Процесс моделирования состоит из трёх стадий:

1. **формализации** (переход от реального объекта к модели),
2. **моделирования** (исследование и преобразования модели),
3. **интерпретации** (перевод результатов моделирования в область реальности).

Модель есть зависимость F между входом X и выходом Y . Модель отражает закономерность $Y = F(X)$. Модель верна в рамках допущенных при её построении гипотез. Поэтому модель ограничена некоторой областью и адекватна в ней.

Задачи, решаемые на модели, делятся на прямые и обратные. Прямые задачи по заданному X находят Y путём подстановки X в уравнение $Y = F(X)$ и называют **задачами анализа**.

Обратные задачи по заданному Y находят X путём нахождения обратной функции F^{-1} и подстановки $X = F^{-1}(Y)$, их называют **задачами синтеза**.

Модель является средством «упрощения» объекта. Причина упрощения модели: необходимость практической реализации модели и реального оперирования с ней. **Очень сложные модели невозможно реализовать и практически использовать.**

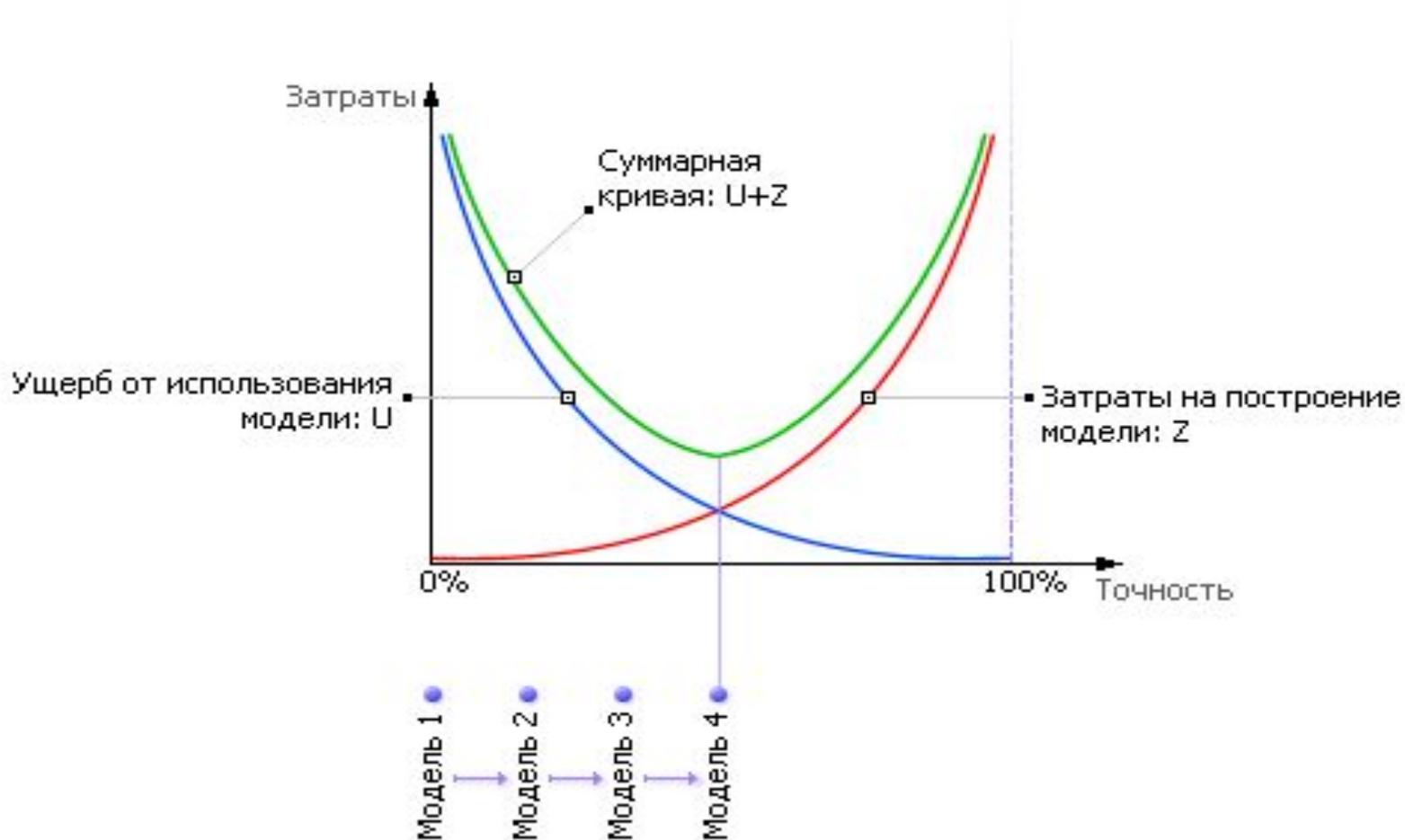
Среди **методов упрощения** можно назвать:

- Исключение из рассмотрения ряда переменных:
а) исключение несущественных; б) агрегирование;
 - Изменение природы переменных:
а) рассмотрение переменных как констант (например, путем замены случайной величины ее математическим ожиданием);
б) рассмотрение дискретных величин как непрерывных, и наоборот;
 - Изменение характера связи между элементами (например, замена нелинейных зависимостей на линейные);
 - Изменение ограничений – снятие или введение новых.
-

- Поскольку моделирование — способ замещения реального объекта его аналогом, то возникает вопрос: **насколько аналог должен соответствовать исходному объекту?**
- Модель создаётся из соображений компромисса между **затратами на её построение и ущербом от неточности её применения.** Это точка между двумя бесконечностями. То есть, моделируя, следует иметь в виду, что **исследователь должен стремиться к оптимуму суммарных затрат, включающих ущерб от применения и затраты на изготовление модели.**
- Просуммируйте две кривые затрат — получится одна кривая общих затрат. Оптимум находится на суммарной кривой: он лежит между этими крайними вариантами. **Неточные модели не нужны, но и абсолютная точность тоже не нужна, да и невозможна.**

Соотношение суммарных затрат и точности

для различных вариантов детализации прикладной модели



«Модель — поиск конечного в бесконечном»
(Д. И. Менделеев).

Что отбрасывается, чтобы превратить бесконечное в конечное?

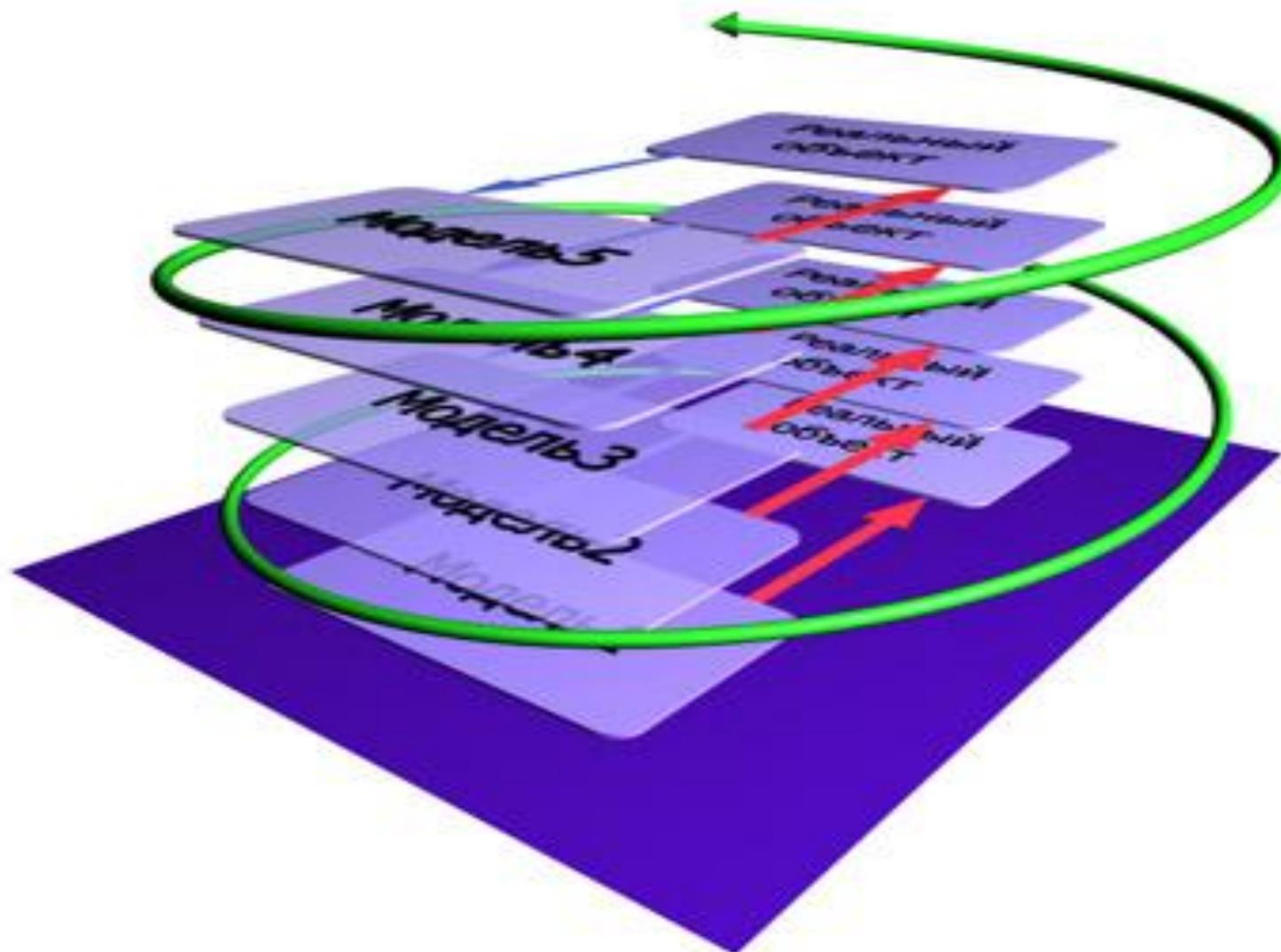
В модель включаются только существенные аспекты, представляющие объект, и отбрасываются все *остальные* (бесконечное большинство).

Существенный или несущественный аспект описания определяют согласно цели исследования. То есть каждая модель составляется с какой-то целью.

Построение модели является сложным творческим итерационным процессом, в котором в процессе построения модели могут уточняться и даже изменяться цели ее создания и другие исходные данные.

Спиралевидный характер процесса

проектирования и уточнения прикладных моделей



На практике по шкале точности двигаются слева направо, то есть от простых моделей («Модель 1», «Модель 2»...) ко все более сложным («Модель 3», «Модель 4»...). А **процесс моделирования имеет циклический спиралевидный характер**: если построенная модель не удовлетворяет требованиям точности, то её детализируют, дорабатывают на следующем цикле.

Улучшая модель, следят, чтобы **эффект от усложнения модели превышал связанные с этим затраты**. Как только исследователь замечает, что затраты на уточнение модели превышают эффект от точности при применении модели, следует остановиться, поскольку точка оптимума достигнута.

Требования, предъявляемые к моделям

1. Должна описывать исследуемый объект с **достаточной полнотой** и обладать свойством **эволюционности**.
2. Должна отражать те **существенные характеристики** объекта-оригинала, которые необходимы для достижения **цели** моделирования.
3. Должна быть **достаточно простой**, т.е. не содержать второстепенных связей.
4. **Степень абстрактности** модели должна быть допустимой по критерию получения заданной **достоверности** результатов исследований.
5. Должна обеспечивать **возможность проверки** ее правильности.

Свойства моделей:

- **конечность**: модель отображает оригинал лишь в конечном числе его отношений и, кроме того, ресурсы моделирования конечны;
- **упрощенность**: модель отображает только существенные стороны объекта;
- **приблизительность**: действительность отображается моделью грубо или приблизительно;
- **адекватность**: модель успешно описывает моделируемую систему;
- **информативность**: модель должна содержать достаточную информацию о системе - в рамках гипотез, принятых при построении модели.

Основное требование к модели – это её адекватность (*приравненный, равный - лат.*), под которым понимается **степень соответствия** процессов, протекающих в модели, процессам, имеющим место, в системе, и, следовательно, степень соответствия свойств и характеристик модели свойствам и характеристикам системы.

Адекватность модели зависит от:

- а) степени полноты и достоверности сведений об исследуемой системе;**
 - б) степени детализации модели;**
 - в) корректности параметризации модели, под которой понимается установления соответствия между параметрами системы и модели;**
 - г) уровня подготовки и опыта самого исследователя.**
-

-
- **Модель** как инструмент исследования, **позволяет** на основе регулирования исходными параметрами, предположениями **прогнозировать поведение системы**.
 - При составлении модели отражают отдельные стороны функционирования системы, направленные на решение поставленной **целевой** установки.
-

Жизненный цикл моделируемой системы:

1. Сбор информации об объекте, выдвижение гипотез, предмодельный анализ;
2. Проектирование структуры и состава моделей (подмоделей);
3. Построение спецификаций модели, разработка и отладка отдельных подмоделей, сборка модели в целом, идентификация (если это нужно) параметров моделей;
4. Исследование модели - выбор метода исследования и разработка алгоритма (программы) моделирования;
5. Исследование адекватности, устойчивости, чувствительности модели;
6. Оценка средств моделирования (затраченных ресурсов);
7. Интерпретация, анализ результатов моделирования и установление некоторых причинно - следственных связей в исследуемой системе;
8. Генерация отчетов и проектных решений;
9. Уточнение, модификация модели, если это необходимо, и возврат к исследуемой системе с новыми знаниями, полученными с помощью моделирования.

Классификация моделей

Многообразие систем предопределяет использование для их изучения множества различных моделей. В качестве **основных признаков**, необходимых для **классификации** моделей, можно рассмотреть:

- 1) **степень адекватности модели**;
 - 2) **характер исследуемых на модели процессов**;
 - 3) **способ реализации модели**.
- 1) В зависимости от **степени адекватности**, модели подразделяются на:
- а) **полные** (подробные) модели, когда модель в полной мере адекватна изучаемой системе, что характерно для тривиальных систем;
 - б) **приближенные** модели, когда модель не отражает некоторые аспекты функционирования моделируемой системы, что характерно для большинства моделей.
-

-
- 2) В зависимости от **характера процессов функционирования** системы, все модели могут быть подразделены на:
- а) **непрерывные и дискретные** модели — для моделирования процессов с дискретными и непрерывными состояниями;
 - б) **детерминированные и стохастические** (вероятностные) модели — для моделирования соответствующих процессов функционирования систем;
 - в) **статические** (структурные) и **динамические** (функциональные) модели; при этом статические модели используются для изучения поведения системы в отдельные моменты времени, а динамические отображают поведение системы во времени.
-

-
- 3) В зависимости от **способа реализации** модели или от способа представления системы, модели подразделяются на:
- а) **физические** модели — это модели, процесс функционирования которых такой же, как у оригинала, имеет ту же или подобную физическую природу;
 - б) **математические** модели — это "абстрактные" модели, представляющие собой формализованное описание изучаемой системы с помощью абстрактного языка, в частности, с помощью математических соотношений, отображающих процесс функционирования системы.

Математические модели можно разделить на:

- а) **аналитические** - для которых характерно то, что процессы функционирования, как отдельных элементов, так и системы в целом записываются в виде некоторых математических соотношений (алгебраических, дифференциальных, логических и т.д.);
 - б) **имитационные** - когда модель воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем модель имитирует все элементарные составляющие процесса с обязательным сохранением их взаимосвязанности и взаимообусловленности, логической структуры и последовательности протекания по времени;
 - в) **комбинированные** - когда процессы функционирования одних элементов системы моделируются аналитически, а процессы функционирования остальных — имитационно.
-

Модели, если отвлечься от областей, сфер их применения, бывают трех типов:

- **Познавательная модель** - форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний. *Познавательная модель, как правило, подгоняется под реальность и является теоретической моделью.*
- **Прагматическая модель** - средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления. Реальность в них подгоняется под некоторую *прагматическую модель*. Это, как правило, *прикладные модели*.
- **Инструментальная модель** - средство построения, исследования и/или использования *прагматических и/или познавательных моделей*.

По уровню, "глубине" *моделирования модели* бывают:

- **эмпирические** - на основе эмпирических фактов, зависимостей;
- **теоретические** - на основе математических описаний;
- **смешанные**, полуэмпирические - на основе эмпирических зависимостей и математических описаний.

- Модель **функциональная**, если она представима в виде системы каких-либо функциональных соотношений.
- Модель **теоретико-множественная**, если она представима с помощью некоторых множеств и отношений принадлежности им и между ними.
- Модель **логическая**, если она представима предикатами, логическими функциями.
- Модель **игровая**, если она описывает, реализует некоторую игровую ситуацию между участниками игры (лицами, коалициями).
- Модель **алгоритмическая**, если она описана некоторым алгоритмом или комплексом алгоритмов, определяющим ее функционирование, развитие.
- Модель **структурная**, если она представима структурой данных или структурами данных и отношениями между ними.

-
- Модель **графовая**, если она представима графом или графами и отношениями между ними.
 - Модель **иерархическая** (древовидная), если представима некоторой иерархической структурой (деревом).
 - Модель **сетевая**, если она представима некоторой сетевой структурой.
 - Модель языковая, **лингвистическая**, если она представлена некоторым лингвистическим объектом, формализованной языковой системой или структурой. Иногда такие модели называют вербальными, синтаксическими и т.п.
 - Модель **визуальная**, если она позволяет визуализировать отношения и связи моделируемой системы, особенно в динамике.
 - Модель **натурная**, если она есть материальная копия объекта моделирования.
 - Модель **геометрическая**, графическая, если она представима геометрическими образами и объектами.
-

Роль модели

Построив модель, исследователь может:

- **прогнозировать свойства и поведение объекта** как внутри области, в которой построена модель, так и (при обоснованном применении) за её пределами (прогнозирующая роль модели);
- **управлять объектом**, отбирая наилучшие воздействия путём испытания их на модели (управляющая роль);
- **познавать явление или объект**, модель которого он построил (познавательная роль модели);
- **получать навыки по управлению объектом** путём использования модели как тренажёра или игры (обучающая роль);
- **улучшать объект**, изменяя модель и испытывая её (проектная роль).

Способы описания систем

Модель черного ящика

- Наиболее простой, грубой формой описания системы является представление ее в виде **черного ящика**. Такое представление **не раскрывает внутренней структуры, внутреннего устройства системы**.
- Любая система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на среду, т.е. у системы есть **выходы**, которые отражают ее целевое предназначение.
- С другой стороны для воздействия на систему, управления ей существуют **входы** системы. В результате такого представления получилась модель системы, которая называется черным ящиком

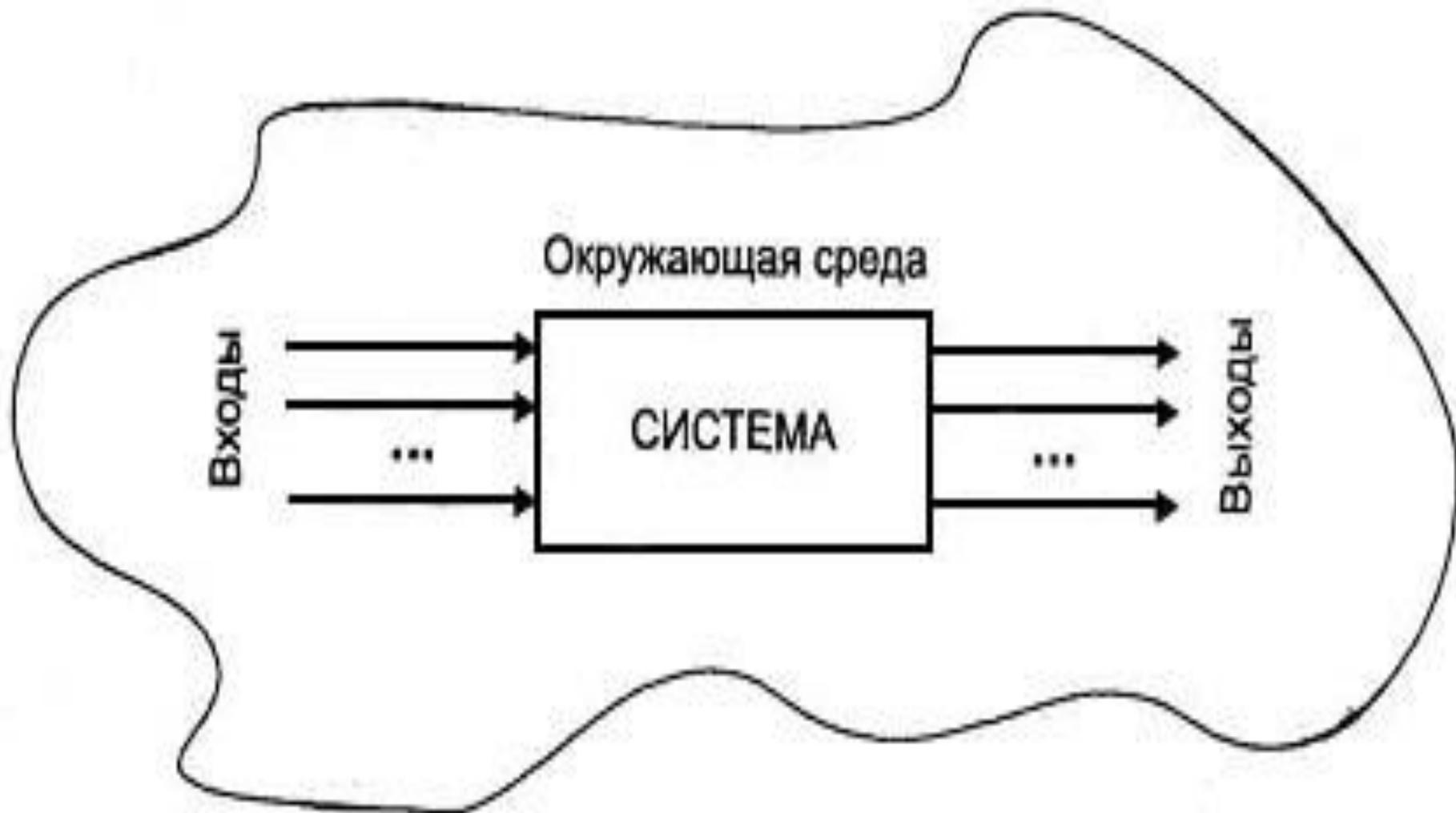
Модель "черного ящика" является простейшим отображением реальной системы, в которой полностью отсутствуют сведения о внутреннем содержании этого фрагмента реального мира, а задаются только входные и выходные связи системы со средой.

Такая модель, несмотря на внешнюю простоту и отсутствие сведений о внутренности системы, часто оказывается очень полезной, а иногда и единственно возможной.

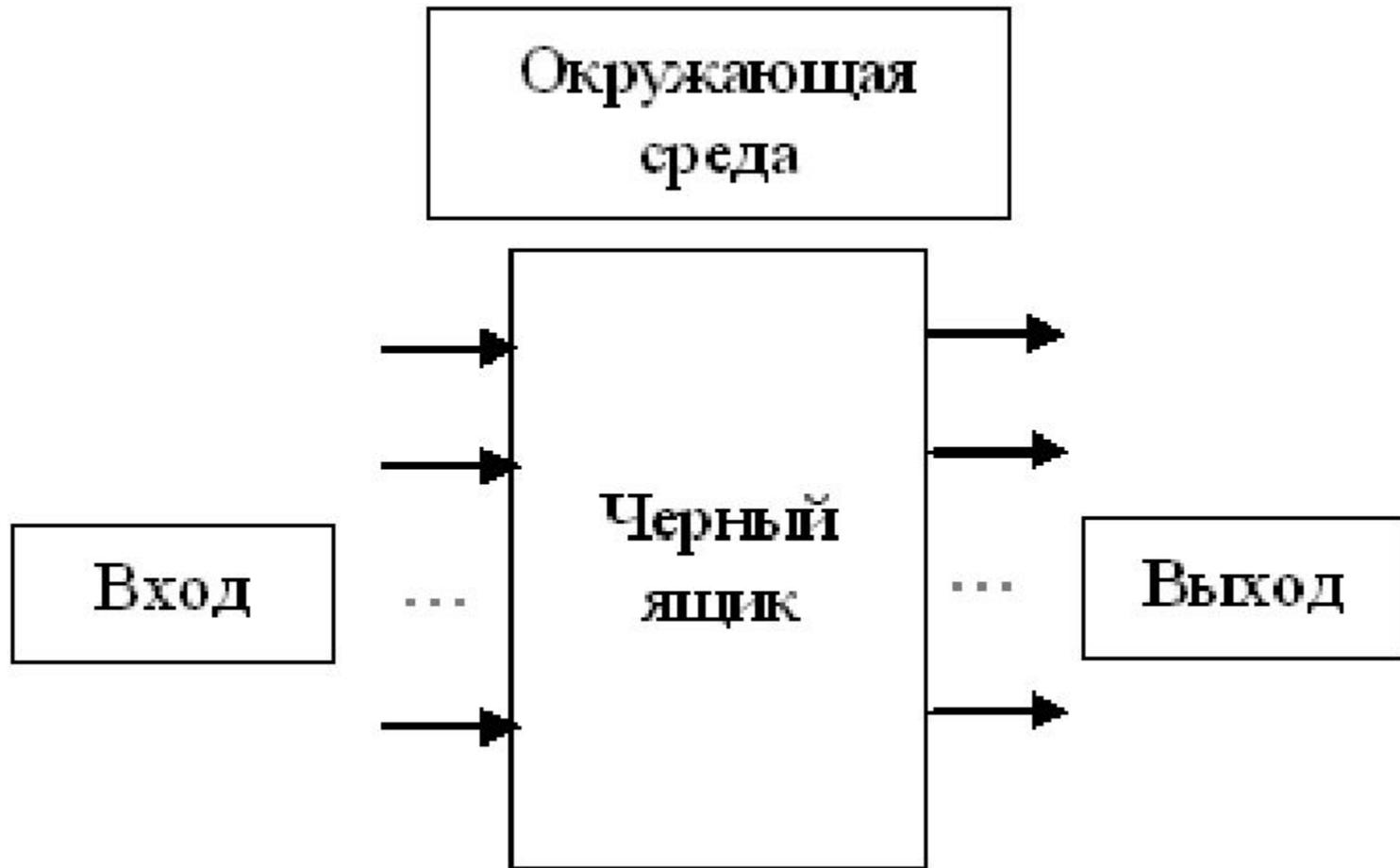
Бросающаяся в глаза внешняя простота модели "черного ящика" очень обманчива. Кажется, просто перечисли входы-выходы системы — и модель готова. Но как только это потребуется сделать для конкретной системы, исследователь-"модельер" сталкивается с множеством трудностей.

Занимаясь построением модели "черного ящика", системный аналитик отбирает из этого бесчисленного множества связей конечное их число для включения в списки входов и выходов. Критерием отбора при этом является **целевое назначение** модели. **В модель включается то, что существенно и важно для достижения цели, а то, что несущественно или неважно, — не включается в модель.**

Модель "черного ящика"



Представление системы в виде черного ящика



- Это название подчеркивает **полное отсутствие сведений о внутреннем содержании модели**. Задаются только связи модели с внешней средой в виде входных и выходных воздействий. В общем виде математическое описание исследуемой системы может быть выражено зависимостью

$$\{Y\} = \Phi[\{X\}, \{Z\}, \{V\}],$$

где $\{Y\} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_l)$ - множество векторов **выходных переменных системы**.

В общем случае множество **входных переменных** подразделяют на три класса:

$\{X\} = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ - множество векторов входных контролируемых управляемых независимых переменных (факторов), действующих на процессы;

$\{Z\} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_k)$ - множество векторов входных контролируемых, но неуправляемых независимых переменных;

$\{V\} = (V_1, V_2, \dots, V_n)$ - множество векторов неконтролируемых возмущающих воздействий;

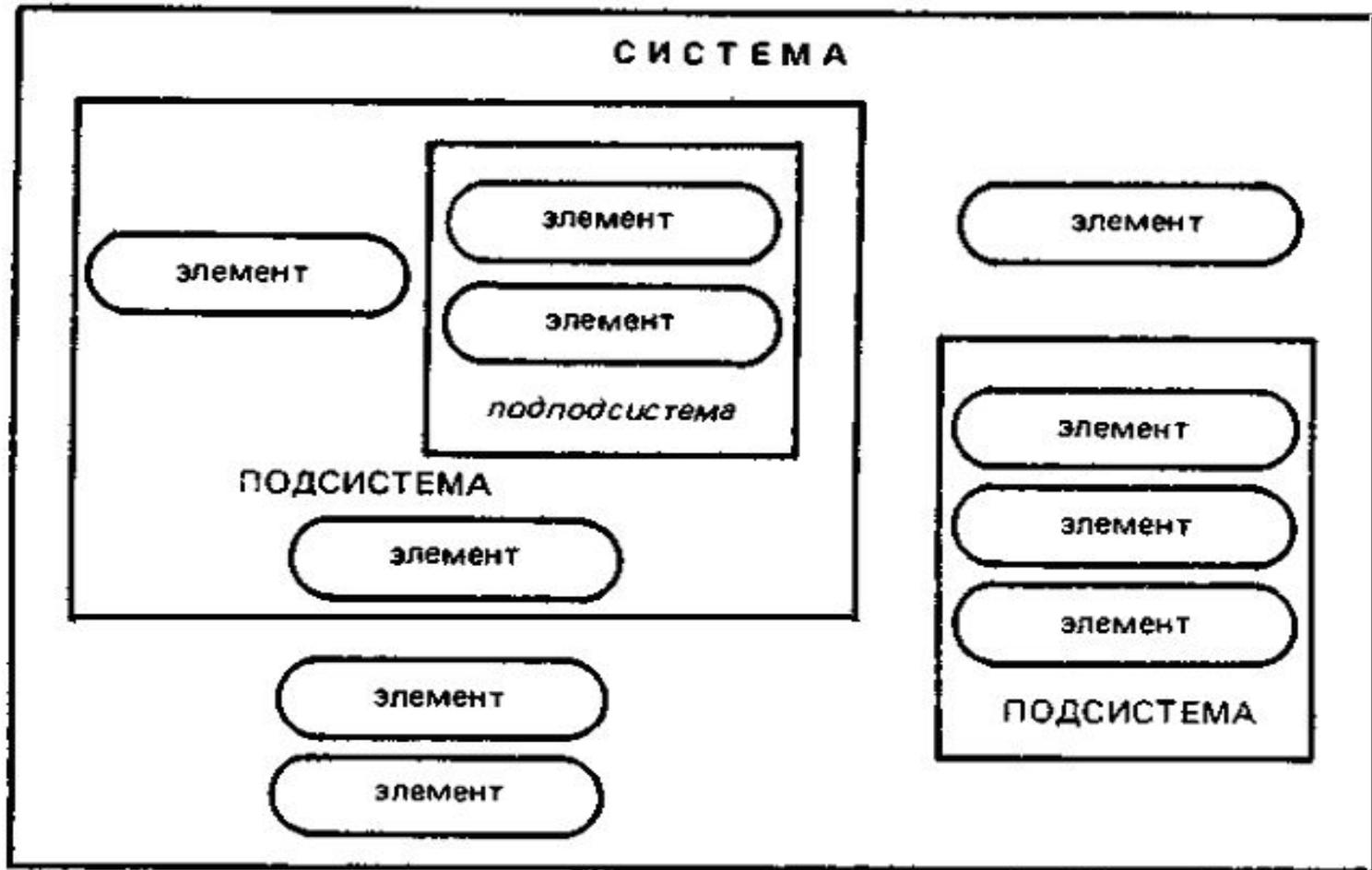
Φ - оператор системы, определяющий связь между указанными величинами.

-
- В модель «черного ящика» следует отбирать только те входы и выходы, которые отражают **целевое назначение** модели. Критерием отбора является существенность той или иной связи по отношению к цели, ради достижения которой строится модель.
 - Критерия сколько именно и какие входы и выходы необходимо включать в модель не существует. Выбор полностью ложится на исследователя и зависит от его опыта и компетенции.
-

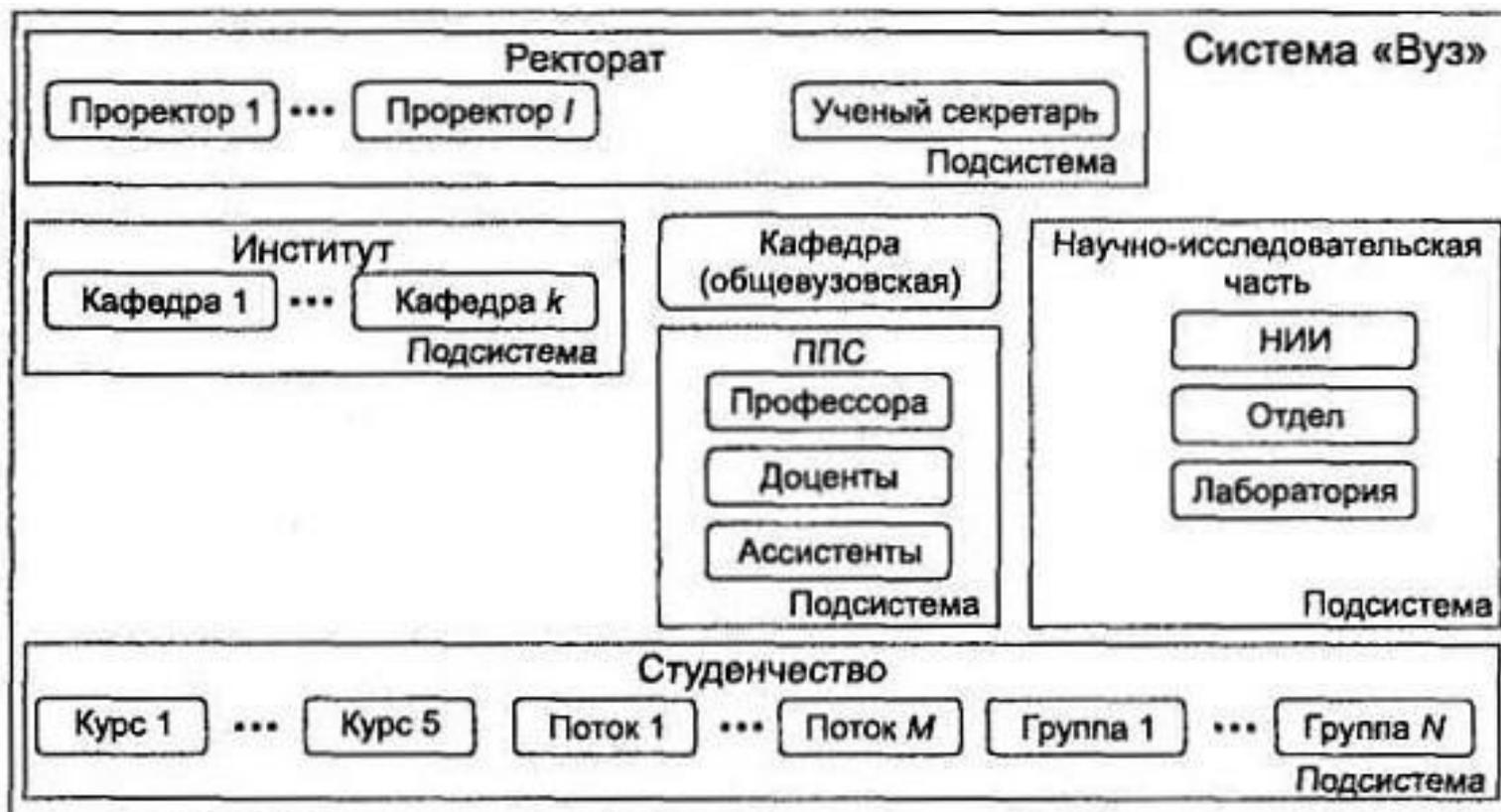
Модель состава системы

- **Внутреннее содержание системы** раскрывает модель состава системы.
- В структуре системы можно выделить различные элементы, подсистемы, компоненты, причем, обозначенные понятия условны.
- В зависимости от цели, для решения которой строится модель, один и тот же объект может быть определен и в качестве элемента, и в качестве подсистемы. В зависимости от цели исследования, постановки задачи по достижению данной цели и исходной информации, имеющейся для решения задачи, одну и ту же систему можно представлять в виде различных частей, различных иерархий.
- Границы между системой и внешней средой определяются целями построения модели. Модель состава ограничивается снизу теми объектами, которые приняты в качестве элементов, а сверху - границей системы, определяемой целями анализа.

Модель состава системы



Фрагмент модели состава системы "Вуз"



НИИ – научно-исследовательский институт
ППС – профессорско-преподавательский состав

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Функциональные подсистемы

Учет и отчетность

Экономический анализ

Текущее планирование

Прогнозирование

Управление транспортом

Управление механизацией и электрификацией производства

Управление мелкороцней земель

Управление инвестициями

Управление материально-техническим снабжением

Управление качеством и реализацией продукции

Управление производством

Управление кадрами

Управление организацией и оплатой труда

Управление финансами

Управление растениеводством

Управление переработкой с/х продукции

Управление подсобным производством

Управление животноводством

Управление производством зерна

Управление производством и переработкой фруктов

Управление овощеводством

Управление садоводством и виноградарством

Управление механизацией и агролесомеханизацией

Управление защитой растений

Управление скотоводством

Управление свиноводством

Управление птицеводством

Управление оленеводством

Управление племенным делом

Управление ветеринарной службой

Обеспечивающие подсистемы

Техническое обеспечение

Информационное обеспечение

Математическое обеспечение

Программное обеспечение

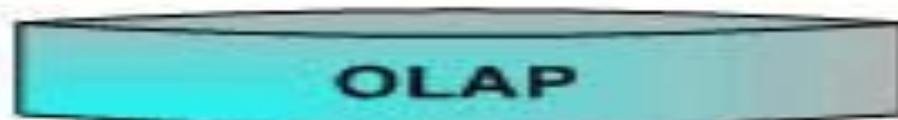
Кадровое обеспечение

Организационно-правовое обеспечение

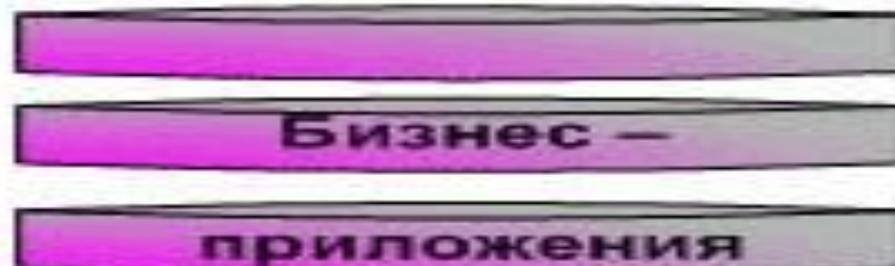
Модель ВРМ-системы

ВРМ-система

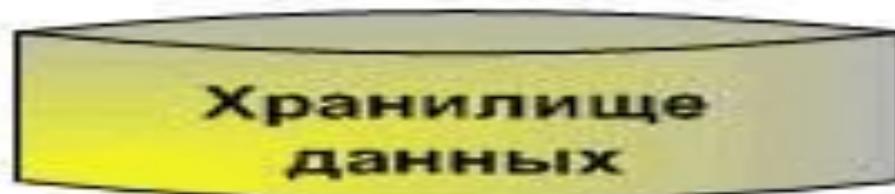
Выпуск
управленческой
отчетности



Управление
бизнесом



Сбор,
хранение,
консолидация
учетных данных



Построение модели состава системы только на первый взгляд кажется простым делом. **Если разным экспертам дать задание определить состав одной и той же системы, то результаты их работы будут различаться, иногда довольно значительно.** Такие результаты эксперимента объясняются не только различием знаний экспертов о системе. Существуют по крайней мере еще три важные причины этого явления.

- Во-первых, различные модели состава получаются вследствие того, что **понятие элементарности можно определить по-разному.** То, что с одной точки зрения является элементом, с другой — может оказаться подсистемой, подлежащей дальнейшему разбиению.
- Во-вторых, модель состава является целевой, как и другие модели, а **для различных целей один и тот же объект потребуется разбить на разные части.** Это означает, что модели состава "Вузы" с точки зрения ректора, начальника пожарной охраны и уборщицы будут различными.
- В-третьих, поскольку **любое деление целого на части является относительным и условным, то границы между подсистемами в рамках модели состава тоже условны.** Это относится и к границам между самой системой и окружающей средой.

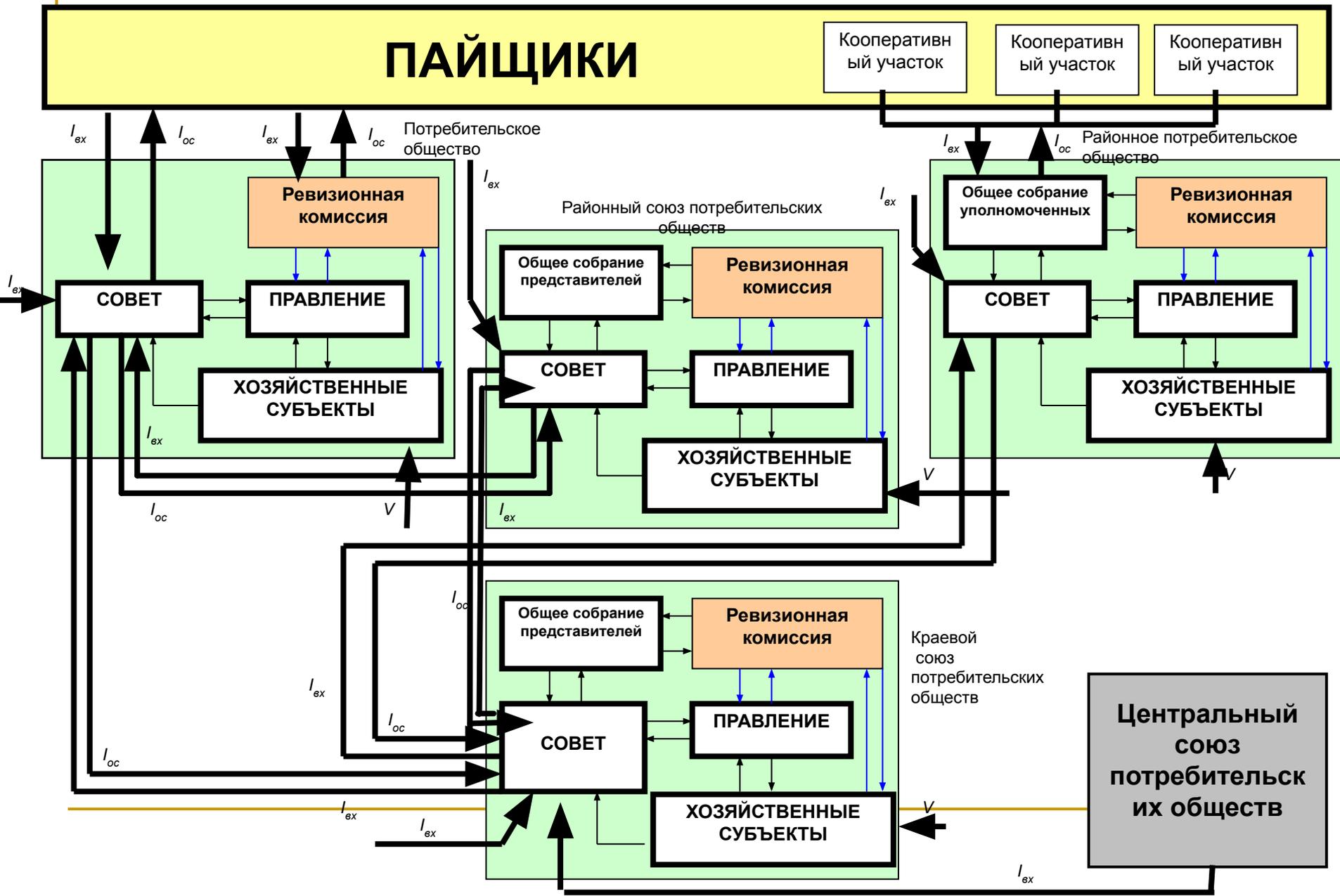
Таким образом, модель состава ограничивается снизу тем, что считается элементом, а сверху — границей системы. **Как верхняя граница системы, так и границы ее подсистем определяются целями построения модели,** а следовательно, не имеют абсолютного характера. Это не означает, что сама система или ее состав нереальны. Мы имеем дело не с разными системами, а с разными моделями одной системы.

Модель структуры системы

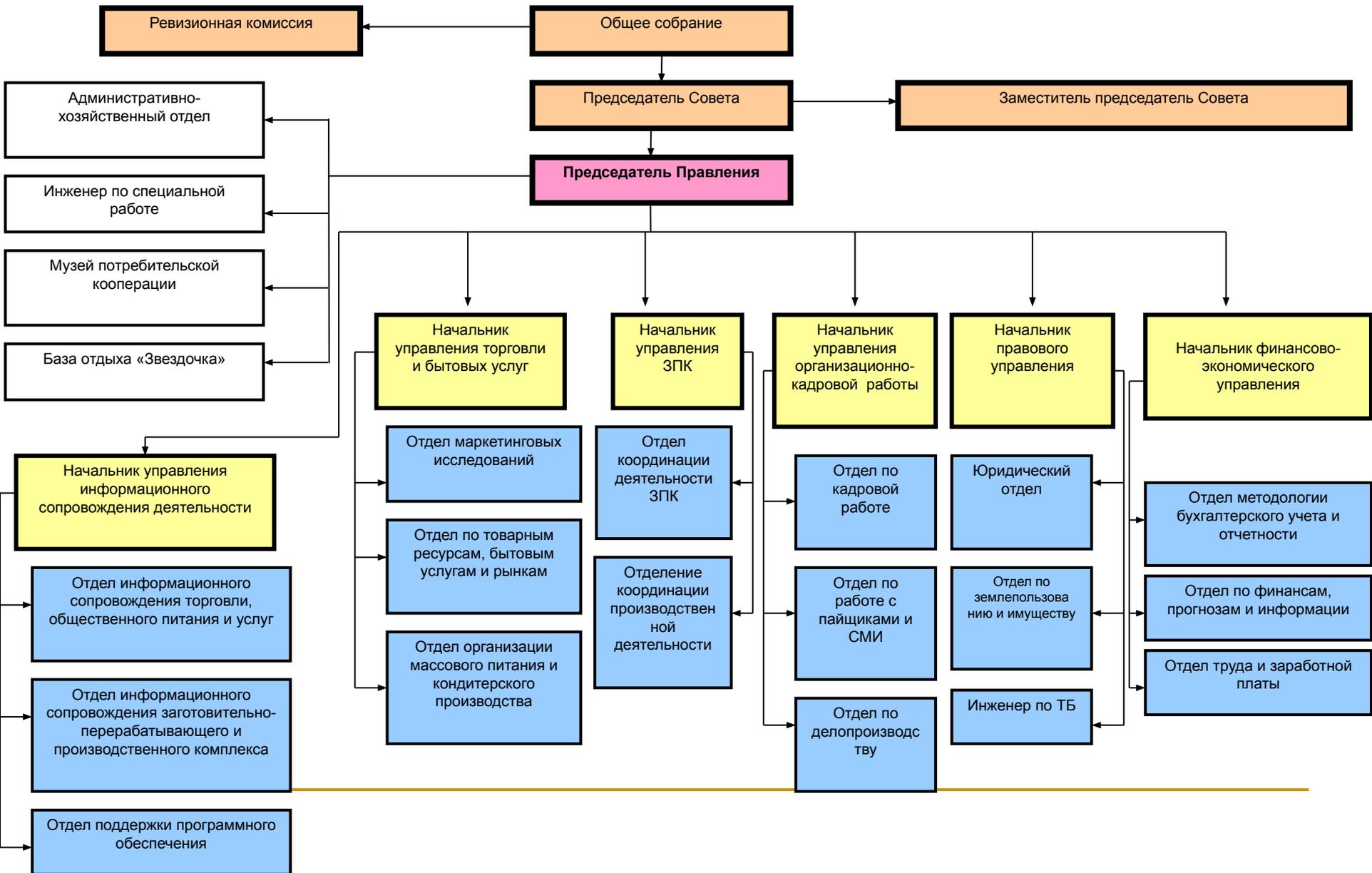
- Модель структуры системы еще глубже характеризует внутреннюю композицию системы. Модели данного типа наряду с характеристикой состава системы **отражают взаимосвязи между объектами системы: элементами, частями, компонентами и подсистемами.** Таким образом, модель структуры системы является дальнейшим развитием модели состава.
- В реальных системах между объектами, входящими в их состав, имеется большое количество отношений. **Задача аналитика заключается в выборе из множества реально существующих отношений между объектами, вовлеченными в систему, наиболее существенных.** Критерием существенности отношений должна выступать опять же **цель**, для достижения которой строится модель.
- Модель структуры является очередным шагом в развитии модели систем, описывающей существенные **связи** между элементами.
- В структурных моделях абстрагируются от содержательной стороны структурных схем, уделяя внимание наличию элементов и связей между ними.

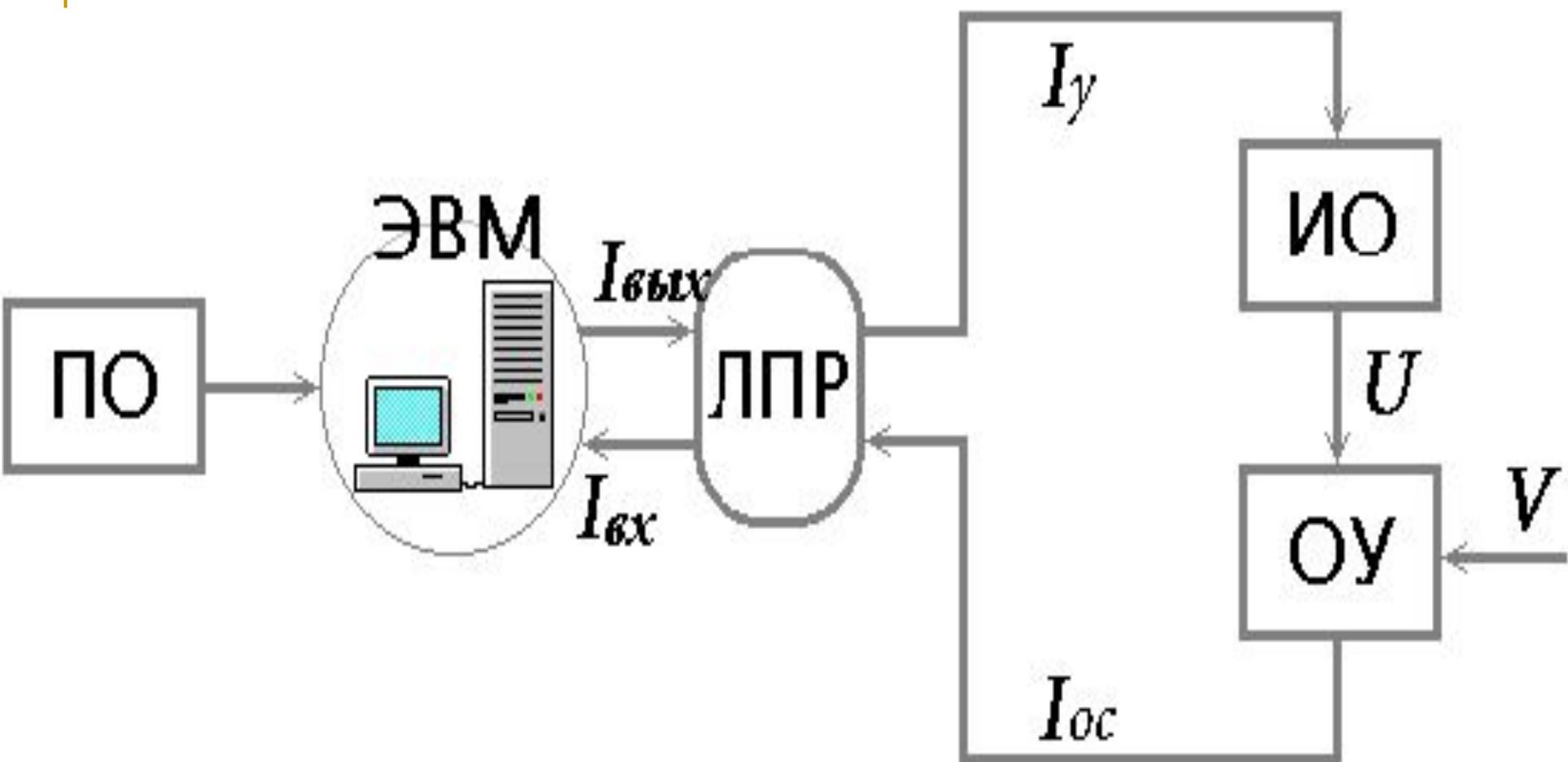
Обобщенная модель системы управления потребительской кооперации

ПАЙЩИКИ



Перспективная организационная структура управления Краснодарским крайпотребсоюзом





Структурная модель информационной системы

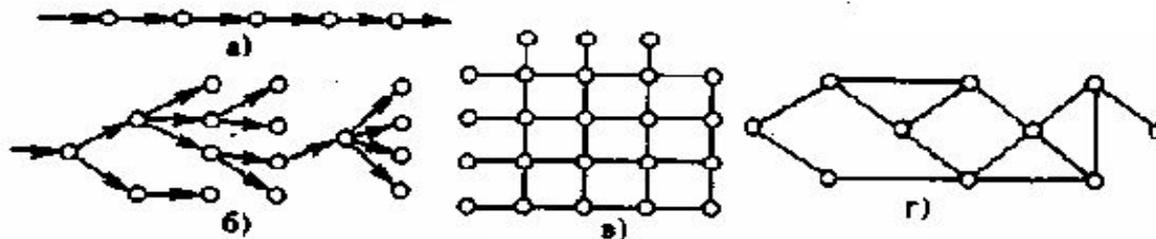
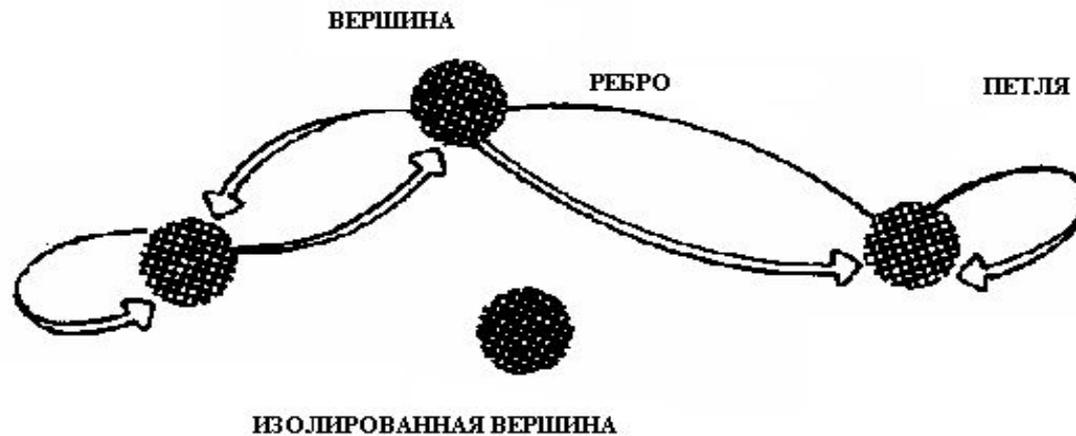
- Структурная модель представляет собой некий симбиоз модели состава и моделей "черных ящиков" составляющих ее компонент. **В структурной модели указываются элементы системы, связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой.** Другими словами, структурная модель является дальнейшим развитием модели состава в части определения существенных связей между ее компонентами.
- **О сложности системы в первую очередь судят по числу и разнообразию отношений между элементами.** Новые взаимосвязи элементов образуются как в результате развития системы, так и в результате ее роста (расширения).
- Сложные системы пронизаны множеством связей, в совокупности образующих *структуру системы*. В свою очередь **структура системы является гарантом ее устойчивости.** Для того чтобы понять это, представим систему в виде некоторой пространственной паутины, в каждом узле которой находится ее структурный элемент. Предположим, что система устойчива и успешно функционирует, выполняя свое предназначение. **Эту устойчивость поддерживают сложившиеся между элементами связи.**

- **При структурном моделировании для модели отбираются только те связи, которые играют существенную роль в обеспечении устойчивости исследуемой системы. Отбор существенных связей проводит системный аналитик, руководствуясь целью исследования.**
- Структурная модель реальной системы должна содержать конечное число связей между элементами, в противном случае она будет непригодна для проведения экспериментов и исследования поведения системы. Например, в структуре русского языка число выражаемых отношений (число языковых конструкций, с помощью которых выражаются отношения между объектами реального мира, например, *находится на, под, около; двигаться к, от, вокруг; состоять из* и т.п.) немного превышает 200 единиц. Интересно, что этого количества вполне достаточно для того, чтобы выразить всю гамму отношений, существующих в природе и социуме, и создать с его помощью замечательный роман или фундаментальный научный трактат как частные модели духовного мира человека.
- **На сегодняшний день структурные модели являются наиболее полным и подробным описанием любой системы. Поэтому их называют также моделями "белого" или "прозрачного ящика". Они нашли широкое применение при моделировании масштабных изменений в организационных и технических системах. Для построения и исследования структурных моделей сложных систем очень широко применяется теория графов, которая составляет отдельный раздел математики.**

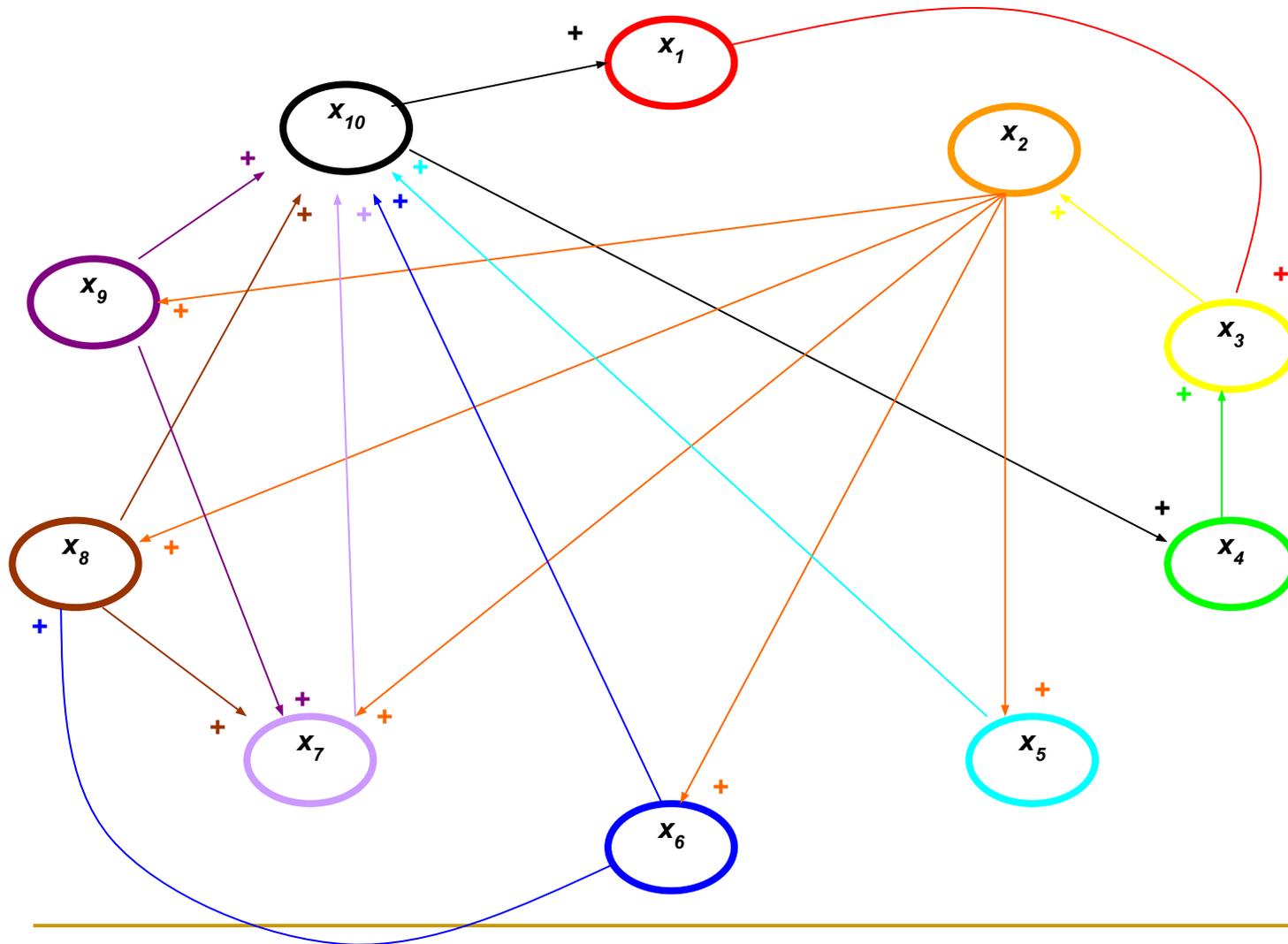
Модель структуры системы изображают в виде **графа**.

- На графе элементы отображаются в виде **вершин**, связи между элементами - в виде **ребер** (дуг).
- Если связи в схеме направленные, они изображаются стрелками, и тогда граф будет **направленным или ориентированным**.
- Если направление связей не обозначается, граф называется **неориентированным**.
- Пара вершин может быть соединена любым количеством рёбер; вершина может быть соединена сама с собой (тогда ребро называется *петлей*).
- Если в графе требуется отразить другие различия между элементами или связями, то либо приписывают разным ребрам различные веса (*взвешенные графы*), либо раскрашивают вершины или ребра (*раскрашенные графы*).
- Для изображения и преобразования структур разработана специальная математическая дисциплина-**теория графов**, задачи которой связаны с различными преобразованиями графов.

Примеры графов



Когнитивная модель системы управления региональной потребительской кооперацией



Динамические модели систем

- Структурная модель отражает статическое состояние системы. Однако большинство задач системного анализа связано с изучением либо характеристик системы, либо с прогнозированием развития системы **во времени**, либо с анализом возможных **траекторий развития**, т.е. с изучением динамики системы, ее динамического поведения.
- **Динамические модели отражают поведение систем, описывают происходящие с течением времени изменения, последовательность операций, действий, причинно-следственные связи.** При построении динамических моделей на первом шаге анализируют изменения системы, которые хотят описать. Вычленяют части, этапы происходящего процесса, рассматривают их взаимосвязь. Заключительный этап построения динамической модели системы состоит в **построении математического описания анализируемых процессов.**

-
- Модели, которые описывают поведение системы, фиксируют изменения, происходящие с течением времени, улавливают причинно-следственные связи, адекватно отражают последовательность протекаемых в системе процессов и этапность ее развития, называют *динамическими*.
-