

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ **МОДЕЛИРОВАНИЕ**

в последние десятилетия оформилось в отдельную междисциплинарную область знаний с присущими ей объектами, подходами и методами исследований.

Несмотря на то, что создание любой новой модели – процесс творческий, близкий к искусству, существуют достаточно общие подходы, методы, «инструменты», пригодные для различных предметных областей, которые раскрывают «кухню» разработчиков математических моделей

Литература:

- ***Введение в математическое моделирование: Учеб. Пособие / Под. Ред. П.В. Трусова. – М.: Логос, 2004.***
- ***Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: М., Физматлит, 2005***
- ***Шейнбаум В.С. Методология инженерной деятельности: М., РГУ нефти и газа, 2007.***
- ***И.П. Норенков Основы автоматизированного проектирования: М., МГТУ им. И.М. Баумана, 2000.***

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Области применения моделей и моделирования

Понятия модели и моделирования наиболее распространены в сфере обучения, научных исследованиях, проектно-конструкторских работах, в серийном техническом производстве

МЕТОДЫ ПОЗНАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Существует целая область знания, которая специально занимается изучением методов познания – это *методология*, которая дословно означает «*учение о методах*» (metodos- метод, путь к чему-либо; logos – учение).

Изучая закономерности человеческой познавательной деятельности, методология вырабатывает на этой основе методы ее осуществления. Важнейшей задачей методологии является изучение происхождения, сущности, эффективности и других характеристик методов познания.

Моделирование является одним из методов изучения окружающего мира.

Процесс построения и использования модели называется моделированием

МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Методы научного познания принято подразделять по степени их общности, то есть широте применимости в процессе научного исследования на:

- *Всеобщие* (диалектический, метафизический – это общепhilософские методы);**
- *Общенаучные* ;**
- *Частнонаучные.***

Всеобщие методы познания

- **Метафизический подход** – объекты и явления окружающего мира рассматриваются изолированно друг от друга, без учета их взаимных связей и как бы в застывшем фиксированном, неизменном состоянии.
- **Диалектический подход** – изучает объекты и явления со всем богатством их взаимосвязей, с учетом реальных процессов их изменения, развития.

Общенаучные методы познания –

имеют междисциплинарный спектр применения (используются в различных областях науки) и классифицируются в соответствии с двумя взаимосвязанными уровнями научного познания:

- **Эмпирический уровень включает:**
наблюдение, эксперимент, измерение;
- **Теоретический уровень, базируясь на эмпирическом методе (уровне) имеет своим результатом *гипотезы, теории, законы.***

Частнонаучные методы познания –

используются только в рамках исследований какой-либо конкретной науки. Каждая частная наука (биология, химия, геология и т.д.) имеют свои специфические методы исследования.

- Частнонаучные методы содержат в различных сочетаниях те или иные методы познания, базируются на них и могут включать наблюдения, измерения, индуктивные или дедуктивные умозаключения и т.д.**
- Характер сочетания различных методов и его использования зависит от условий исследования, природы изучаемых объектов.**

Методы исследования, применяемые в общенаучных и частнонаучных методах познания

- **Эмпирические:** наблюдение, эксперимент, измерение;
- **Общие:** анализ, синтез, аналогия, моделирование;
- **Теоретические:** абстрагирование, идеализация, формализация, индукция, дедукция.

Одни методы исследования применяются только на эмпирическом уровне (наблюдение, эксперимент, измерение), другие только на теоретическом (идеализация, формализация), **моделирование используется как на эмпирическом, так и теоретическом уровне всех методов познания.**¹⁰

Определение модели и моделирования

- **Модель (*modulus* – мера, образец, норма)** – это такой материальной или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты;
- **Моделирование** – метод познания окружающего мира, который можно отнести к общенаучным методам, применяемым как на эмпирическом, так и теоретическом уровне познания. При построении и исследовании модели могут применяться практически все остальные методы познания

Три реальности или три сферы, в которых живет человек

(В.И. Вернадский)

- 1-я реальность – живая и неживая природа, законы развития которой не зависят от человека. Познание этих объектов возможно только через их модели.
- 2-я реальность – ноосфера, включающая знания, накопленные всем человечеством и практически мало зависящие от конкретного человека. Она состоит из идеальных моделей, зависит от эволюции человечества и изменяется в процессе познания, пополняясь новыми и изменяя старые модели.
- 3-я реальность – техносфера, включающая все материальные модели созданные человеком.

Свойства моделей 1

- Научное познание сосредоточено на изучении, предметов, явлений и процессов, существующих вне нашего сознания и называемых **объектами исследования** (*objectum – предмет*);
- Термин «**модель**» чаще всего используют для обозначения:
 - устройства, воспроизводящего строение или действие какого-либо устройства (уменьшенное, увеличенное или в натуральную величину;
 - аналога (чертежа, графика, плана, схемы, описания и т.д.) какого-либо явления, процесса или предмета.

Свойства моделей 2

- Недостаток термина «модель» - многозначность. В словарях можно найти до восьми различных значений этого термина. В научной литературе распространены два:
 - Модель как аналог реального объекта;
 - Модель как образец будущего изделия.
- Важную роль при разработке моделей играют гипотезы (hypotheses – основание, предположение) – определенные предсказания, предположенные суждения о причинно-следственных связях явлений, основанные на некотором количестве опытных данных, наблюдений, догадок. Формирование и проверка правильности гипотез основывается, как правило, на аналогиях.

Свойства моделей 3

- **Аналогия** (*analogia* – основание соразмерность) – это представление о каком-либо частном сходстве двух объектов, причем такое сходство может быть как существенным, так и несущественным. Существенность сходства или различия двух объектов условна и зависит от уровня абстрагирования.
- **Уровень абстрагирования** (*abstrahere* – отвлекать) определяется конечной целью исследования и зависит от набора учитываемых параметров объекта исследования. Уровень абстрагирования данного объекта всегда устанавливается по отношению к другим объектам

Свойства моделей 4

- При построении модели исследователь всегда исходит из поставленных *целей*, учитывает только наиболее существенные для их достижения факторы. Поэтому любая модель нетождественна объекту-оригиналу и, следовательно, неполна, поскольку при ее построении исследователь учитывал лишь важнейшие с его точки зрения факторы.
*«Наилучшей моделью кота является другой кот,
а еще лучше – тот же самый кот»*
Н. Винер.

Свойства моделей 5

- Модель *адекватна (adaequatus – приравненный)* объекту, если результаты моделирования удовлетворяют исследователя и могут служить основой для прогнозирования поведения или свойств исследуемого объекта. При этом адекватность модели зависит от целей моделирования и принятых критериев. Учитывая заложенную при создании неполноту модели, можно утверждать, что идеально адекватная модель принципиально невозможна.

Свойства моделей 6

- **Простота (сложность) модели.**
Предпочтительна та модель, которая, позволяя достичь желаемых результатов, является более простой. При этом адекватность и простота не являются противоречивыми требованиями.
Учитывая бесконечную сложность любого объекта исследования, можно предположить существование бесконечной последовательности его моделей, различающихся по степени полноты, адекватности и простоты.

Свойства моделей 7

- **Потенциальность модели (*potentia* – мощь, сила) – это предсказательность модели с позиций возможности получения новых знаний об исследуемом объекте. Именно свойство потенциальности модели (иногда называемое **богатством модели**) позволяет модели выступать в качестве самостоятельного объекта исследования.**

«Можно сказать, что модель содержит в себе потенциальное знание, которое человек, исследуя ее, может приобрести, сделать наглядным и использовать в своих практических жизненных нуждах»

Н.Н. Моисеев

ЦЕЛИ МОДЕЛИРОВАНИЯ 1.

- **Самым важным и наиболее распространенным предназначением моделей является их применение при изучении и прогнозировании (моделировании) поведения сложных процессов и явлений. Следует отметить, что некоторые объекты и явления вообще не могут быть изучены непосредственным образом (на основе эксперимента). Многие эксперименты проста невозможны, другие слишком дороги и рискованы для человека и/или среды его обитания.**

ЦЕЛИ МОДЕЛИРОВАНИЯ 2.

- Как правило, в настоящее время всесторонние предварительные исследования различных моделей явления **предшествуют проведению любых сложных экспериментов.** Более того эксперименты на моделях с применением ЭВМ позволяют **разработать план натурных экспериментов, выяснить требуемые характеристики измерительной аппаратуры, наметить сроки проведения наблюдений, а также оценить стоимость такого эксперимента.**

ЦЕЛИ МОДЕЛИРОВАНИЯ 3.

- Другое, не менее важное, предназначение моделей (моделирования) состоит в том, что с их помощью **выявляются наиболее существенные факторы, формирующие те или иные свойства объекта,** поскольку сама модель отражает лишь некоторые основные характеристики исходного объекта, учет которых необходим при исследовании того или иного процесса или явления.

ЦЕЛИ МОДЕЛИРОВАНИЯ 4.

- Модель (моделирование) позволяет **«играть» с ней: включать, или отключать те или иные связи, менять их** для того, чтобы понять важность для поведения системы в целом;
- Модель (моделирование) позволяет **научиться правильно управлять** объектом путем апробирования различных вариантов управления.

ВЫВОД О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Модель и моделирование нужны для того
чтобы:**

- 1) понять, как устроен конкретный объект:
какова его структура, внутренние связи, основные
свойства, законы развития, саморазвития и
взаимодействия с окружающей средой;**
- 2) научиться управлять объектом или
процессом, определять наилучшие способы
управления при заданных целях и критериях;**
- 3) прогнозировать прямые и косвенные
последствия реализации заданных способов и
форм воздействия на объект.**

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Всеобщей классификации моделей нет. Рассматриваемая классификация является инструментом или моделью для исследования свойств и характеристик самого процесса моделирования.

Использование моделирования на эмпирическом и теоретическом уровнях исследования приводит к делению моделей и моделирования на:

- 1) Материальные модели и материальное моделирование.**
- 2) Идеальные модели и идеальное моделирование.**

МАТЕРИАЛЬНОЕ И ИДЕАЛЬНОЕ **МОДЕЛИРОВАНИЕ**

- **Материальное моделирование** – это моделирование, при котором исследование объекта выполняется с использованием его материального аналога, воспроизводящего основные физические, геометрические, динамические и функциональные характеристики данного объекта.
- **Идеальное моделирование** основано не материализованной аналогии объекта и модели, а на аналогии идеальной мыслимой и всегда носит теоретический характер.

Идеальное моделирование является первичным по отношению к материальному – вначале в сознании человека формируется идеальная модель, а затем на ее основе строится материальная.

МАТЕРИАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Основными разновидностями материального моделирования являются **натурное и аналоговое**

Оба эти вида моделирования основаны на свойствах геометрического или/и физического подобия.

Изучением условий подобия явлений занимается ***теория подобия***

НАТУРНОЕ И АНАЛОГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- **Натурное моделирование** – это такое моделирование, при котором реальному объекту ставится в соответствие его увеличенный или уменьшенный материальный аналог, допускающий исследование (как правило в лабораторных условиях) с помощью последующего перенесения свойств изучаемых процессов и явлений с модели на объект на основе теории подобия.
- **Аналоговое моделирование** – это моделирование, на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но одинаково описываемых формально (одними и теми же математическими соотношениями, логическими и структурными схемами), то есть в основу аналогового моделирования положено совпадение математических описаний различных объектов.

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 1.

- Идеальное моделирование разделяют на:
интуитивное (эвристическое) и научное.
 - **Интуитивное моделирование** – это моделирование, основанное на интуитивном (не обоснованном с позиций формальной логики) представлении об объекте исследования, не поддающимся формализации или не нуждающимся в ней.
 - **Научное моделирование** – это всегда логически обоснованное моделирование, использующее минимальное число предложений, принятых в качестве гипотез на основании наблюдений за объектом моделирования.
Интуитивная первооснова любого научного знания присутствует всегда.

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 2.

- **Интуитивное и научное моделирование обычно реализуется на основе знакового моделирования.**
 - **Знаковое моделирование** – использует в качестве моделей знаковые изображения: схемы, графики, чертежи, иероглифы, наборы символов и др., включающие также совокупность знаков и правил, по которым можно оперировать с выбранными знаковыми образованиями и элементами.

***Математическое моделирование
(моделирование с помощью
математических соотношений) является
примером знакового моделирования.***

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 3.

Главное отличие научного моделирования от интуитивного заключатся не только в умении выполнять необходимые операции и действия по собственно моделированию, но и в знании «внутренних» механизмов , которые используются при этом. Можно сказать, что научное моделирование «знает» не только, как необходимо моделировать, но и почему так нужно делать.

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 4.

- **Интуитивное (эвристическое) и научное (теоретическое) моделирование ни в коей мере нельзя противопоставлять друг другу. Они дополняют друг друга, разделяя области своего применения.**
- ***«Подлинной ценностью является, в сущности, только интуиция. Для меня не подлежит сомнению, что наше мышление протекает, в основном минуя символы (слова) и к тому же бессознательно»***

А. Эйнштейн

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 5.

«Чистая логика всегда привела бы нас только к тавтологии; она не могла бы создать ничего нового; сама по себе она не может дать начало никакой науке ... Для того чтобы создать арифметику, как и для того, чтобы создать геометрию или какую бы то ни было науку, нужно нечто другое, чем чистая логика. Для обозначения этого другого у нас нет иного слова, кроме слова «интуиция» .

А. Пуанкаре

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 6.

- **«Вы должны догадаться о математической теореме прежде, чем вы ее докажете; вы должны догадаться об идее ее доказательства, прежде чем вы его проведете в деталях ...; доказательство открывается... с помощью догадки» .**

Д. По́а .

- **«Извечный секрет необычайной продуктивности гения – в его умении находить новые постановки задач, интуитивно предугадывать теоремы, приводящие к новым значительным результатам и к установлению важных зависимостей. Не будь новых концепций , новых идей, математика с присущей ей строгостью логических выводов исчерпала бы себя и пришла в упадок,**

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 6.

**ибо весь материал оказался бы израсходованным.
В этом смысле можно сказать, что математику
движут вперед в основном те, кто отмечен
даром интуиции, а не строгого
доказательства»**

Ф. Кейн.

**В рассматриваемом контексте следует уточнить
термины «*Модель*» и «*Теория*»**

**- Модель – инструмент, ориентированный в первую
очередь на исследование поведения и свойств
конкретного объектов целях управления им или
предсказания его свойств.**

ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 7.

- **Теория** – более абстрактное, чем модель, средство, основной целью которого является объяснение поведения или свойств не конкретного объекта, а некоторого класса объектов. Можно сказать, что теория содержит конечную или даже бесконечную совокупность конкретных моделей.
- Существует **три взаимосвязанных уровня идеального моделирования**:
 - Когнитивное;
 - Содержательное;
 - Формальное.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УРОВНЕЙ ИДЕАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Взаимодействие (взаимовлияние) уровней моделирования связано со свойством потенциальности моделей. Создание любой модели сопряжено с появлением новых знаний об исследуемом объекте, что ведет к переоценке и уточнению концепций и взглядов на объект моделирования.

Это приводит к пересмотру соответствующих содержательных когнитивных моделей, обеспечивая спиральное развитие всех уровней моделирования исследуемого объекта.

КОГНИТИВНЫЕ И СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

- При наблюдении за объектом оригиналом в голове исследователя формируется *некий мыслительный образ объекта, его идеальная модель*, которая в научной литературе принято называть когнитивной (мысленной, способствующей познанию). Получить представление о когнитивной модели можно описав ее в знаковой форме.
- *Представление когнитивной модели на естественном языке называется содержательной моделью*. Нельзя утверждать, что когнитивные и содержательные модели эквивалентны, поскольку первые могут содержать элементы, которые исследователь не сможет или не хочет сформулировать. В естественно-научных дисциплинах и в технике содержательной моделью часто называют технической постановкой проблемы.

Виды содержательных моделей

По функциональному признаку и целям содержательные модели подразделяются на:

- описательные,

подразумевающие любое описание объекта;

- объяснительные,

позволяющие ответить на вопрос, почему что-либо происходит;

- прогностические,

описывающие будущее поведение объекта.

ВИДЫ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

- **Под концептуальной моделью понимают содержательную модель,** которая базируется на определенной концепции или точке зрения и которая, как правило, при ее формулировке использует понятия и представления соответствующих предметных областей знания, занимающихся изучение объекта моделирования.
- Выделяют три вида концептуальных моделей:
 - **Логико-семантические;**
 - **Структурно-функциональные;**
 - **Причинно-следственные.**

ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Логико-семантическая модель является описанием объекта в терминах и определениях соответствующих предметных областей, знаний,, включающим все известные логически непротиворечивые утверждения и факты. Анализ таких моделей осуществляется средствами логики с привлечением знаний, накопленных в соответствующих предметных областях

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ **МОДЕЛЬ**

При построении Структурно-функциональной модели объект обычно рассматривается как целостная система, которую расчленяют на отдельные элементы и подсистемы. Части системы связываются структурными отношениями, описывающими подчиненность, логическую и временную последовательность решения отдельных задач.

Для представления этих моделей удобны различного рода схемы, карты, диаграммы и т.п.

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ

Причинно-следственная модель часто используется для объяснения и прогнозирования поведения объекта, таким образом, что при ее построении данные, в ней содержащиеся, ориентированы на:

- 1) Выявление главных взаимосвязей между составными элементами изучаемого объекта;**
- 2) Определение того, как изменение одних факторов влияет на состояние компонентов модели;**
- 3) Понимание того, как в целом будет функционировать модель и будет ли она адекватно описывать динамику интересующих исследователя параметров.**

ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Формальная модель является

представлением концептуальной модели с помощью одного или нескольких формальных языков например, языков математических теорий, универсального языка моделирования (UML) или алгоритмических языков.

Различают два вида формальных моделей (они являются знаковыми моделями):

- Математические;**
- Информационные.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

- **Математическое моделирование** – это идеальное научное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов.
- В настоящее время это один из самых результативных и наиболее часто применяемых методов научного исследования.

ПРЕИМУЩЕСТВА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В сравнении с натурным экспериментом имеет следующие преимущества:

- Экономичность (сбережение ресурсов реальной системы);**
- Возможность моделирования гипотетических, т.е. не реализованных в природе объектов (прежде всего на разных этапах проектирования);**
- Возможность реализации режимов, опасных или трудновоспроизводимых в натуре (критический режим ядерного реактора, работа системы противоракетной обороны);**

- **Возможность изменения масштаба времени;**
- **Простота многоаспектного анализа;**
- **Большая прогностическая сила вследствие возможности выявления общих закономерностей;**
- **Универсальность технического и программного обеспечения проводимой работы (ЭВМ, системы программирования и пакеты прикладных программ широкого назначения).**

ФОРМАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ **МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

Любая математическая модель, предназначенная для научных исследований, позволяет по заданным исходным данным найти значения интересующих исследователя параметров моделируемого объекта или явления, т. е. суть модели заключается в отображении некоторого заданного множества Ω_X допустимых входных параметров X на множество значений Ω_Y допустимых выходных параметров Y , тогда математическая модель есть некоторый математический оператор A , т.е.

$$A: X \rightarrow Y, X \in \Omega_X, Y \in \Omega_Y$$

В зависимости от природы моделируемого объекта элементами множеств Ω_X Ω_Y могут быть: числа, векторы, функции, функционалы, множества и др.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

- Информационная модель – это, по существу, автоматизированный справочник, реализованный с помощью систем управления базами данных (СУБД).
- По формальному запросу эти модели позволяют найти любую, имеющуюся в базе данных (БД) информацию, однако эти модели не могут генерировать новое знание, отсутствующее в БД, т.е. это модели с нулевым потенциалом. Однако в сочетании с математическими моделями они способны генерировать новое знание.
- Так как в качестве Ω_x и Ω_y моделей могут выступать математические объекты, а саму процедуру поиска данных можно представить в виде некоторого оператора, то информационные модели можно считать специфической разновидностью математических моделей

ВИДЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

(несколько определений и примеров)

- **Информационная модель** - формальная модель ограниченного набора фактов, понятий или инструкций, предназначенная для удовлетворения конкретным требованиям (ИСО 10303-1:1994 – Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными).
- **Информационная модель** — система сигналов, свидетельствующих о динамике объекта управления, условиях внешней среды и состоянии самой системы управления. В качестве информационной модели могут служить наглядные изображения (фото, кино, видео), знаки (текст, знаковое табло), графические модели (график, чертеж, блок–схема) и комбинированные изображения (мнемосхема, карта).
- **Информационная модель** тоже самое, что модель данных.

Целостная информационная модель изделия



CALS-технологии

- **CALS-технологии** ([англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support](#) — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла) — современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях [жизненного цикла изделия](#), обеспечивающая единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованная в соответствии с требованиями системы [международных стандартов](#), регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.
- **CALS-технологии** – это унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Одна из наиболее известных реализаций **CALS-технологии** разработана фирмой Computervision – технология EPD (Electronic Product Definition) и ориентирована на поддержку процессов проектирования и эксплуатации изделий машиностроения.

Технологию EPD реализуют:

CAD (Computer Aided Design) – система автоматизированного проектирования;

CAM (Computer Aided Manufacturing) – автоматизированная система технологической подготовки производства;

CAE (Computer Aided Engineering)– система моделирования и расчетов;

CAPE (Concurrent Art-to-Product engineering)– система поддержки параллельного проектирования;

PDM (Product Data Manager)– система управления проектными данными, представляющая собой специализированную СУБД (DBMS – Data Base Management System);

3D Viewer – система трехмерной визуализации;

CADD (Computer Aided Design Documents)– система документирования;

CASE (Computer Aided Software (System) Engineering) – система разработки и сопровождения программного обеспечения; методики обследования и анализа функционирования предприятия;

СИСТЕМА СБАЛАНСИРОВАННЫХ **ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

- 1. Финансовая точка зрения (перспектива)**-ожидания акционеров: *«Как цель повлияет на финансовое состояние компании?»*, например, обеспечит финансовую устойчивость, увеличит выручку (*прибыль*) от реализации большего объема сжиженного природного газа (*рост объемов производства*), сократит затраты на содержание оборудования за счет реконструкции объектов газораспределения и др.
- 2. Точка зрения клиента (перспектива)** - Ожидания клиентов: *«Как мы позиционируем себя на целевых рынках?»*, например, быть лидером на региональном рынке сжиженного природного газа (*маркетинг*); являться надежным социальным партнером на рынке газификации (*социальная ответственность*) и т.д.

3. Процессная точка зрения (перспектива)–

требования процесса: «*Какие процессы стратегически важны?*», например, наибольшую социальную ответственность имеют техническое обслуживание и ремонт газораспределительного оборудования, реконструкция устаревших участков газораспределительных сетей и т.п.

4 . Точка зрения обучения и развития (перспектива)-

требования к развитию и инновациям: *Каким образом мы станем постоянно обучающейся компанией?*», например, внедрение инноваций в разработку и производство оборудования для сжижения природного газа (*эффективность и инновация*); «*Каким образом мы стимулируем рост?*», например, продвижение по службе и повышение зарплаты сотрудникам, прошедшим повышение квалификации, и(или) реализовавшим и(или) участвующим в результативных инновационных проектах

PEST-анализ

(Political, Economical, Social, Technological)

PEST-анализ концентрирует внимание на внешних макроэкономических факторах.

Политические факторы:

- налоговая политика;
- трудовое законодательство;
- экологическое законодательство;
- торговые и транспортные ограничения;
- политическая стабильность.

Экономические факторы:

- рост экономики;
- процентная ставка;
- курс валюты;
- уровень инфляции.

Социальные факторы

- Рождаемость и смертность
- Интенсивность иммиграции и эмиграции
- Средняя продолжительность жизни
- Располагаемый доход
- Стиль жизни
- Образовательные стандарты

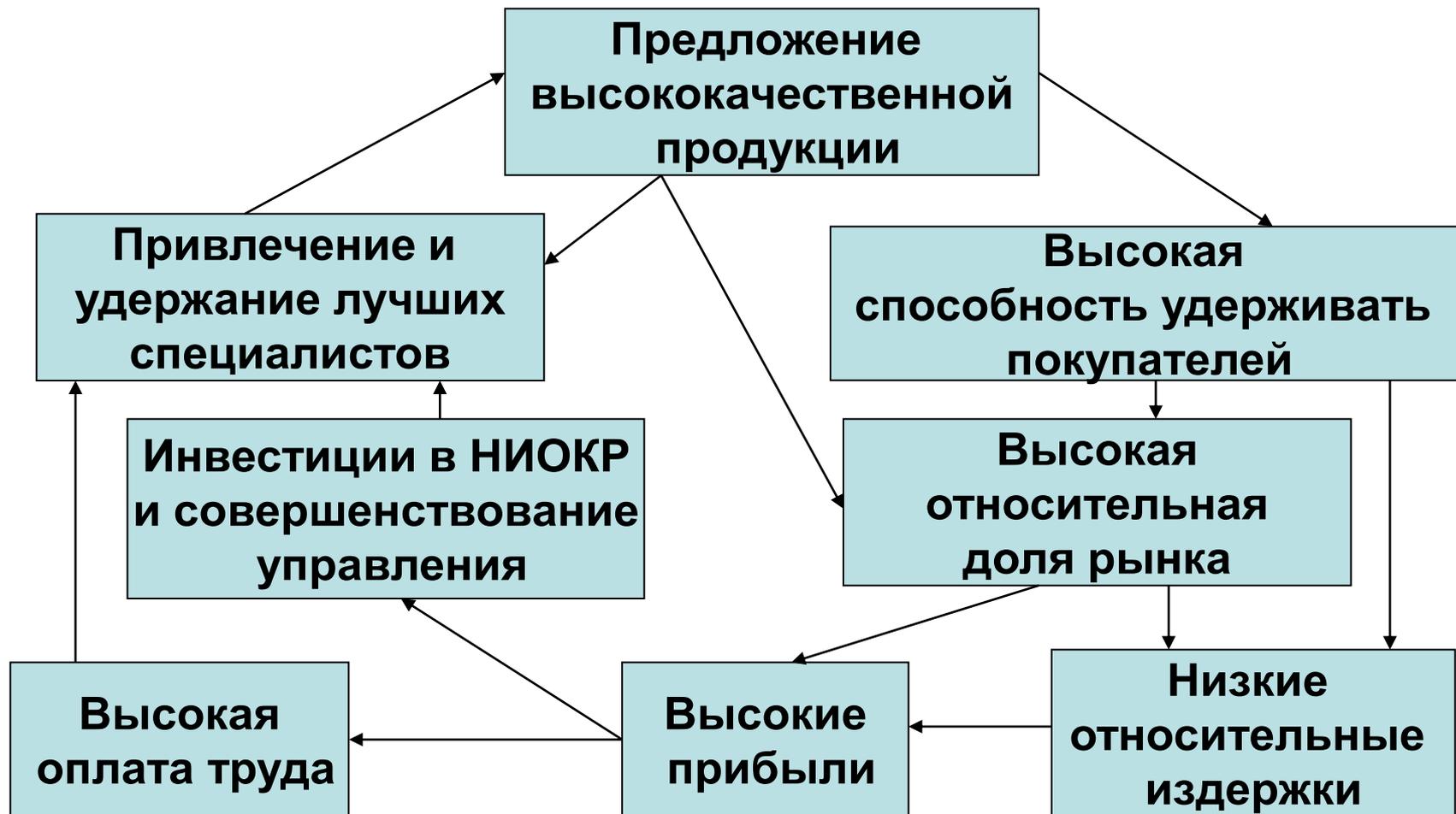
Технологические факторы:

- активность в разработках и исследованиях;
- автоматизация;
- технологическое развитие;
- уровень технологических изменений.

Пять сил Портера



«Мертвая петля» и «Спираль удачи»



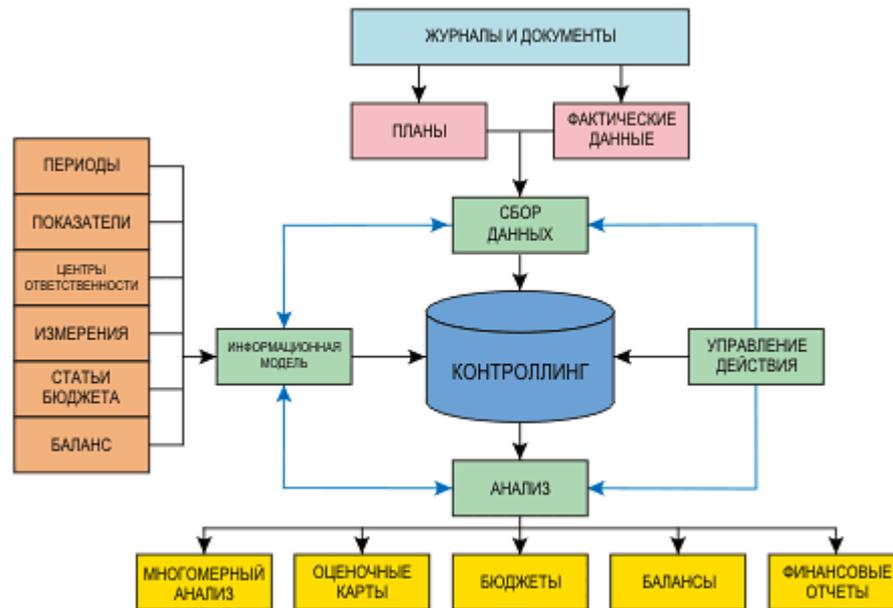
SWOT – анализ

(Strengths, Weakness, Opportunities, Threats)

Матрица решений

			Характеристики внешней среды					
			Возможности			Угрозы		
			1	n	1	...	m
Характеристика внутренней среды	Сильные стороны	1	1x1			1x1		
		...						
		L						Lxm
	Слабые стороны	1	1x1			1x1		
							
		K					Kx1	

Информационная модель управленческого учета



Укрупненная информационная модель системы



CASE – технология

(Computer Aided Software (System) Engineering)

- CASE-технология представляет собой методологию проектирования информационных систем (ИС), а также набор инструментальных средств, позволяющих в наглядной форме моделировать предметную область, анализировать эту модель на всех этапах разработки и сопровождения ИС и разрабатывать приложения в соответствии с потребностями пользователей. Большая часть CASE-средств использует методологию функционально-структурного (в основном) или объектно-ориентированного анализа и проектирования, использующих спецификации в виде диаграмм или текстов для описания внешних требований, связей между моделями системы, динамики поведения системы и архитектуры программных средств.
- Обычно к CASE-средствам относят любое программное средство, автоматизирующее ту или иную совокупность процессов жизненного цикла ПО

КАССИФИКАЦИЯ CASE-средств

- Все современные CASE-средства можно классифицировать:
- Классификация по типам отражает функциональную ориентацию CASE-средств на те или иные процессы жизненного цикла.
- Классификация по категориям определяет степень интегрированности по выполняемым функциям и включает отдельные локальные средства, решающие небольшие автономные задачи (tools), набор частично интегрированных средств, охватывающих большинство этапов жизненного цикла информационных систем (toolkit) и полностью интегрированные средства, поддерживающие весь жизненный цикл информационных систем и связанные общим репозиторием.
- Помимо этого CASE-средства можно классифицировать по применяемым методологиям и моделям систем и БД; степени интегрированности с СУБД; доступным платформам.

Классификация CASE-средств по типам в основном совпадает с их компонентным составом и включает:

- средства анализа (Upper CASE), предназначенные для построения и анализа моделей предметной области (Design/IDEF (Meta Software), VPwin (Logic Works));
- средства анализа и проектирования (Middle CASE), поддерживающие наиболее распространенные методологии проектирования и используемые для создания проектных спецификаций (Vantage Team Builder (Cayenne), Designer/2000 (ORACLE), Silverrun (CSA), PRO-IV (McDonnell Douglas), CASE.Аналитик (МакроПроджект)). Выходом таких средств являются спецификации компонентов и интерфейсов системы, архитектуры системы, алгоритмов и структур данных;
- средства проектирования баз данных, обеспечивающие моделирование данных и генерацию схем баз данных (как правило, на языке SQL) для наиболее распространенных СУБД. К ним относятся ERwin (Logic Works), S-Designer (SDP) и DataBase Designer (ORACLE). Средства проектирования баз данных имеются также в составе CASE-средств Vantage Team Builder, Designer/2000, Silverrun и PRO-IV;

- **средства разработки приложений.** К ним относятся средства 4GL (Uniface (Compuware), JAM (JYACC), PowerBuilder (Sybase), Developer/2000 (ORACLE), New Era (Informix), SQL Windows (Gupta), Delphi (Borland) и др.) и генераторы кодов, входящие в состав Vantage Team Builder, PRO-IV и частично - в Silverrun;
- **средства реинжиниринга,** обеспечивающие анализ программных кодов и схем баз данных и формирование на их основе различных моделей и проектных спецификаций. Средства анализа схем БД и формирования ERD входят в состав Vantage Team Builder, PRO-IV, Silverrun, Designer/2000, ERwin и S-Designor. В области анализа программных кодов наибольшее распространение получают объектно-ориентированные CASE-средства, обеспечивающие реинжиниринг программ на языке C++ (Rational Rose (Rational Software), Object Team (Cayenne)).

СЕМЕЙСТВО СТАНДАРТОВ IDEF

- **IDEF0** - Function Modeling — методология функционального моделирования. С помощью наглядного графического языка IDEF0 изучаемая система предстает перед разработчиками и аналитиками в виде набора взаимосвязанных функций (функциональных блоков - в терминах IDEF0). Как правило, моделирование средствами IDEF0 является первым этапом изучения любой системы. Методологию IDEF0 можно считать следующим этапом развития хорошо известного графического языка описания функциональных систем **SADT** (Structured Analysis and Design Technique);
- **IDEF1** - Information Modeling — методология моделирования информационных потоков внутри системы, позволяющая отображать и анализировать их структуру и взаимосвязи

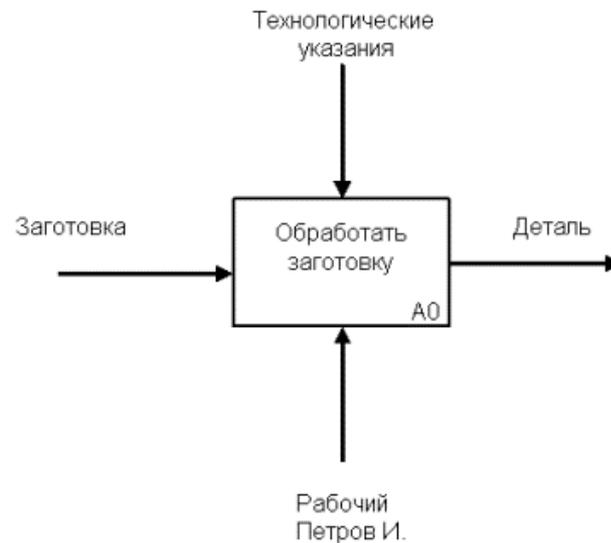
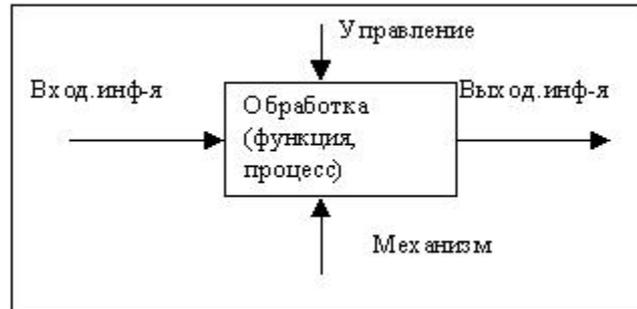
- ;
- **IDEF1X** (IDEF1 Extended) — Data Modeling — методология построения реляционных структур (баз данных), относится к типу методологий «Сущность-взаимосвязь» (ER — Entity-Relationship) и, как правило, используется для моделирования реляционных баз данных, имеющих отношение к рассматриваемой системе;
- **IDEF2** (Simulation Model Design) — методология динамического моделирования развития систем. В связи с весьма серьезными сложностями анализа динамических систем от этого стандарта практически отказались, и его развитие приостановилось на самом начальном этапе. В настоящее время присутствуют алгоритмы и их компьютерные реализации, позволяющие превращать набор статических диаграмм IDEF0 в динамические модели, построенные на базе «раскрашенных сетей Петри» (CPN — Color Petri Nets);
- **IDEF3** (Process Description Capture) — Документирование технологических процессов. IDEF3 — методология документирования процессов, происходящих в системе (например, на предприятии), описываются сценарий и последовательность операций для каждого процесса. IDEF3 имеет прямую взаимосвязь с методологией IDEF0 — каждая функция (функциональный блок) может быть представлена в виде отдельного процесса средствами IDEF3;

- **IDEF4** (Object-Oriented Design) — методология построения объектно-ориентированных систем, позволяют отображать структуру объектов и заложенные принципы их взаимодействия, тем самым позволяя анализировать и оптимизировать сложные объектно-ориентированные системы;
- **IDEF5** (Ontology Description Capture) — Стандарт онтологического исследования сложных систем. С помощью методологии IDEF5 ОНТОЛОГИЯ системы может быть описана при помощи определенного словаря терминов и правил, на основании которых могут быть сформированы достоверные утверждения о состоянии рассматриваемой системы в некоторый момент времени. На основе этих утверждений формируются выводы о дальнейшем развитии системы и производится её оптимизация;
- **IDEF6** (Design Rationale Capture) - Обоснование проектных действий. Назначение IDEF6 состоит в облегчении получения "знаний о способе" моделирования, их представления и использования при разработке систем управления предприятиями. Под "знаниями о способе" понимаются причины, обстоятельства, скрытые мотивы, которые обуславливают выбранные методы моделирования. Проще говоря, "знания о способе" интерпретируются как ответ на вопрос: "почему модель получилась такой, какой получилась?" Большинство методов моделирования фокусируются на собственно получаемых моделях, а не на процессе их создания. Метод IDEF6 акцентирует внимание именно на процессе создания модели;

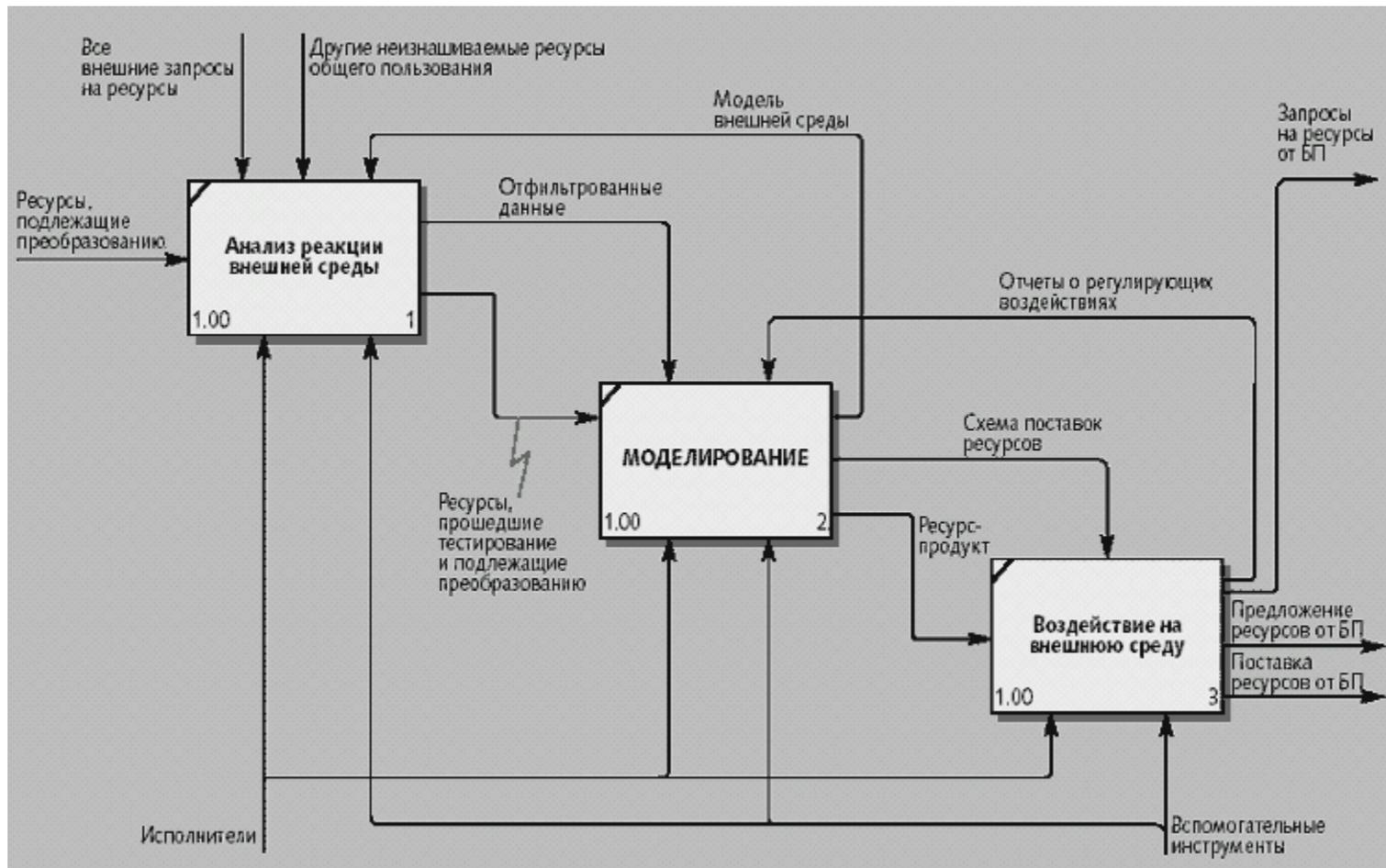
- **IDEF7** (information System Auditing) – Аудит информационных систем. Этот метод определён как востребованный, однако так и не был полностью разработан;
- **IDEF8** (User Interface Modeling)-Метод разработки интерфейсов взаимодействия оператора и системы (пользовательских интерфейсов). IDEF8 фокусирует внимание разработчиков интерфейса на программировании желаемого взаимного поведения интерфейса и пользователя на трех уровнях: выполняемой операции (что это за операция); сценарии взаимодействия, определяемом специфической ролью пользователя (по какому сценарию она должна выполняться тем или иным пользователем); и, наконец, на деталях интерфейса (какие элементы управления, предлагает интерфейс для выполнения операции);
- **IDEF9** (Scenario-Driven IS Design (Business Constraint Discovery method)) - Метод исследования бизнес ограничений был разработан для облегчения обнаружения и анализа ограничений в условиях которых действует предприятие. Знания об основных ограничениях и характере их влияния, закладываемые в модели, в лучшем случае остаются неполными, несогласованными, распределенными нерационально, но часто их вовсе нет. В случаях, когда речь идет именно о совершенствовании структур или адаптации к предсказываемым изменениям, знания о существующих ограничениях имеют критическое значение;

- **IDEF10** (Implementation Architecture Modeling) - Моделирование архитектуры выполнения. Этот метод определён как востребованный, однако так и не был полностью разработан;
- **IDEF11**— (Information Artifact Modeling). Этот метод определён как востребованный, однако так и не был полностью разработан;
- **IDEF12**— (Organization Modeling) - Организационное моделирование. Этот метод определён как востребованный, однако так и не был полностью разработан;
- **IDEF13**— (Three Schema Mapping Design) - Трёхсхемное проектирование преобразования данных. Этот метод определён как востребованный, однако так и не был полностью разработан;
- **IDEF14** — (Network Design) - Метод проектирования компьютерных сетей, основанный на анализе требований, специфических сетевых компонентов, существующих конфигураций сетей. Также он обеспечивает поддержку решений, связанных с рациональным управлением материальными ресурсами, что позволяет достичь существенной экономии.

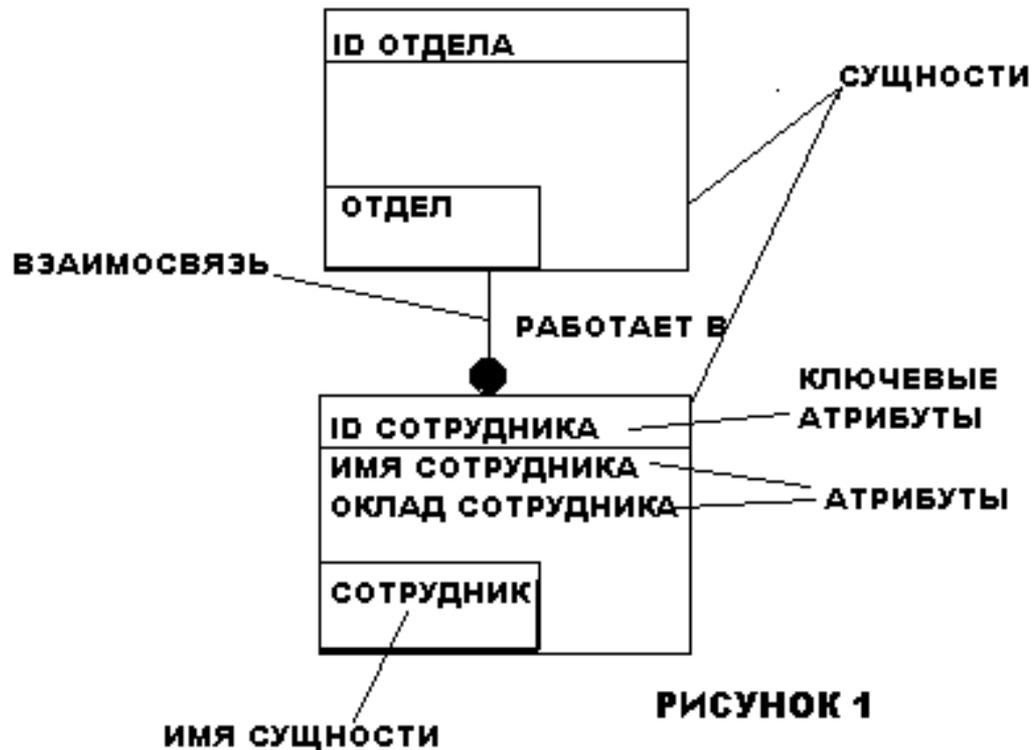
Фрагмент стандарта IDEF0 (функциональная диаграмма)



Пример функциональной диаграммы (структурно-функциональная модель воздействие на внешнюю среду)



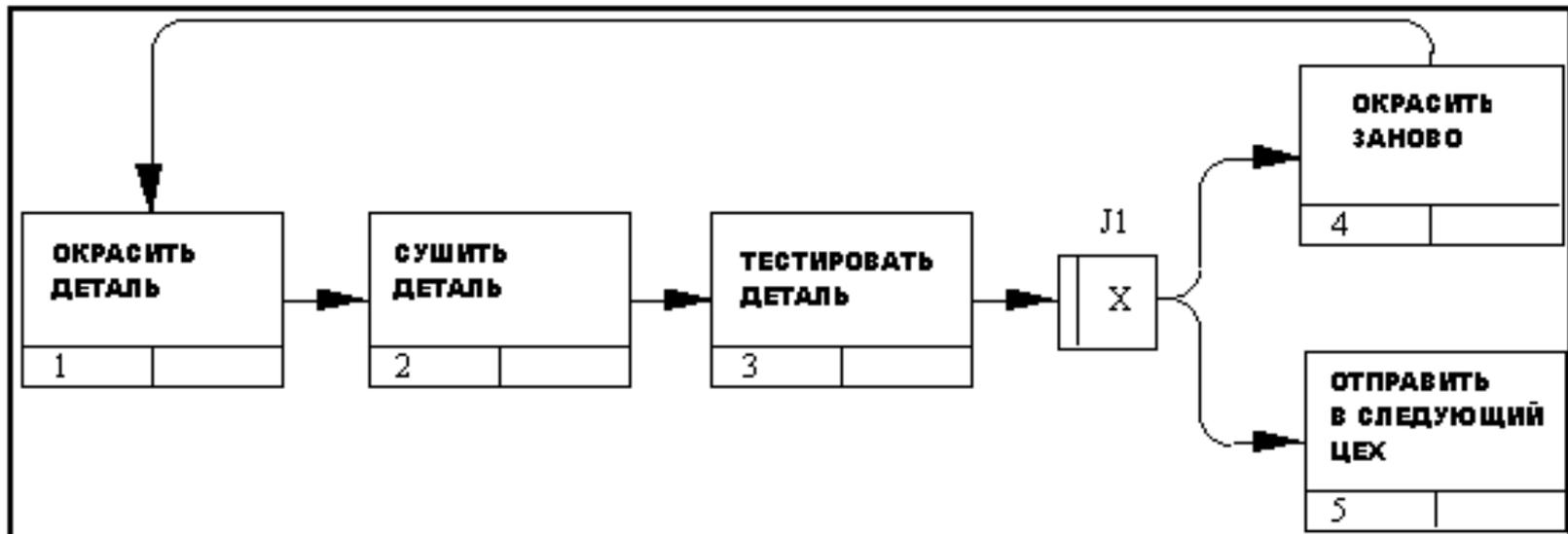
Фрагмент стандарта IDEF1 (модель сущность связь)



Стандарт IDEF3

- Основу методологии IDEF3 составляет графический язык описания процессов. Модель в нотации IDEF3 может содержать два типа диаграмм:
 - диаграмму Описания Последовательности Этапов Процесса (Process Flow Description Diagrams, PFDD)
 - диаграмму Сети Трансформаций Состояния Объекта (Object State Transition Network, OSTN)

Пример PFDD диаграммы.



Пример OSTN диаграммы

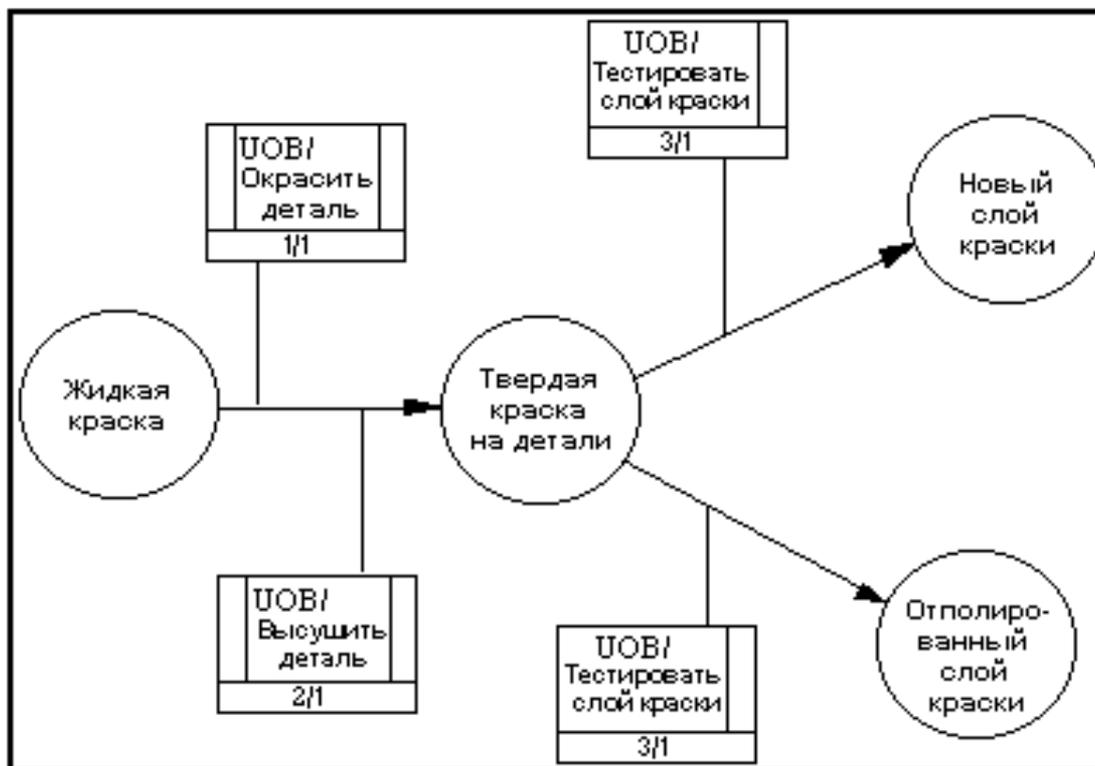
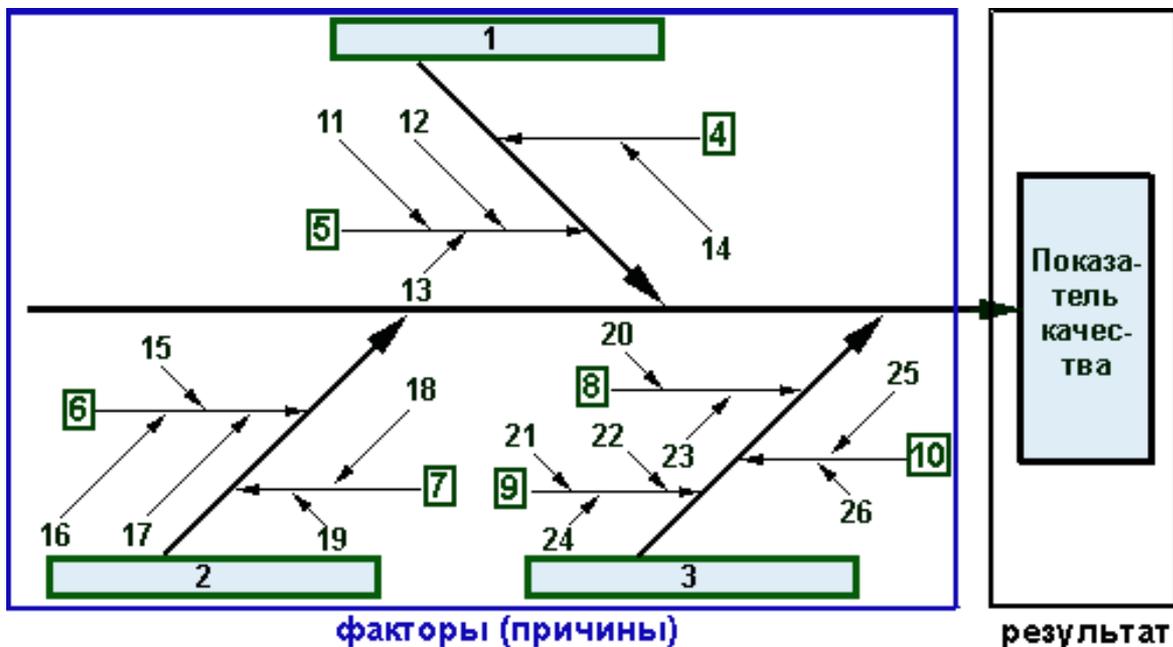


Диаграмма Исикавы (рыбий скелет)



1-3 – главные факторы (причины), влияющие на процесс;
4-10 – вторичные причины (4,5 воздействуют на фактор 1; 6,7 – на фактор 2; 8-10 – на фактор 3);
11-26 – факторы, влияющие на вторичные причины.

Модели баз данных

Иерархическая модель

Сетевая модель

Реляционная модель

**Постреляционная (многомерная
реляционная)**

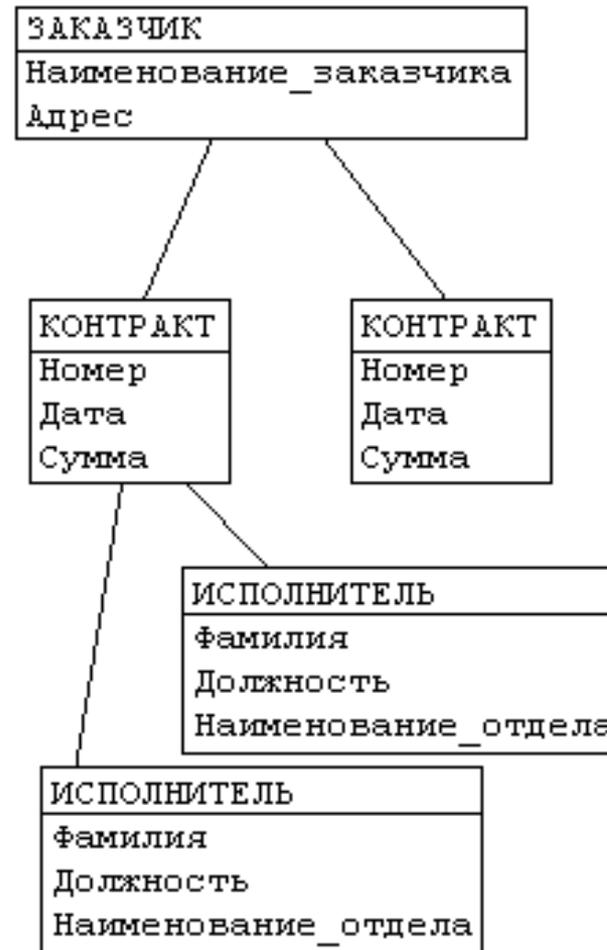
Иерархическая модель базы данных



(a)

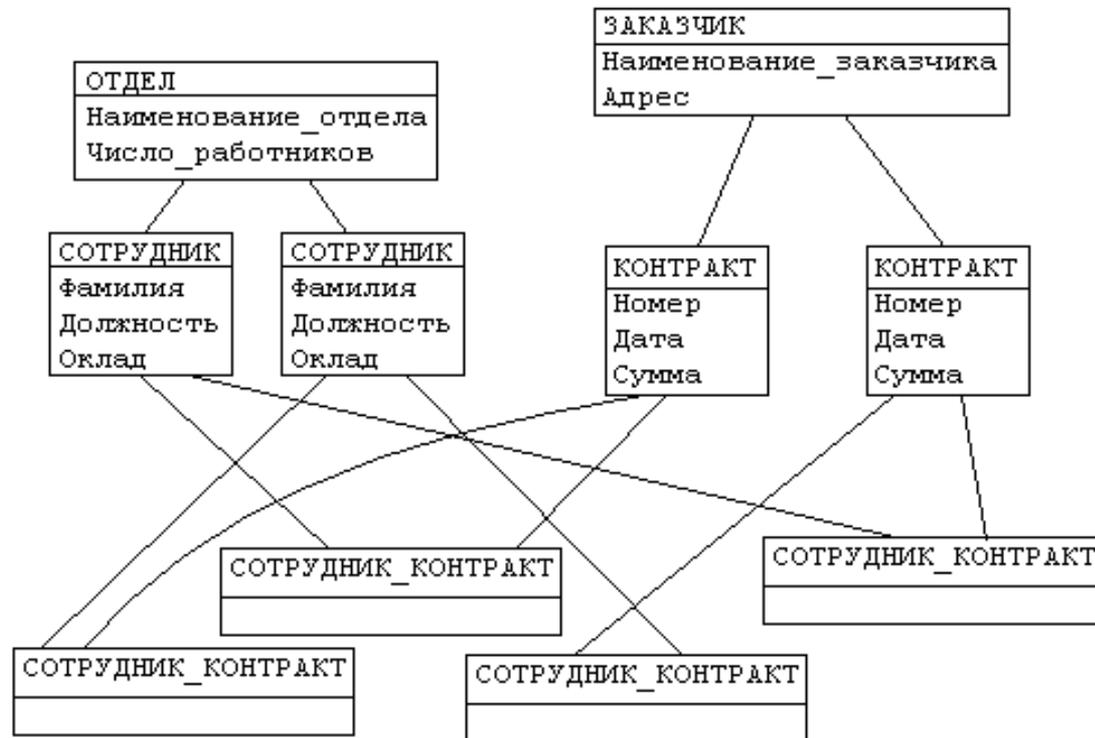


(c)



(b)

Сетевая модель базы данных



Реляционная модель данных

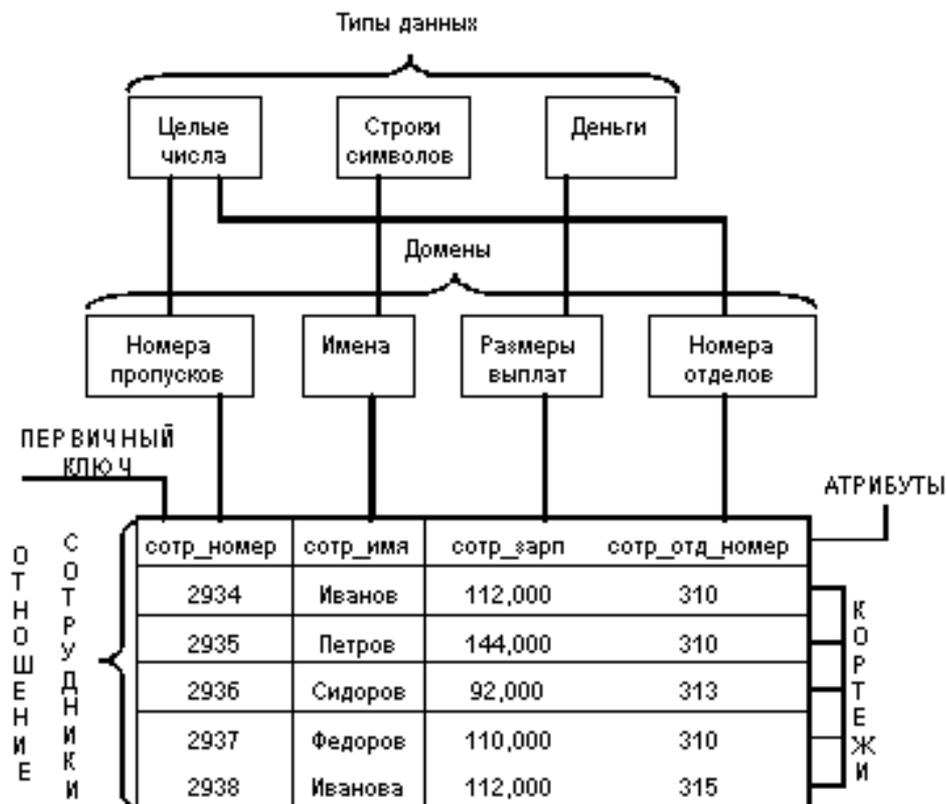
- Реляционная база данных — база данных, основанная на реляционной модели данных. Слово «реляционный» происходит от англ. relation (отношение[1]). Для работы с реляционными БД применяют реляционные СУБД.
- Использование реляционных баз данных было предложено доктором Коддом из компании IBM в 1970 году.

- Будучи математиком по образованию Э.Кодд предложил использовать для обработки данных аппарат теории множеств (объединение, пересечение, разность, декартово произведение). Он показал, что любое представление данных сводится к совокупности двумерных таблиц особого вида, известного в математике как отношение – relation (англ.)
- В соответствии с реляционным методом каждая сущность предметной области представляется таблицей. Каждый столбец такой таблицы содержит значения одного из атрибутов сущности. Каждая строка содержит все признаки одного из экземпляров сущности. Связи между сущностями представляются связями между атрибутами таблиц. Для заполненных данными таблиц связи показывают, какие экземпляры одной таблицы связаны с экземплярами другой таблицы. Связь выполняется по совпадающим значениям одного или нескольких столбцов связанных таблиц.

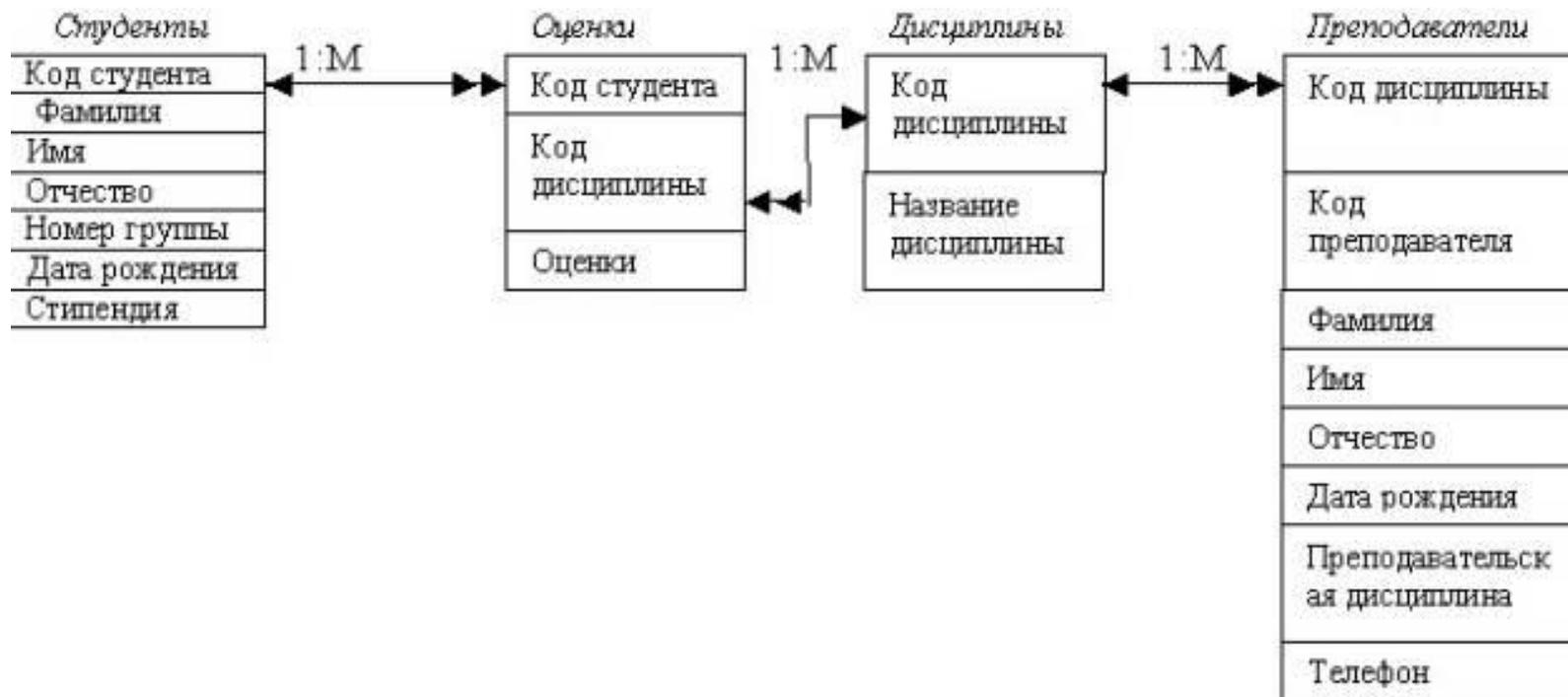
Реляционная база данных



Составляющие реляционной база данных



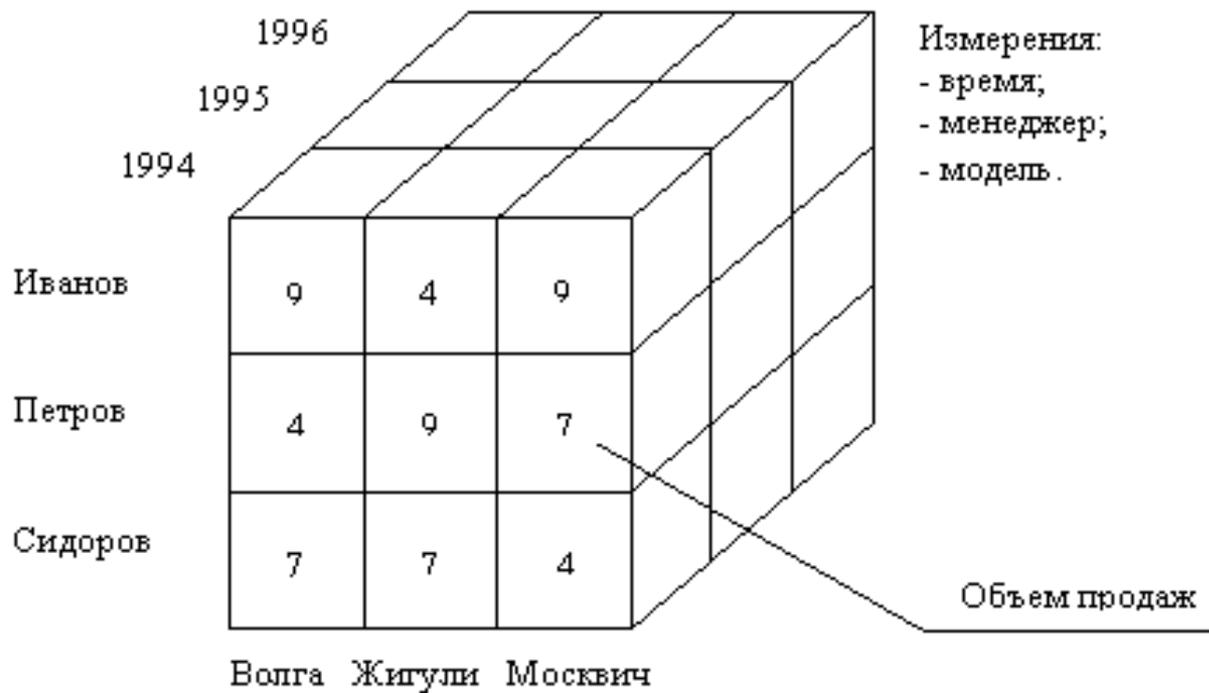
Логическая модель базы данных



Постреляционная (многомерная реляционная)

- Постреляционная модель базы данных представляет собой расширенную реляционную модель, снимающую ограничение неделимости данных в таблицах. Допускает многозначные поля (поля, значения которых состоят из подзначений). Набор значений многозначных полей считается самостоятельной таблицей, встроенной в основную таблицу. Постреляционная модель поддерживает также многоуровневые ассоциированные поля. Совокупность ассоциированных полей называют ассоциацией. При этом, первое значение одного столбца ассоциации соответствует первым значениям всех остальных столбцов ассоциации. Аналогичным образом связаны вторые значения. На длину полей и количество полей в записях не накладывается ограничение постоянства.
- Достоинства: возможность представления совокупности связанных таблиц одной постреляционной таблицей.
- Недостатки: сложность решения проблемы целостности и непротиворечивости данных

Многомерная база данных (трехмерная)



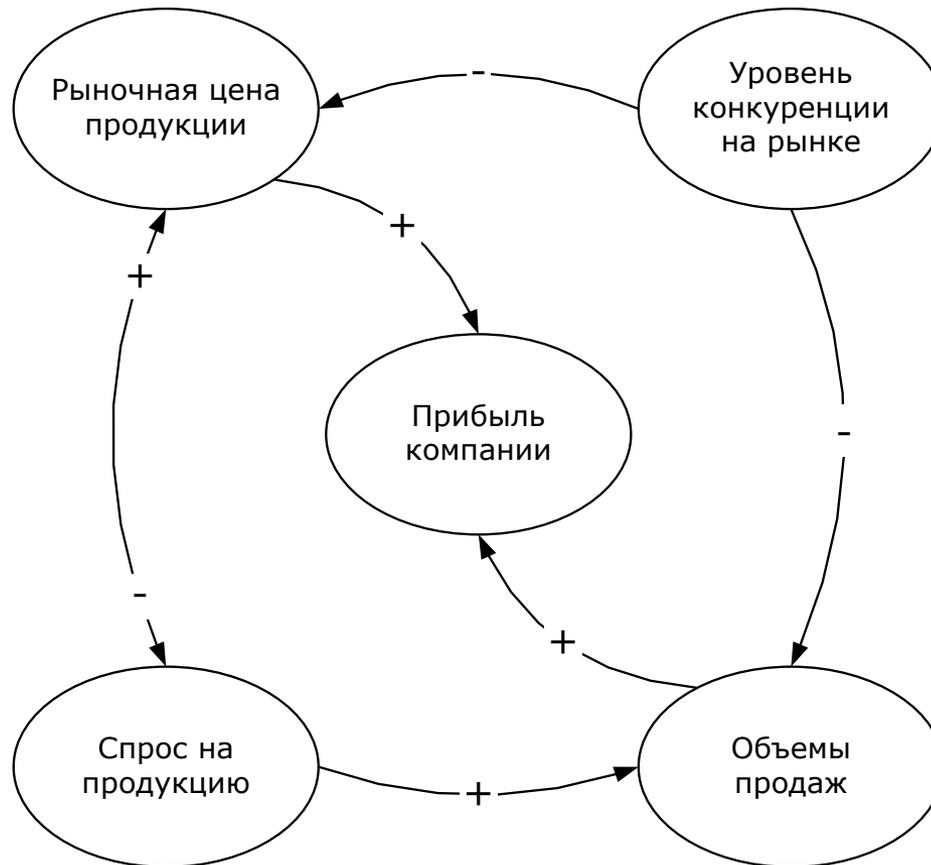
КОГНИТИВНЫЕ КАРТЫ

- Когнитивная карта (карта познания, КК, КП) это вид математической модели, представленный в виде графа, позволяющей описывать субъективное восприятие человеком или группой людей какого-либо сложного объекта, проблемы или функционирования системы.
- Когнитивная карта предназначена для выявления структуры причинных связей между элементами системы, сложного объекта, составляющими проблемы и т.п. и оценки последствий, происходящих под влиянием воздействия на эти элементы или изменения характера связей

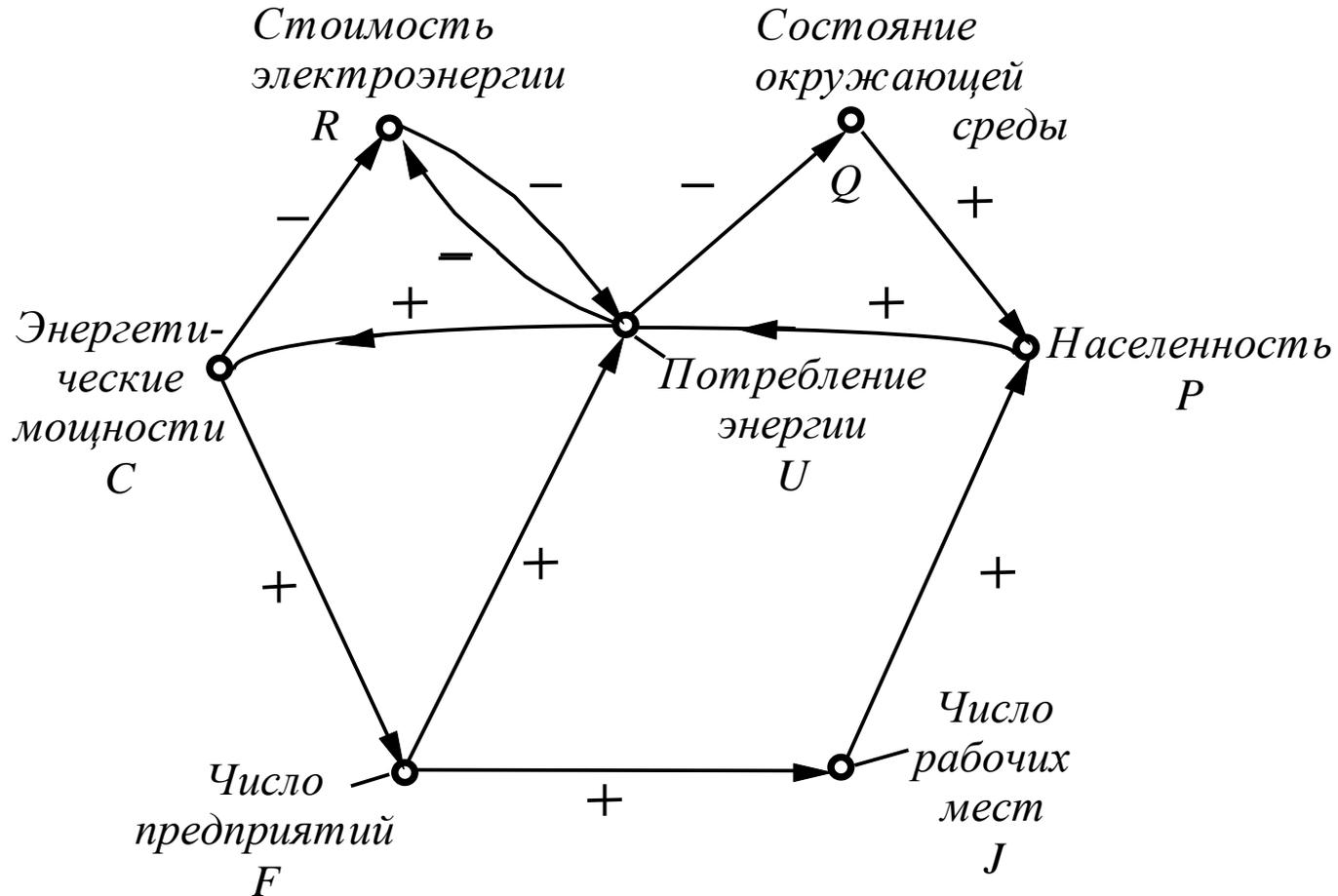
- Теория графов предоставляет средства отображения структуры причинно- следственных связей: это пути, циклы и компоненты. Они оказываются полезными для анализа сложных структур взаимозависимостей. Эти три объекта могут вступать друг с другом в некоторые отношения, и каждое отношение может быть характеризовано как положительное или отрицательное, например, согласен или не согласен, любит или не любит.
- Элементы изучаемой системы или объекта называются концептами. Концепты в графе представляются вершинами, причинно- следственные связи - направленными дугами, связывающими концепты. Такой графический вид представления изучаемого объекта называется когнитивной картой. Этот граф называется знаковым (взвешенным) графом.

- Структуру когнитивного графа лучше всего представить в виде направленного графа, в котором вершины являются концептами (переменными концептов), а дуги выражают отношения причинности. Дуги могут помечаться знаками «+», «-» или 0, что означает соответственно положительное, отрицательное или нулевое причинное отношение.
- Описанные традиционные когнитивные карты используются в основном, для прогноза и оценки взаимовлияния концептов друг на друга. По ним можно определить, что произойдет с системой, если изменится состояние любого или любых концептов, не станут ли некоторые концепты неприемлемыми в контексте реальных объектов предметной области. Данная задача получила название «анализа устойчивости когнитивной карты» (определения совместного консонанса).

Пример фрагмента когнитивной карты



Анализ проблем потребления электроэнергии



Методы построения когнитивных карт

- 1. Когнитивную карту строит сам ЛПР на основе своих знаний и представлений без привлечения экспертов и справочных материалов.**
- 2. Построение когнитивных карт на основе изучения документов.**
- 3. Построение когнитивных карт на основе опросов группы экспертов, имеющих возможность оценивать причинные связи.**
- 4. Построение когнитивных карт, основанное на открытых выборочных опросах. Используется для построения сравниваемых когнитивных карт.**

Анализ когнитивных карт

1. При любом методе построения когнитивных карт ЛПР должен:

- определить (согласовать) список концептов (вершин знакового графа);

- определить (согласовать) список отношений причинности (дуг графа) между концептами;

- определить (согласовать) значения причинности между концептами – список отношений причинности каждой дуги;

2. Найти в когнитивном графе циклы (контур) положительных и отрицательных обратных связей.

3. Если в знаковом графе есть несколько положительных циклов (контуров). Это может привести к неустойчивости системы, т. к. незначительное начальное изменение может привести к непредвиденному значительному скачку.

4. Отрицательные обратные связи часто ведут к стабилизации системы, однако они могут вызвать все большее и большее колебание системы, т.е. к другой неустойчивой ситуации.

5. *Общее правило поведения путей и циклов следующее:*

а) Обратная связь в цикле положительная, если число дуг со знаком минус четное (или их нет), и отрицательная, если число дуг со знаком минус – нечетное;

- Общая обратная связь A на вершину B (возможно на ту же вершину A) есть сумма обратных связей в циклах на всем пути от A до B (возможно от A до A).

6. Если обратные связи во всех циклах положительны, то сумма обратных связей положительна.

7. Если сумма обратных связей во всех циклах отрицательна, то сумма отрицательна.

8. В пути или цикле с четным числом дуг со знаком минус первоначальное изменение усиливается.

9. В пути или цикле с нечетным числом дуг со знаком минус первоначальному изменению оказывается противодействие.

Когнитивные карта

(ликвидация последствий разлива нефти)

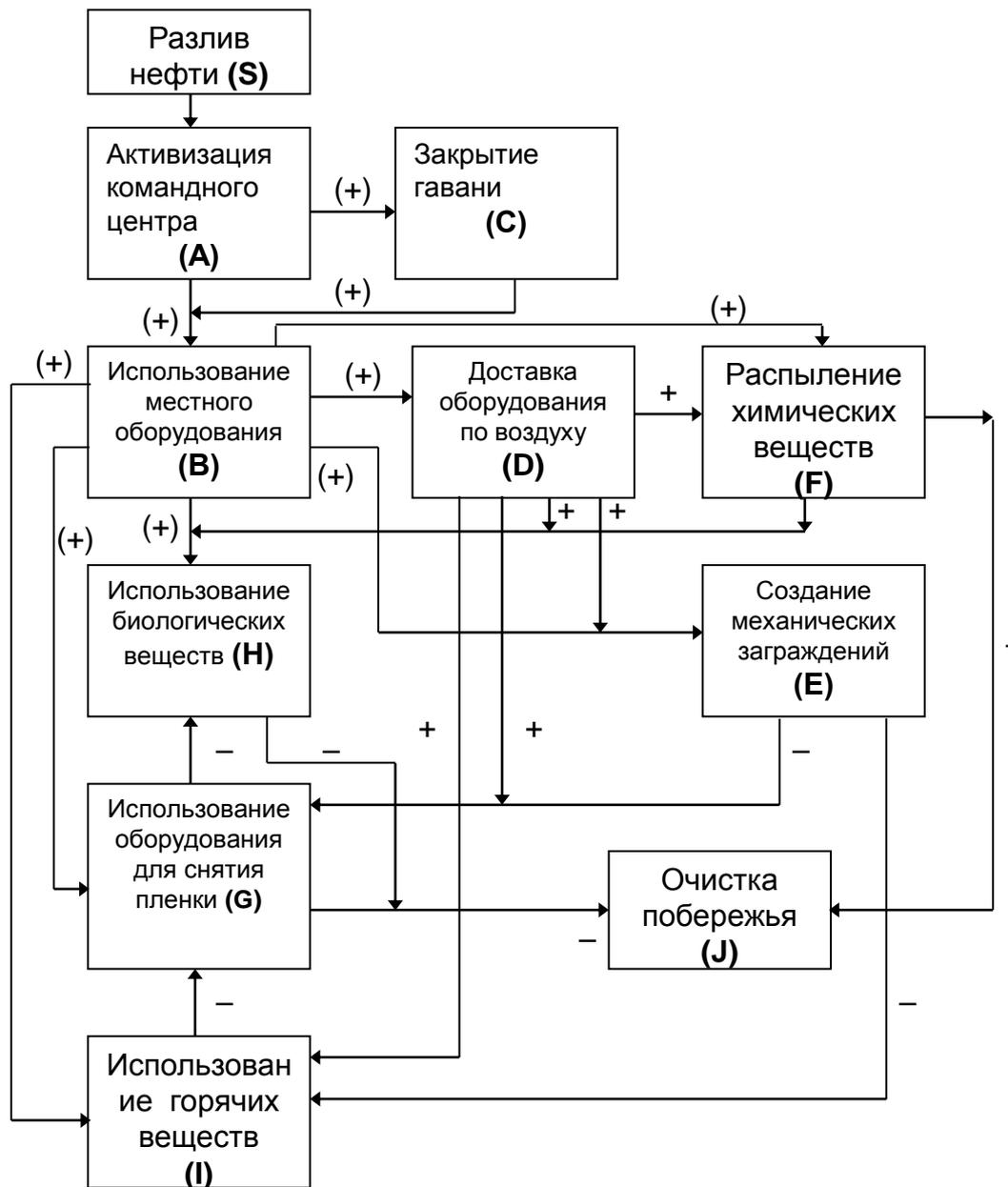
Для ликвидации последствий разлива нефти в гавани возможно выполнение следующего набора операций (действий) - концептов.

- **А. Активизация командного центра.**
- **В. Сбор и приведение в готовность местного оборудования.**
- **С. Закрытие гавани.**
- **Д. Доставка дополнительного оборудования по воздуху.**
- **Е. Создание механических заграждений.**
- **Ф. Распыление химических веществ.**
- **Г. Использование механических средств для снятия пленки.**
- **Н. Использование биологических веществ.**
- **І. Использование горячих веществ.**
- **Ж. Очистка побережья.**

Таблица отношений причинности

(дуги графа КК)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A		+	+							
B				+	+	+	+	+	+	
C	+	+								
D					+	+	+	+	+	
E		+					+		-	
F								-		-
G					+			-	-	-
H							-			-
I		+		-	-		-			
J						-	-	-		102



Выводы относительно задачи о разливе нефти

- В данном случае отношения причинности хорошо известны. Они могут храниться в базе данных, и система поддержки принятия решений выдает их на дисплее для анализа ЛПР. Все тоже самое может быть и в обратном порядке.
- Этот граф нет смысла анализировать на устойчивость, т. к. если принять некоторую разрешенную на графе последовательность действий, например, А, В, С, F, G, H, J, то гавань будет очищена от разлившейся нефти. Этот же результат может быть получен и при другой разрешенной последовательности действий.
- Однако, в данном случае (как впрочем и в других случаях) метод когнитивных карт не дает ответа: какая последовательность дешевле, при какой последовательности действий очистка гавани будет выполнена за кратчайший срок, какая последовательность действий безопаснее и т. д.

- **Одним из основных подходов, расширяющих возможности использования когнитивных карт (в частности при поддержке принятия решений – управления) является создание механизма генерации возможных вариантов сценариев решений и заданного набора операций.**
- **Автоматизированная генерация всех возможных сценариев сводится к перебору дуг графовой структуры, описывающей исходную проблему. Для решения этой задачи используют методы теории графов и порождающие грамматики.**

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ГРАФОВ

ПРИМЕРЫ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ **ГРАФОВ**

- **«Транспортные» задачи**, в которых вершинами графа являются пункты, а ребрами - дороги (автомобильные, железные и др.) и/или другие транспортные (например, авиационные) маршруты. Другой пример - сети снабжения (энергоснабжения, газоснабжения, снабжения товарами и т. д.), в которых вершинами являются пункты производства и потребления, а ребрами - возможные маршруты перемещения (линии электропередач, газопроводы, дороги и т.д.). Соответствующий класс задач оптимизации потоков грузов, размещения пунктов производства и потребления и т. д., иногда называется **задачами обеспечения** или **задачами о размещении**. Их подклассом являются **задачи о грузоперевозках**.

- **«Технологические задачи»**, в которых вершины отражают производственные элементы (заводы, цеха, станки и т.д.), а дуги - потоки сырья, материалов и продукции между ними, заключаются в определении оптимальной загрузки производственных элементов и обеспечивающих эту загрузку потоков.
- **Обменные схемы**, являющиеся моделями таких явлений как бартер, взаимозачеты и т.д. Вершины графа при этом описывают участников обменной схемы (цепочки), а дуги - потоки матери-альных и финансовых ресурсов между ними. Задача заключается в определении цепочки обменов, оптимальной с точки зрения, на-пример, организатора обмена и согласованной с интересами участников цепочки и существующими ограничениями.

- **Управление проектами.** С точки зрения теории графов проект – это совокупность операций и зависимостей между ними (*сетевой график*). Хрестоматийным примером является проект строительства некоторого объекта. Совокупность моделей и методов, использующих язык и результаты теории графов и ориентированных на решение задач управления проектами, получила название *календарно-сетевого планирования и управления (КСПУ)*. В рамках КСПУ решаются задачи определения последовательности выполнения операций и распределения ресурсов между ними, оптимальных с точки зрения тех или иных критериев (времени выполнения проекта, затрат, риска и др.).

- **Модели коллективов и групп**, используемые в социологии, основываются на представлении людей или их групп в виде вершин, а отношений между ними (например, отношений знакомства, доверия, симпатии и т.д.) - в виде ребер или дуг. В рамках подобного описания решаются задачи исследования структуры социальных групп, их сравнения, определения агрегированных показателей, отражающих степень напряженности, согласованности взаимодействия и др.
- **Модели организационных структур**, в которых вершинами являются элементы организационной системы, а ребрами или дугами - связи (информационные, управляющие, технологические и др.) между ними.

Задача о кратчайшем пути в транспортной сети

Пусть задана транспортная сеть, в которой отмечены вершина с индексом 0 (вход) и вершина N (выход), и заданы длины дуг L_{ij} , связывающих вершины. Требуется найти путь кратчайшей длины от входа к выходу.

Обозначим через F_i длину кратчайшего пути от i -ой вершины до N-й.

Тогда $F_N=0$ и для остальных вершин по принципу оптимальности

$$F_i = \min_{(i,j)} [L_{ij} + F_j], \quad i = 0, 1, \dots, N-1$$

из какой бы вершины i мы не исходили и в какую бы вершину j мы не перешли, дальнейший путь должен быть кратчайшим). Для решения полученной системы можно воспользоваться приближением в пространстве функций, приняв за начальную функцию, равную нулю при $i=N$ и бесконечности (большому числу) при остальных i .

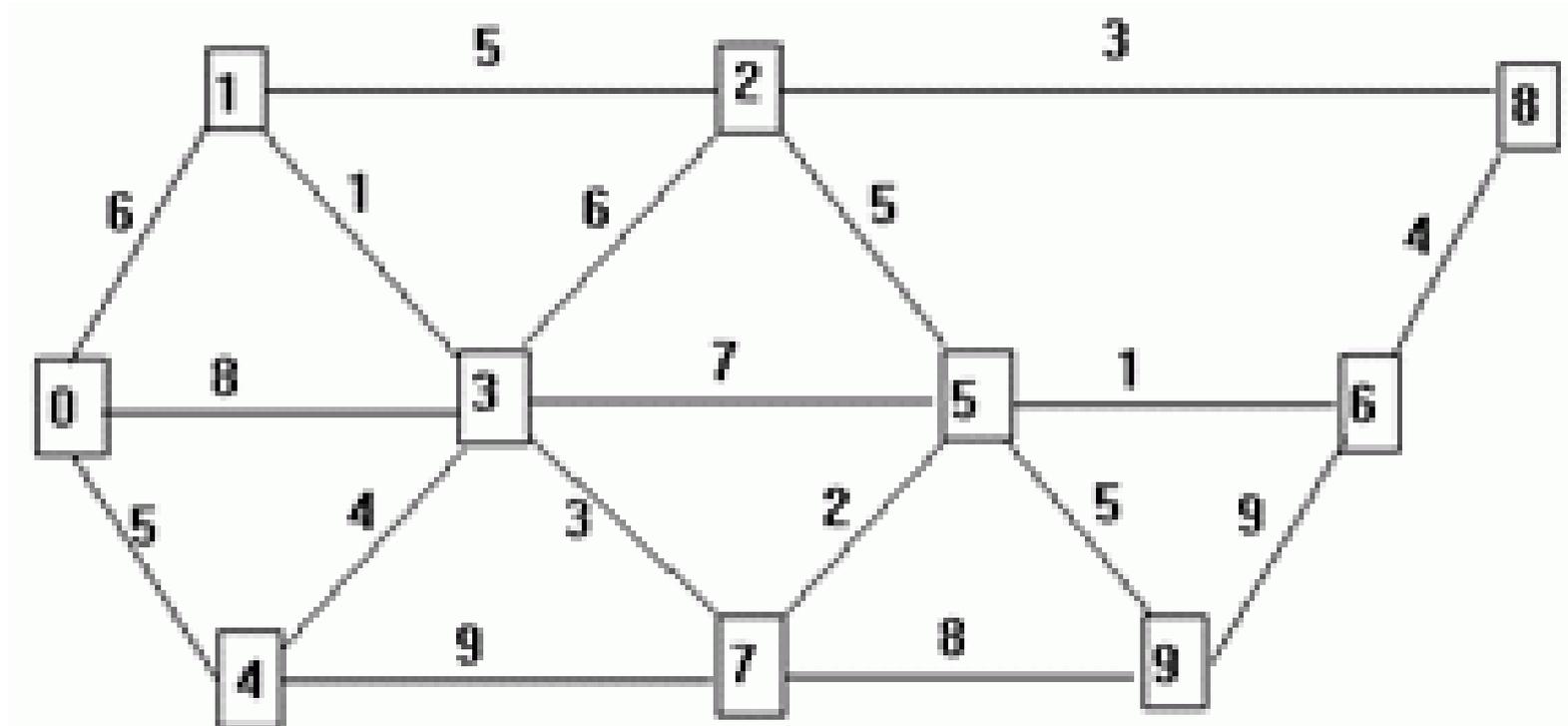
Осуществляем итерационный процесс до совпадения k -го и $(k-1)$ -го приближений. Если к тому же запоминать для каждого i индекс последующей вершины j , обеспечивающий минимум, то можно будет найти искомый кратчайший путь.

$$F_i^{(k)} = \min_{(i,j)} [L_{ij} + F_j^{(k-1)}], \quad i \neq N, \quad k = 1, 2, \dots$$

$$F_N^{(k)} = 0, \quad k = 1, 2, \dots$$

Пример

Пусть задан граф:



И матрица весов (длин путей) ребер графа

L_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		6		8	5					
1	6		5	1						
2		5		6		5			3	
3	8	1	6		4	7		3		
4	5			4				9		
5			5	7			1	2		5
6						1			4	9
7				3	9	2				8
8			3				4			
9						5	9	8		

Задав начальные приближения для F_i равными бесконечности (любое очень большое число, кроме FN) и перебирая вершины в порядке роста индексов получаем очередные приближения; например,

$$F_0^{(1)} = \infty, F_1^{(1)} = \infty, F_2^{(1)} = \infty, F_3^{(1)} = \infty, F_4^{(1)} = \infty,$$

$$F_5^{(1)} = \min(2 + F_2^{(1)}, 7 + F_3^{(1)}, 1 + F_6^{(0)}, 2 + F_7^{(0)}, 5 + F_9^{(0)}) = 5, j = 9;$$

$$F_6^{(1)} = \min(1 + F_5^{(1)}, 4 + F_8^{(0)}, 9 + F_9^{(0)}) = \min(1 + 5, 4 + \infty, 9 + 0) = 6, j = 5; \dots$$

$$F_2^{(2)} = \min(3 + F_1^{(2)}, 6 + F_3^{(1)}, 5 + F_5^{(1)}, 3 + F_8^{(1)}) = \min(\infty, \infty, 5 + 5, 3 + 10) = 10, \dots$$

Которые можно представить следующей таблицей:

i	F^0	F^1	j^1	F^2	j^2	F^3	j^3	F^4	j^4	F^5	j^5
0	∞	∞	4	∞	4	18	3	17	3	17	3
1	∞	∞	3	∞	3	11	3	11	3	11	3
2	∞	∞	8	10	5	10	5	10	5	10	5
3	∞	∞	1	10	7	10	7	10	7	10	7
4	∞	∞	3	14	3	14	3	14	3	14	3
5	∞	5	9	5	9	5	9	5	9	5	9
6	∞	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5
7	∞	7	5	7	5	7	5	7	5	7	5
8	∞	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6
9	0	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

Из полученной таблицы легко по значениям j^5 выяснить кратчайший путь [0 - 1 - 3 - 7 - 5 - 9] с длиной $F_0 = 17$.

Аналогично можно найти кратчайшие пути от любой вершины до 9-й.

Ускорения сходимости процесса итераций можно добиться, если при поиске k -го приближения ссылаться не на $(k-1)$ -е приближение, а на последнюю из полученных оценок:

$$F_i^{(k)} = \min_{(j)} [L_{ij} + F_j^{(s)}] \quad , i \neq N, \quad s = \begin{cases} k & , k = 1, 2, \dots \\ k-1 & \end{cases}$$

Задача о критическом пути в сетевом графике (определения

продолжительности проекта)

В сетевом планировании возникает задача поиска пути максимальной длины (критического пути) от входа к выходу в ориентированной транспортной сети, не содержащей контуров (т.е. возможности возврата к пройденным вершинам). Если обозначить через F_i длину критического пути от i -й вершины до N -й, то задача сводится к системе функциональных уравнений:

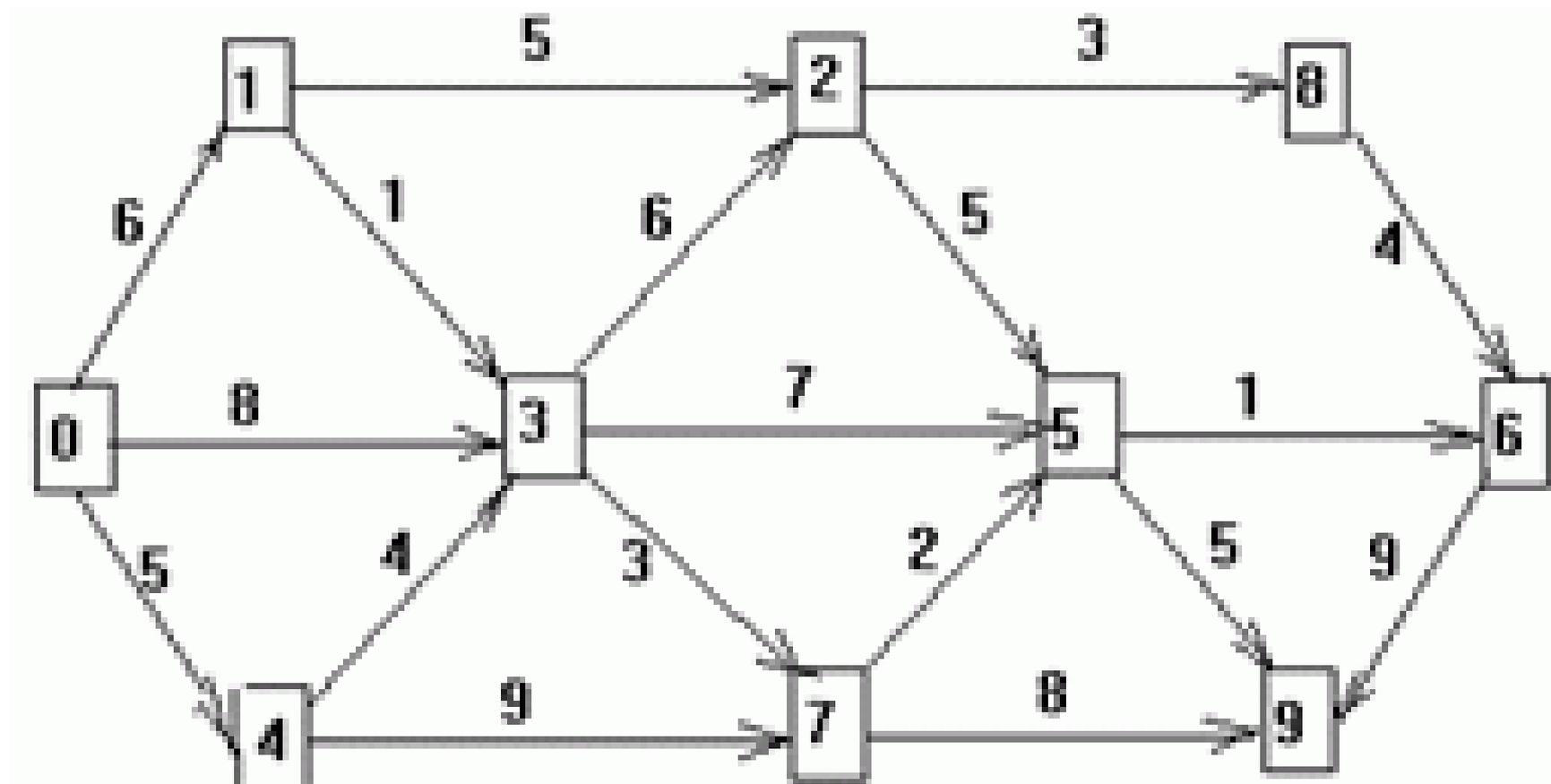
$$F_i = \max_{(i,j)} [L_{ij} + F_j], \quad i = 0, 1, \dots, N-1; \quad F_N = 0.$$

Решение этой системы можно, как и в задаче о кратчайшем пути, вести приближением в пространстве функций (приняв начальные приближения для всех вершин, кроме N-й, равными нулю). Если предварительно проранжировать вершины сети, то процесс итераций можно осуществить за один шаг.

Суть ранжировки поясним на примере нижеприведенной сети.

Отнесем к рангу 0 вершину входа 0. К рангу 1 отнесем вершины, в которые ведут дуги только из вершины ранга 0, т.е. вершины 1 и 4. К рангу 2 относим вершины, в которые ведут дуги только из вершин меньшего ранга, т.е. вершину 3. К рангу 3 отнесутся вершины 2 и 7, к рангу 4 - вершины 5 и 8, к рангу 5 - вершина 6, к рангу 6 - вершина 9.

Исходная сеть:



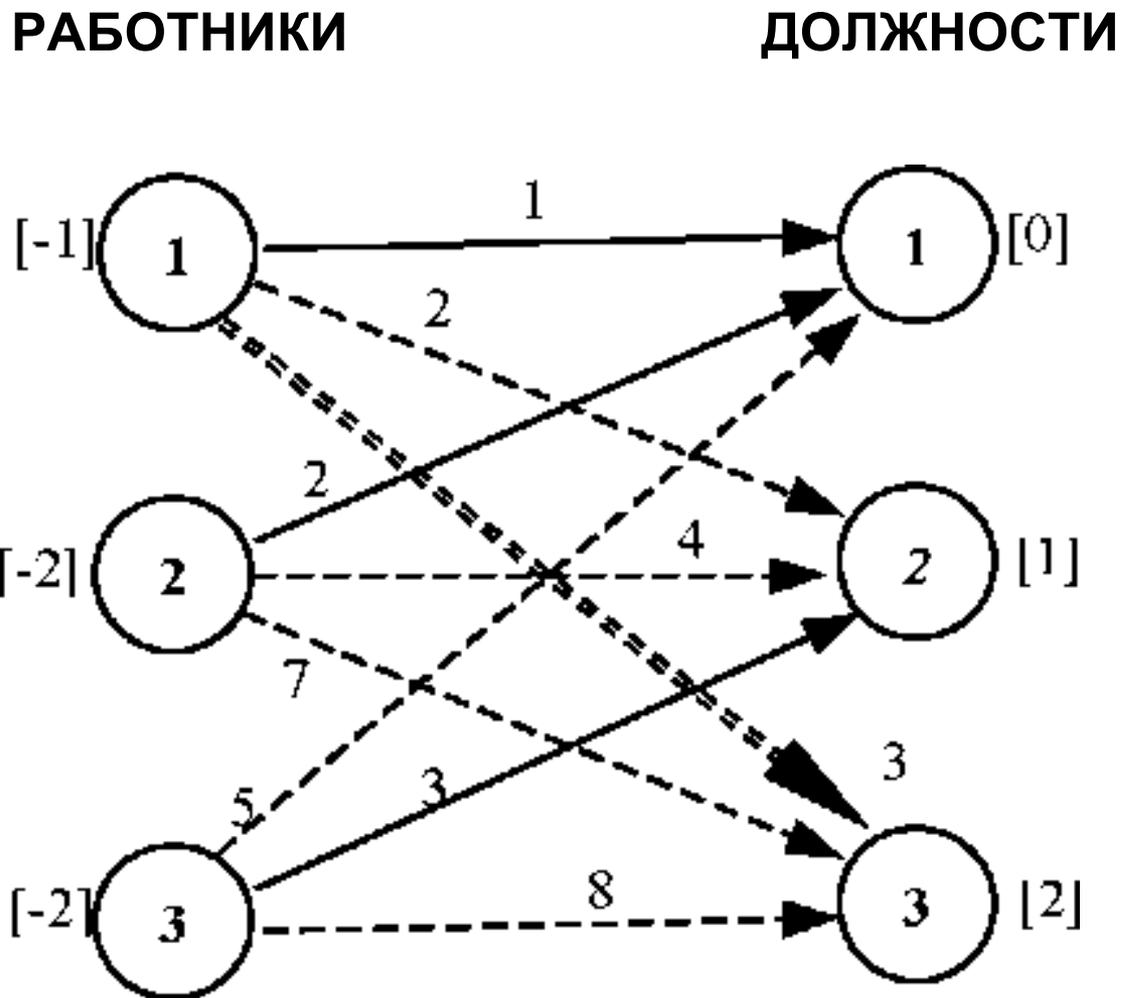
Тогда, перебирая вершины в порядке убывания ранга, получаем значения и критический путь [0 - 4 - 3 - 2 - 8 - 6 - 9] с длиной 31:

$$\begin{array}{ll}
 F_9=0 ; & F_6=9+F_9=9, \quad j_6=9 ; \\
 & F_5=\max[5+F_9, 1+F_6]=10, \quad j_5=6 ; \\
 & F_8=4+F_6=13, \quad j_8=6 ; \\
 & F_2=\max[5+F_5, 3+F_8]=16, \quad j_2=8 ; \\
 & F_7=\max[2+F_5, 8+F_9]=12, \quad j_7=5 ; \\
 & F_3=\max[6+F_2, 7+F_5, 3+F_7]=22, \quad j_3=2 ; \\
 & F_1=\max[5+F_2, 1+F_3]=23, \quad j_1=3 ; \\
 & F_4=\max[4+F_3, 9+F_7]=26, \quad j_4=3 ; \\
 & F_0=\max[6+F_1, 8+F_3, 5+F_4]=31, \quad j_0=4
 \end{array}$$

Задача о назначении

- Частным случаем транспортной задачи является **задача о назначении**, заключающаяся в следующем: имеются n человек (работников), которые могут выполнять различные работы (занимать различные должности), число работ равно числу работников (введя фиктивные должности и/или фиктивные работы, всегда можно незамкнутую задачу привести к рассматриваемой замкнутой форме). Известны затраты S_{ij} на назначение i -го работника на J -ю должность (например, минимальная зарплата, за которую он согласится работать на этой должности). Требуется найти назначение работников на должности (каждого работника на одну и только одну должность), минимизирующее суммарные затраты (если S_{iJ} интерпретируется как эффективность от работы i -го работника на J -ой должности, то оптимальное назначение должно максимизировать суммарную эффективность).

- Пример графа задачи о назначении



**Математические модели задач: о
назначении,
транспортная задачи, выбора вариантов
проектов, комивояжера**

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

$$\sum_j x_{ij} = 1(a_i)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1(b_j)$$

$$x_{ij} = 0 \vee 1$$

$$\sum_i \sum_j a^h_{ij} x_{ij} \leq A^h$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n-1$$

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

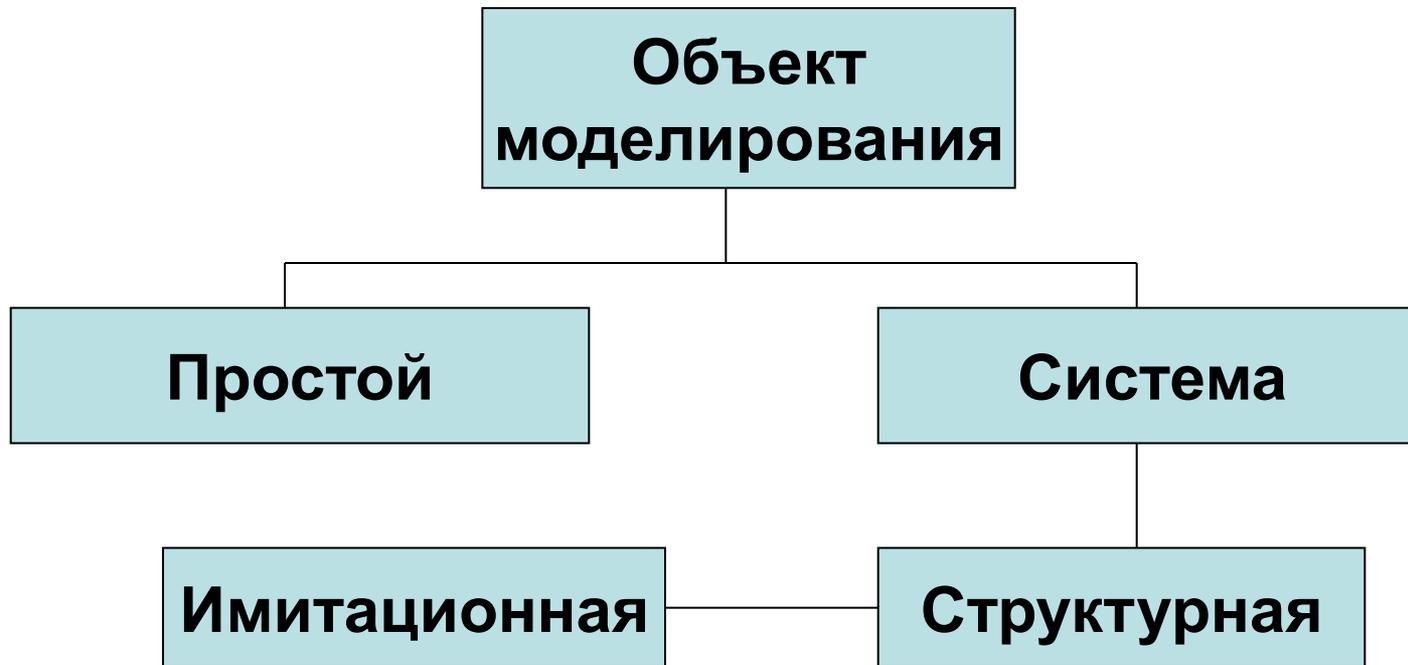
ВИДЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Математические модели (ММ) можно подразделить на различные классы в зависимости от:

- Сложности объекта моделирования;**
- Оператора модели (подмодели);**
- Входных и выходных параметров;**
- Способа исследования модели;**
- Цели моделирования.**

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ



СИСТЕМЫ ИХ ВИДЫ И **СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ММ**

- **Система** – это совокупность взаимосвязанных элементов, выделенных из окружающей среды и определенном смысле обособленная от окружающей среды и взаимодействующая с ней как единое целое для достижения поставленной цели. Сложность системы характеризуется ее **многообразием**.
- Для изучения систем используют методы **системного анализа** и **структурного моделирования**.

Максимальное число состояний, которое может принимать система, в целом, называется ее разнообразием – r (У.Р. Эшби)

$$r = n^m,$$

Где n – число состояний элемента системы;

m – число элементов системы

**Закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби –
разнообразие управляющей системы должно
быть больше или равно разнообразию
управляемого объекта.**

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

- Одним из основных понятий системного анализа является данное выше понятие системы, в том числе и сложной системы.
- Для описания систем в системном анализе рассматриваются четыре основные их модели:
 - **«черный ящик»** - отсутствуют сведения о внутреннем содержании «ящика». Рассматривается информация только по входу и выходу;
 - **«серый ящик»** - состав системы, который описывает из каких *элементов и подсистем* состоит данная система.

При этом *элементами* системы называют те ее части, которые полагаются неделимыми; части, состоящие более чем из одного элемента, называются *подсистемами*.

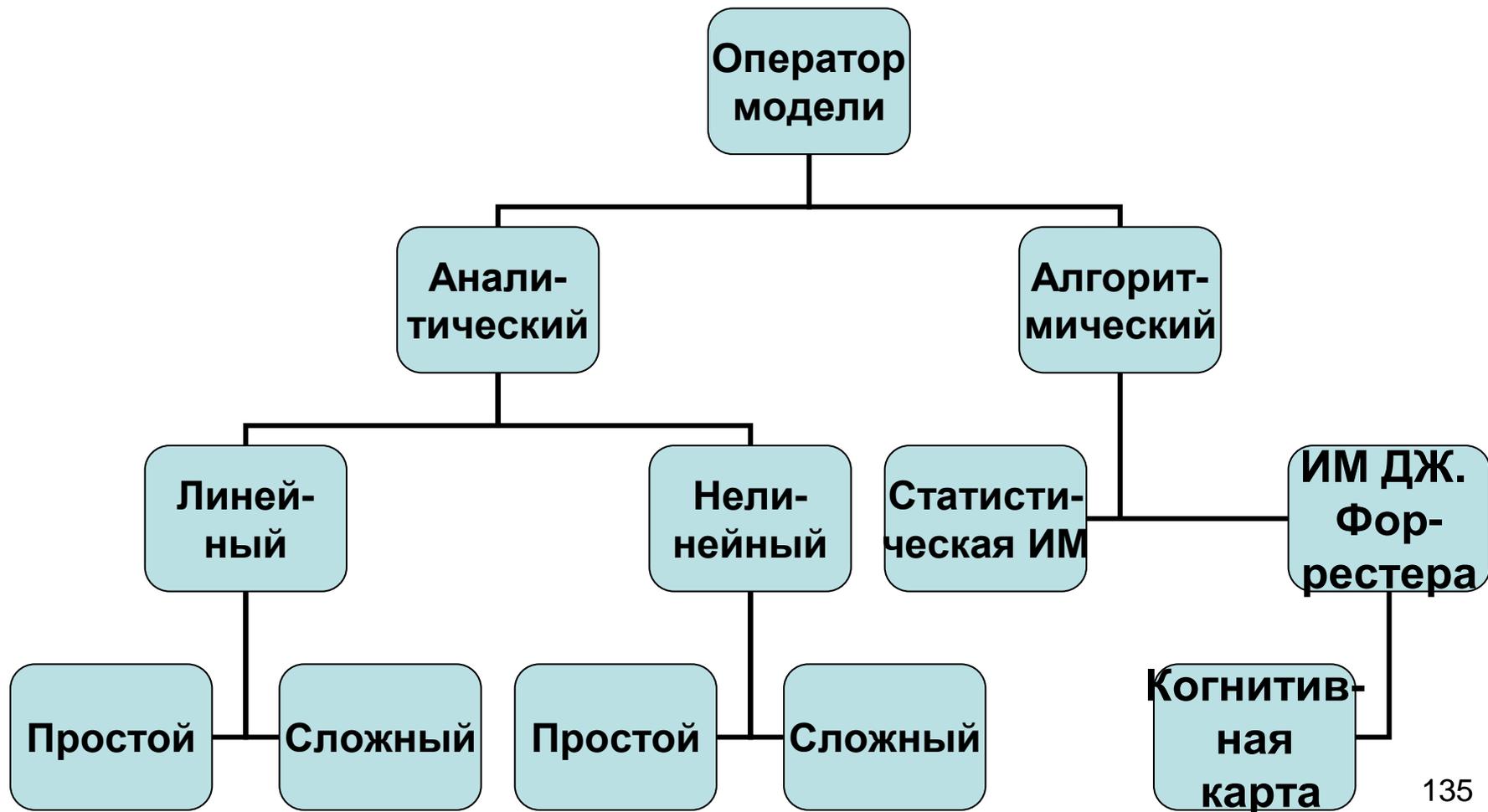
- «структура системы» - совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений (связей) между элементами и/или подсистемами. Эта модель является абстрактной, т.к. рассматривает только связи (отношения) между элементами, а не сами элементы;

- «белый ящик» - структурная схема (модель) системы, включающая все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи системы (или ее отдельных элементов) с окружающей средой (входы и выходы системы).

КЛАССИФИКАЦИЯ ММ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЛОЖНОСТИ ОБЪЕКТА МОДЕЛИРОВАНИЯ

- **Простые математические модели** описывают простые объекты моделирования и не рассматривают внутреннее строение объекта моделирования, не выделяют составляющие его элементы или подпроцессы. Хотя математический аппарат, используемый для этого может быть достаточно сложен.
- **Модели объектов систем,** учитывающие свойства и поведение отдельных элементов, а также взаимосвязи между ними, называются ***структурными***. При построении этих моделей используются методы ***системного анализа***. 134

КЛАССИФИКАЦИЯ ММ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОПЕРАТОРА МОДЕЛИ



ПРИМЕРЫ ОПЕРАТОРОВ ММ

- **Простые аналитические линейные операторы модели** – линейная функция, обыкновенное дифференциальное уравнение....
- **Простые аналитические нелинейные операторы модели** – алгебраические уравнения высших порядков....
- **Сложные аналитические линейные и нелинейные операторы модели** – системы алгебраических уравнений, системы обыкновенных дифференциальных уравнений, вейвлеты, фракталы...

КЛАССИФИКАЦИЯ ММ В **ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ** **МОДЕЛИ**

В общем случае параметры, описывающие состояние и поведение объекта моделирования разбиваются на ряд непересекающихся множеств:

- Ω_x – совокупность входных (управляемых) воздействий на объект;
- Ω_E – совокупность воздействий внешней среды;
- Ω_I – совокупность внутренних (собственных) параметров объекта;
- Ω_y – совокупность выходных характеристик

Тогда определение математической модели

$$A: X \rightarrow Y, \quad X \in \Omega_X, \quad Y \in \Omega_Y$$

представляется следующим образом

$$A: \{X, E, I\} \rightarrow Y$$

В этой модели X - входные параметры, параметры E описывающие воздействие внешней среды, и внутренние (собственные) характеристики I относят обычно к *независимым (экзогенным)* величинам. Выходные параметры Y - *зависимые (эндогенные)* величины.

По своей природе характеристики объекта (модели) могут быть как *качественными* (обычно определяются экспертным путем), так и *количественными* (измеряемыми), *дискретными* и *непрерывными*, а также *смешанными*.

При построении модели возможны следующие варианты описания неопределенности параметров:

- **Детерминированное** – параметры модели определяются детерминированными величинами – полная определенность.
- **Стохастическое** – значения всех или отдельных параметров модели определяются случайными величинами, заданными плотностями вероятности. Наиболее полно исследованы случаи нормального(гауссова) и показательного распределения.

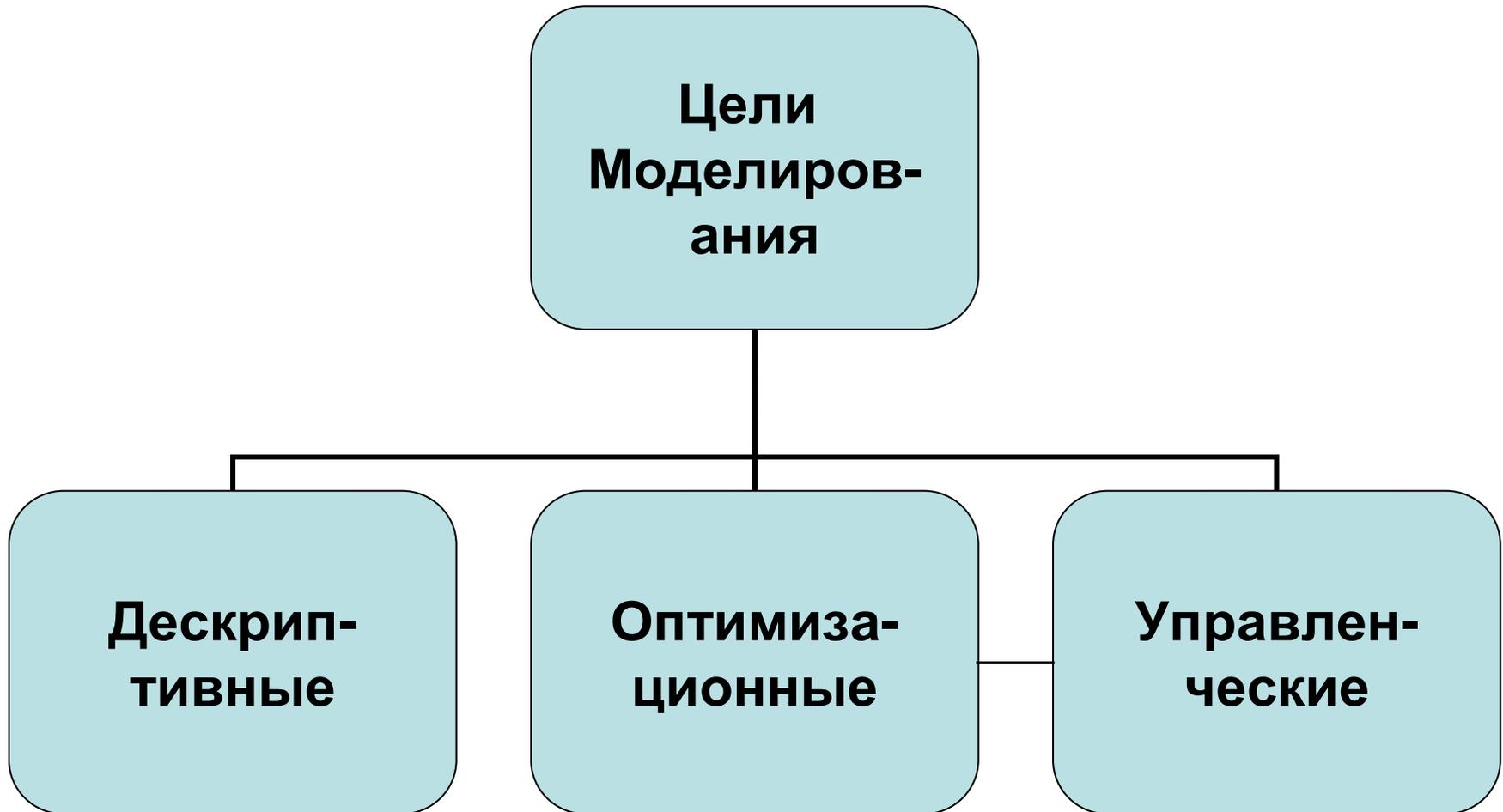
- **Случайное** – значения всех или отдельных параметров модели устанавливаются случайными величинами, заданными оценками плотности вероятности, полученными в результате обработки ограниченной экспериментальной выборки данных параметров. Однако в рассматриваемом случае получаемые результаты моделирования будут существенным образом зависеть от точности оценок моментов и плотности вероятности случайных параметров, от постулируемых законов распределения и объема выборок.
- **Интервальное** – значения всех или отдельных параметров модели описываются интервальными величинами, заданными интервалом, образованным минимальным и максимально возможными значениями параметров.

- **Нечеткое** – значения всех или отдельных параметров модели описываются функциями принадлежности, соответствующими нечеткому множеству. Эта форма очень часто используется, когда информация о параметрах модели задается экспертом на естественном языке в терминах типа: «много больше пяти», «около нуля», «очень хорошо» и т.д.
- **Игровое** – значения всех или отдельных параметров модели определяются тем, что имеет место неполная информированность субъекта о действиях или принципах принятия решений других участников организационной системы (игры).



Классификация ММ в зависимости от параметров

КЛАССИФИКАЦИЯ ММ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦЕЛЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ



Пример целей моделирования (дерева целей)

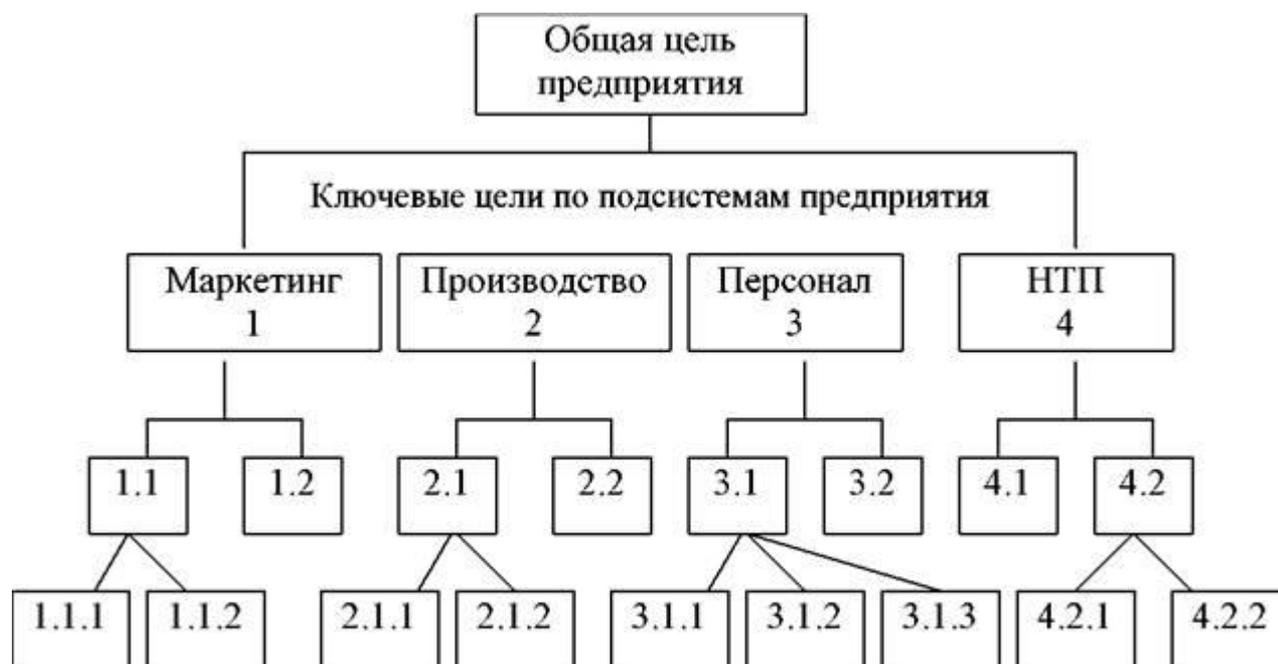


Рис.1 Дерево целей

Пример ключевых целей предприятия

(в дереве целей)

Функционирование подразделения	Ключевые цели.
Маркетинг.	Увеличить объем продаж продукции (конкретного вида) на рынке по сравнению с конкурентами.
Производство.	Увеличить рентабельность производства, снизить процент брака и непроизводительные расходы, внедрить в производство новейшие технологии.
Научно-исследовательские разработки (инновации)	Разработать и внедрить новые виды продукции за счет источников дохода, полученного от реализации продукции.
Персонал.	Усилить координацию деятельности по эффективному использованию персонала между службой управления персоналом и структурными подразделениями.
Финансы.	Разработать детальный план контроля за рациональным использованием финансовых ресурсов. Расширить рынки сбыта с целью получения кратковременной прибыли.
Менеджмент	Выявить критические области управленческого воздействия, разработать приоритетные задачи, обеспечивающие дальнейшее развитие предприятия.

КЛАССИФИКАЦИЯ ММ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ

**Методы реализации
модели**

```
graph TD; A[Методы реализации модели] --- B[Аналитические]; A --- C[Алгоритмические]
```

Аналитические

Алгоритмические

ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ



ОБСЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТА **МОДЕЛИРОВАНИЯ**

- Формируется рабочая группа, включающая специалистов различного профиля: прикладных математикой, специалистов, хорошо знающих особенности объекта моделирования, программистов, возможно из представителей заказчика и исполнителя.
- Перечень сформулированных в содержательной (словесной) форме основных вопросов об объекте моделирования, интересующих заказчика, составляет содержательную постановку задачи моделирования. Специалистов занимающихся этой работой называют постановщиками задач.

СОСТАВ РАБОТ ПО **СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ ПОСТАНОВКЕ** **ЗАДАЧИ**

- **Тщательное обследование собственно объекта моделирования с целью выявления основных факторов, механизмов, влияющих на его поведение, определения соответствующих параметров, позволяющих описывать моделируемый объект.**
- **Сбор и проверка имеющихся экспериментальных данных об объектах аналогах, проведение при необходимости дополнительных экспериментов**

- **Аналитический обзор литературных источников, анализ и сравнение между собой построенных ранее моделей данного объекта (или подобных рассматриваемому объекту).**
- **Анализ и обобщение всего накопленного материала, разработка общего плана, создания математической модели.**
- **Весь собранный в результате обследования материал о накопленных к данному моменту знаниях об объекте, содержательная постановка задачи моделирования, дополнительные требования к реализации модели и представлению оформляются в виде технического задания на проектирование и разработку модели.**

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА **ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

- На основании содержательной модели разрабатывается *концептуальная, или «естественно-научная» (физическая, химическая, геологическая и т.д.) постановка задачи моделирования*, служащая основой для концептуальной модели объекта. В отличие от содержательной *концептуальная постановка задачи моделирования, как правило, формулируется членами рабочей группы без привлечения представителей заказчика*, на основании разработанного на предыдущем этапе технического задания, с использованием имеющихся знаний об объекте моделирования и требований к будущей модели.

- ***Концептуальная постановка задачи моделирования*** – это сформулированный в терминах конкретной дисциплины (физики, химии, биологии, геологии и т. д.) перечень основных вопросов, интересующих заказчика, а также совокупность гипотез относительно свойств и поведения объекта моделирования

ПРИМЕР ЗАДАЧИ О БАСКЕТБОЛИСТЕ

- **Содержательная постановка задачи.**

Разработать математическую модель, позволяющую описать полет баскетбольного мяча, брошенного игроком в баскетбольную корзину.

Модель должна позволять:

- вычислять положение мяча в любой момент времени;
- определять точность попадания мяча в корзину после броска при различных начальных параметрах

ПРИМЕР ЗАДАЧИ О БАСКЕТБОЛИСТЕ

Исходные данные:

- Масса радиус мяча;
 - Начальные координаты, начальная скорость и угол броска мяча;
 - Координаты центра и радиус корзины
-
- **Концептуальная постановка задачи о баскетболисте.**

Движение баскетбольного мяча может быть описано в соответствии с законами классической механики Ньютона.

ПРИМЕР ЗАДАЧИ О БАСКЕТБОЛИСТЕ

Примем следующие гипотезы:

- объектом моделирования является баскетбольный мяч радиуса R ;
- мяч будем считать материальной точкой m , положение которой совпадет с центром масс мяча;
- движение происходит в поле сил тяжести с постоянным ускорением свободного падения g и описывается уравнениями классической механики Ньютона;
- движение мяча происходит в одной плоскости, перпендикулярной поверхности Земли и проходящей через точку броска и центр корзины;

ПРИМЕР ЗАДАЧИ О БАСКЕТБОЛИСТЕ

- пренебрегаем сопротивлением воздуха и возмущениями, вызванными собственным вращением мяча вокруг центра масс.

Фактически в этом примере концептуальная постановка свелась к постановке классической задачи механики о движении материальной точки в поле сил тяжести.

Концептуальная постановка более абстрактна по отношению к содержательной, так как материальной точке можно сопоставить произвольный материальный объект, брошенный под углом к горизонту: мяч, ядро, снаряд, камень и др.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА **ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

- **Математическая постановка задачи моделирования** – это совокупность математических соотношений, описывающих поведение и свойства объекта моделирования. Они определяют вид оператора модели.
- Математическая постановка требует проведения ряда работ по контролю правильности математических соотношений – ряда обязательных проверок:
 - *Контроль размерностей*, включающей правило, согласно которому приравниваться и складываться могут только величины одинаковой размерности, а при вычислениях в одной и той же системе единиц измерения;

- *Контроль порядков*, состоящий из грубой оценки сравнительных порядков складываемых велчин и исключением малозначимых параметров;

- *Контроль характера зависимостей*, заключающийся в проверке того, что направление и скорость изменения выходных параметров модели, вытекающие из выписанных математических соотношений, такие, как это следует непосредственно из «физического» смысла изучаемой модели;

- *Контроль экстремальных ситуаций* – проверка того, какой вид принимают математические соотношения, а также результаты моделирования, если параметры модели или их комбинации приближаются к предельно допустимым для них значениям, чаще всего к нулю или бесконечности;

- *Контроль граничных условий*, включающий проверку, того что граничные условия действительно наложены, что они использованы в процессе построения искомого решения и что значения выходных параметров модели на самом деле удовлетворяют данным условиям;

- *Контроль физического смысла* – проверка физического или иного, в зависимости от характера задачи, смысла исходных и промежуточных соотношений, появляющихся по мере конструирования модели;

- *Контроль математической замкнутости*, состоящий в проверке того, что выписанная система математических соотношений дает возможность, притом однозначно, решить поставленную математическую задачу (например, число уравнений в алгебраической системе линейных уравнений должно быть равно числу неизвестных).

Корректность математической модели

- Математическая модель является **корректной**, если для нее осуществлен и получен положительный результат всех контрольных проверок: размерности, порядков, характера зависимостей, экстремальных ситуаций, граничных условий, физического смысла и математической замкнутости.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

- Поиск решения задачи сводится к отысканию некоторых зависимостей искомых величин от исходных параметров модели, которые подразделяются на **аналитические и алгоритмические**.
- **Аналитические методы** более удобны для последующего анализа результатов, но применимы лишь для относительно простых моделей.
- **Алгоритмические методы** – это как правило приближенные численные методы, относящиеся к обширному разделу вычислительной математики. Они применимы лишь для корректных математических задач, что существенно ограничивает их использование в математическом моделировании.

Общим для всех численных методов является сведение математической задачи к конечномерной. Это чаще всего достигается дискретизацией исходной задачи, т.е. переходом от функции непрерывного аргумента к функции дискретного аргумента. В результате получается приближенное решение задачи, имеющее определенную погрешность. Выделяют три основных составляющих возникающей погрешности:

- *неустраняемая погрешность*, связанная с неточным заданием исходных данных (начальные и граничные условия, коэффициенты и правые части уравнений);

- *погрешность метода*, связанная с переходом к дискретному аналогу;

- *ошибка округления*, связанная с конечной разрядностью чисел, представляемых в ЭВМ,

- **Алгоритмы, включающие меньшее число действий для достижения одинаковой точности, называются более *экономичными*, или более *эффективными*.**
- **Если погрешность в процессе вычислений неограниченно возрастает, то такой алгоритм называется *неустойчивым*, или *расходящимся*. В противном случае алгоритм называется *устойчивым и сходящимся*.**
 - ***Следует отметить, что вычислительная математика в определенном смысле является собой более искусство, нежели наука (в понимании последней как области культуры, базирующейся на формальной логике).***

РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ **В ВИДЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

- **Процесс создания программного обеспечения можно разбить на следующие этапы:**
 - **составление технического задания на разработку пакета программ программного обеспечения;**
 - **проектирование структуры программного комплекса;**
 - **кодирование алгоритма;**
 - **тестирование и отладка;**
 - **эксплуатация и сопровождение.**

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ (ТЗ) НА РАЗРАБОТКУ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ПО)

ТЗ на разработку ПО оформляется в виде спецификации. Примерная форма спецификации включает семь разделов:

1. *Название задачи* – дается краткое определение решаемой задачи, название программного комплекса, указывается система программирования для его реализации и требования к аппаратному обеспечению.

2. *Описание* – подробно излагается математическая постановка задачи, описываются примерная математическая модель для задач вычислительного характера, метод обработки входных данных для задач не вычислительного характера (обработки данных).

3. Управление режимами работы программы – формируются основные требования к способу взаимодействия с программой (интерфейс «пользователь-компьютер»).

4. Входные данные – описываются входные данные, указываются пределы, в которых они могут изменяться, значения, которые они не могут принимать, и т.д.

5. Выходные данные – описываются выходные данные, указывается, в каком виде они должны быть представлены (в числовом, графическом или текстовом), приводятся сведения о точности и объеме выходных данных, способах их хранения и т.д.

6. *Ошибки* – перечисляются возможные ошибки пользователя при работе с программой (например, ошибки при вводе данных), указываются способы диагностики (т.е. выявление ошибок) при проектировании ПО , способы защиты от этих ошибок, а также реакция пользователя при совершении им ошибочных действий и реакция ПО (компьютера) на эти действия.

7. *Тестовые задачи* – приводится один или несколько тестовых примеров, на которых в простейших случаях проводится отладка и тестирование программного обеспечения.

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ

- Под **адекватностью** модели понимают степень соответствия результатов, полученных по разработанной модели, данным эксперимента или тестовой задачи.
- Проверка адекватности преследует две цели:
 - 1) Убедиться в справедливости совокупности гипотез, сформулированных на этапах концептуальной и математической постановок, проведя предварительно проверку методов решения, комплексную отладку ПО, устранение всех ошибок и конфликтов, связанных с ПО.
 - 2) Установить, что точность полученных результатов соответствует точности, оговоренной в техническом задании

ПРАКТИЧЕКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТРОЕННОЙ МОДЕЛИ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

- Модели и их ПО, разработанные для исследовательских целей, как правило, не доводятся до коммерческого уровня.
- Модели и их ПО, разработанные как коммерческие предложения (ПО АСУ, САПР, ППП, Математические пакеты и др.) имеют, как правило, дружественный интерфейс, Help и др.
- Независимо от области применения созданной модели необходимо проводить качественный и количественный анализ результатов моделирования.

- **Всесторонний анализ результатов моделирования позволяет:**
 - **Выполнить модификацию рассматриваемого объекта, найти его оптимальные характеристики или, по крайней мере, лучшим образом учесть его поведение и свойства;**
 - **Обозначить область применения модели, что особенно важно в случае использования моделей для систем автоматического и автоматизированного управления;**
 - **Проверить обоснованность гипотез, принятых на этапе математической постановки, оценить возможность упрощения модели с целью повышения эффективности при сохранении требуемой точности;**
 - **Показать, в каком направлении следует развивать модель в дальнейшем.**

СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ

- **Структурная модель системы** – это совокупность конкретных элементов системы, необходимых и достаточных отношений (связей) между этими элементами и связей между системой и окружающей средой.
- Различают следующие виды структурных моделей:
 - ***Пространственные структуры***, используемые для описания геометрии объекта и расположения в пространстве его отдельных элементов;

- *Временные структурные модели*, используемые в сетевом и календарном планировании, а также в теории массового обслуживания;

- *Физические структурные модели*, применяемые для описания сложных физических свойств исследуемого объекта с помощью простых структурных элементов;

- *Иерархические структурные схемы (модели)*, предполагающие наличие нескольких уровней обработки информации и принятия решений и распределение их между отдельными элементами.

СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ

При структурном моделировании широко применяются (совместно) **методы анализ и синтеза.**

- С **помощью методов анализа** производится разделение рассматриваемого объекта на части и исследование каждой из этих частей в отдельности;
- **Методы синтеза** служат для соединения частей в целое и являются последним этапом первого.

Пример структурной модели



МЕТОДЫ АНАЛИЗА

- **Примеры методов анализа** - часто применяемые в математике аналитические методы: разложение функций в ряды, спектральный анализ, дифференциальное и интегральное исчисление и др.; в физике – методы молекулярной динамики; на производстве – конвейерная технология изготовления.
- Основная операция при анализе – разделение целого на части, т.е. **декомпозиция – метод разложения системы на отдельные элементы, который может последовательно выполняться несколько раз.**

- В системном анализе одними из наиболее важных критериев эффективности декомпозиции являются *критерии полноты декомпозиции и ее простоты*, которые прямо связаны с полнотой модели системы, взятой в качестве исходной при декомпозиции и целями ее построения.
- Формальная модель системы, взятая для декомпозиции в теории искусственного интеллекта получила название *фрейма*. (**ФРЕЙМ** [*frame*] – *Единица представления знаний в искусственном интеллекте, описывающая понятие или объект. Фрейм состоит из ссылки на суперпонятие (т.е. понятие исходное или родовое) и описаний свойств, отличающих данный объект от суперпонятия*).
- При декомпозиции должен быть принят некий компромисс между полнотой и простотой, достигаемый если в структурную модель включаются только элементы, существенные по отношению к цели анализа.

Укрупненный алгоритм декомпозиции

- **Число уровней декомпозиции (уровней древовидной структуры) определяется следующим образом.**

Декомпозиция по каждой из ветвей древовидной структуры ведется до тех пор, пока не приведет к получению элементов системы, не требующих дальнейшего разложения. Такие составляющие называются *элементарными*.

Для определения *элементарности* используются как формализованные, так и не формализованные (экспертные) критерии.

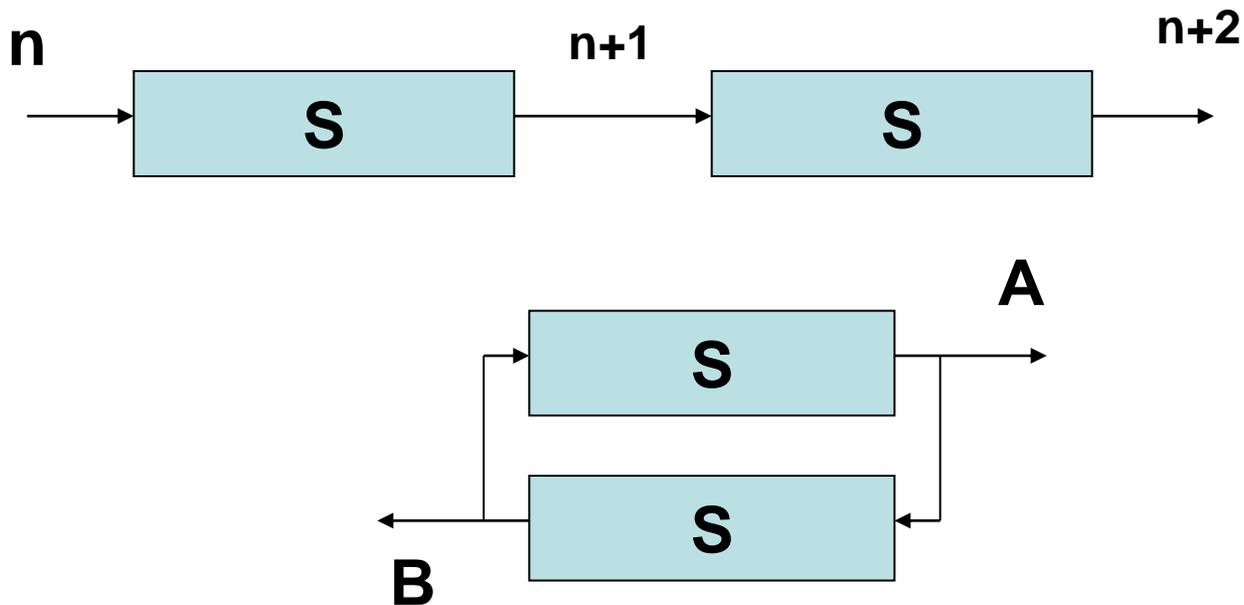
- **Часть системы, которую нельзя считать элементарной на основании выбранных критериев, подлежит дальнейшей декомпозиции. При этом могут быть использованы различные фреймы. Если исследователь «перебрал» все фреймы, но не достиг элементарности на какой-либо ветви древовидной структуры, то вводятся новые элементы в модель, взятую в качестве основания, и декомпозиция продолжается по ним.**
- **В результате декомпозиции реализуется первый структурного моделирования – этап анализа.**

МЕТОДЫ СИНТЕЗА

- **Полученная в результате декомпозиции (анализа) совокупность элементов кроме *внешней целостности* (т.е. определенной обособленности от окружающей среды, хорошо описываемой моделью «черного ящика») должна обладать *внутренней целостностью*.**
- ***Внутренняя целостность* связана с моделью структуры системы, т.е. установлением отношений между элементами, выполнение которой называется операцией *агрегирования* – *объединение нескольких элементов в единое целое*. Результатом *агрегирования (синтеза)* является система, называемая *агрегатом*.**

- **Свойства агрегата не являются только совокупностью свойств его отдельных элементов. Агрегат может обладать такими свойствами, которых нет ни одного из его элементов, взятых в отдельности, т.е. у агрегата появляется новое качество, которое не могло появиться без этого объединения.**
- **Такое «внезапное» появление новых качеств у агрегата получило название *эмерджентности* (от англ. *Emergent* – внезапно возникающий).**
- **Пример эмерджентности, предложенный М. Арбибом – пусть имеется некоторый цифровой автомат S , увеличивающий на 1 любое целое число, поступающее на его вход. При последовательном соединении двух автоматов цепочку это свойство не изменяется.**

- Если же соединить два таких автомата последовательно в кольцо (см. рис.), то в полученном агрегате обнаружится новое свойство: он генерирует возрастающие последовательности на выходах А и В, причем одна последовательность состоит из четных, другая из нечетных чисел.



ВИДЫ АГРЕГАТОВ

- **Кибернетик У. Эшби доказал, что у системы тем больше возможностей в выборе поведения, чем сильнее степень согласованности поведения ее элементов. Высшая степень проявления согласованности поведения элементов системы – самоорганизация системы, изучением которой занимается междисциплинарная область знаний – синергетика (от греч. Synergos – вместе действующий).**
- **Исходя из того, что установление связей между элементами, т.е. выбор модели структуры (агрегата) можно выполнить различными математическими методами выделяют следующие виды агрегатов: конфигуратор, классификатор, оператор, статистик и структура.**

- ***Конфигуратор*** – такой агрегат, который состоит из языков описания исследуемого объекта и обладает тем свойством, что число этих языков минимально, но необходимо для достижения заданной цели. Например в радиотехнике может быть конфигуратор, описывающий рабочие характеристики прибора – блок-схема, принципиальная схема, монтажная схема.
 - ***Конфигуратор, применяемый при математическом моделировании – содержательная, концептуальная и математическая постановка задачи.***
- ***Классификатор*** – агрегат, устанавливающий отношения эквивалентности между элементами системы, т.е. описывающий условия образования классов.

- ***Оператор*** – агрегат, который ставит в соответствие некоторому набору отдельных элементов один элемент (например, функция, соответствие). Для сложной системы это чаще всего невозможно сделать, тогда ***оператор*** задается с помощью алгоритма, реализующего некоторый набор правил, ***имитатором***.
- ***Статистик*** – агрегат, определяющий отношения на множестве случайных параметров системы, т.е. рассматривается ситуация когда все параметры системы, описывающие поведение элементов системы, являются случайными величинами.

- **Структура** – агрегат устанавливающий типы связей между отдельными элементами системы. Наиболее широко применяется при моделировании технических, информационных и организационных систем. Например, в организационных структурах описывает иерархию в процессе принятия решений и распределения власти и ответственности (ответственность за принятые решения).