

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**  
**Федеральное государственное образовательное бюджетное**  
**учреждение высшего профессионального образования**  
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**  
**им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

---

**А.Н.Губин**

**Современные методы проектирования  
информационных систем**

**Краткий конспект лекций**

**Раздел 3. Моделирование ИУС**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

**2017**

## **Содержание**

### **Раздел 1. Общая характеристика процессов проектирования ИС.**

- 1.1. Содержание курса, цели и задачи дисциплины. Информационные системы как объекты проектирования*
- 1.2. Методологические основы проектирования ИУС. Нормативная база проектирования ИУС.*
- 1.3. Стадии проектирования ИУС. Жизненный цикл ИУС. Состав и содержание проектной документации.*

### **Раздел 2. Основные технологии проектирования ИС.**

- 2.1. Структурный подход к проектированию ИУС.*
- 2.2. Проектирование на физическом, прикладном и сетевом уровнях.*
- 2.3. Особенности современных методов и средств проектирования ИУС, основанных на CASE-технологии.*

### **Раздел 3. Основные принципы бездефектного проектирования ИС.**

- 3.1. Структура информационно-логической модели ИУС.*
- 3.2. Функциональное моделирование ИУС.*
- 3.3. Имитационное моделирование ИУС.*
- 3.4. Анализ и оценка производительности ИУС.*

### **Раздел 4. Типизация проектных решений.**

- 4.1. Особенности технологии типового проектирования ИС.*
- 4.2. Основные методы типового проектирования ИС.*
- 4.3. RAD – технология проектирования.*

### **Раздел 5. Управление проектами ИС.**

- 5.1. Жизненный цикл ИС.*
- 5.2. Расширение и обновление ИС.*
- 5.3. Сопровождение, контроль эффективности и качества ИС.*
- 5.4. Мониторинг безопасности ИС.*
- 5.5. Перспективы и основные направления развития ИС и средств их проектирования.*

## **Раздел 3. Моделирование ИУС**

Основу моделирования составляют модели оборудования и процессов (технологий, программного обеспечения), используемых при работе интересующего объекта. При моделировании на компьютере воспроизводятся реальные процессы в обследуемом объекте, исследуются особые случаи, воспроизводятся реальные и гипотетические критические ситуации. Основным достоинством моделирования является возможность проведения разнообразных экспериментов с исследуемым объектом, не прибегая к физической реализации, что позволяет предсказать и предотвратить большое число неожиданных ситуаций в процессе эксплуатации, которые могли бы привести к неоправданным затратам, а может, и к порче оборудования.

В случае моделирования вычислительных систем таким объектом является информационная система, определяющая способы получения, хранения, обработки и использования различной корпоративной и внешней информации. В процессе моделирования возможно следующее:

- определение минимально необходимого, но обеспечивающего потребности передачи, обработки и хранения информации оборудования (даже не имеющего реальных аналогов) в настоящее время;
- оценка необходимого запаса производительности оборудования, обеспечивающего возможное увеличение производственных потребностей в ближайшее время (один-два года);
- выбор нескольких вариантов оборудования с учетом текущих потребностей, перспективы развития на основании критерия стоимости оборудования;
- проведение проверки работы вычислительной системы, составленной из рекомендованного оборудования.

### **3.1. Задачи моделирования ИС.**

Модель – это объект-«заменитель» объекта-«оригинала», который находится в определенном соответствии с оригиналом и обеспечивает представление о некоторых его свойствах. Модель системы представляет собой абстрактное описание на некотором формальном языке характеристик системы, важных с точки зрения цели моделирования, ее поведения. При создании системы нельзя ограничиваться созданием только одной модели. Если система

сложная, то учет всех ее характеристик в одной модели приведет к чрезвычайной ее сложности. Наилучший подход при разработке любой нетривиальной системы – использовать совокупность нескольких моделей, которые могут быть практически независимыми друг от друга и позволят сделать акценты на разных сторонах системы при решении различных задач поддержания ее жизненного цикла.

В общем случае модели можно разделить на следующие виды: статические, описывающие структурные свойства систем; динамические, представляющие поведенческие свойства систем; функциональные, описывающие функциональные свойства систем. Статическая модель описывает составные части системы, их структуру, атрибуты, взаимосвязи между ними и операции, которые они могут выполнять. Операции статической модели являются событиями динамической и функциями функциональной моделей. Динамическая модель описывает последовательность выполнения операций в процессе функционирования системы. Функциональная модель описывает преобразования, осуществляемые системой. Она раскрывает содержание операций статической модели и событий динамической.

По степени абстракции модели можно разделить на концептуальные модели, представляющие высокоуровневый взгляд на задачу в терминах предметной области; модели спецификации, определяющие «внешний вид» и внешнее поведение системы; модели реализации, которые отражают внутреннее устройство системы, конкретный способ реализации наблюдаемого поведения системы.

Моделированием называется замещение одного объекта, называемого системой, другим объектом, называемым моделью, и проведение экспериментов с моделью (или на модели), исследование свойств модели, опираясь на результаты экспериментов с целью получения информации о системе



Моделирование позволяет исследовать такие системы, прямой эксперимент с которыми:

- а) трудно выполним;
- б) экономически невыгоден;

в) вообще невозможен.

Суть компьютерного моделирования заключена в получении количественных и качественных результатов на имеющейся модели. Качественные результаты анализа обнаруживают неизвестные ранее свойства информационной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др. Количественные выводы в основном носят характер анализа существующей ИС или прогноза будущих значений некоторых переменных. Возможность получения не только качественных, но и количественных результатов составляет существенное отличие имитационного моделирования от структурно-функционального. Имитационное моделирование имеет целый ряд специфических черт.

Модель должна строиться целенаправленно. Целенаправленная модель представляет собой замену действительности с той степенью абстракции, которая необходима для поставленной цели. То есть, модель, прежде всего, должна отражать те существенные свойства и те стороны моделируемого объекта, которые определены задачей. При этом важно правильно обозначить и сформулировать проблему, четко определить цель исследования, проводимого с помощью моделирования.

Требования к моделям. Моделирование связано с решением реальных задач и необходимо быть уверенным, что результаты моделирования с достаточной степенью точности отражают истинное положение вещей, т.е. модель адекватна реальной действительности.

Хорошая модель должна удовлетворять некоторым общепринятым требованиям. Такая модель должна быть:

- адекватной;
- надежной;
- простой и понятной пользователю;
- целенаправленной;
- удобной в управлении и обращении;
- функционально полной с точки зрения возможностей решения главных задач;
- адаптивной, позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные;
- допускающей изменения (в процессе эксплуатации она может усложняться).

В зависимости от целевой направленности модели, для нее задаются специальные требования. Наиболее характерными являются: целостность, отражение информационных свойств, многоуровневость, множественность (многомодельность), расширяемость, универсальность, осуществимость (реальная возможность построения самой модели и ее исследования), реализуемость (например, на ЭВМ, возможность материализации модели в виде реальной системы в задачах проектирования), эффективность (затраты временных, трудовых, материальных и других видов ресурсов на построение

моделей и проведение экспериментов находятся в допустимых пределах или оправданы). Значимость или приоритетность требований к модели непосредственно вытекают из назначения модели. Например, в исследовательских задачах, задачах управления, планирования и описания важным требованием является адекватность модели объективной реальности. В задачах проектирования и синтеза уникальных систем важным требованием является реализуемость модели, например в САПР или систему поддержки принятия решений (СППР).

Цель моделирования и задание требований к модели определяют форму представления модели.

Любая модель (прежде чем стать объективно существующим предметом) должна существовать в мысленной форме, быть конструктивно разработанной, переведена в знаковую форму и материализована.

Моделирование - важнейшая сфера применения средств вычислительной техники, когда положения теории моделирования используются в различных областях науки, производства и техники. В то же время сами средства вычислительной техники являются объектами моделирования на этапе проектирования новых и модернизации старых вычислительных систем, при анализе возможности использования вычислительных систем в различных приложениях.

При системном подходе к моделированию систем необходимо, прежде всего, четко определить цель моделирования. Поскольку невозможно полностью смоделировать реально функционирующую систему (систему-оригинал или первую систему), создается модель (система-модель или вторая система) под поставленную проблему. Таким образом, применительно к вопросам моделирования цель возникает из требуемых задач моделирования, что позволяет подойти к выбору критерия и оценить, какие элементы войдут в создаваемую модель. Поэтому необходимо иметь критерий отбора отдельных элементов в создаваемую модель.

### *3.2. Структура информационно-логической модели ИУС*

При проектировании информационных систем с входящими в их состав базами данных удобно пользоваться классификацией моделей изображённой на рис. 1. Все модели данных делятся на три вида, используемые на трёх этапах проектирования. На первом этапе исследуется предметная область, выявляются в ней объекты и процессы, которые нужно будет отобразить в информационной системе при решении задач, для которых разрабатывается информационная система. Модель, используемая на этом этапе, служит для наглядного представления семантических связей в предметной области. Строгая формализация структуры данных на этом

этапе не обязательна. Такие модели называются инфологическими. В настоящее время наиболее распространённой инфологической моделью является модель сущность-связь.

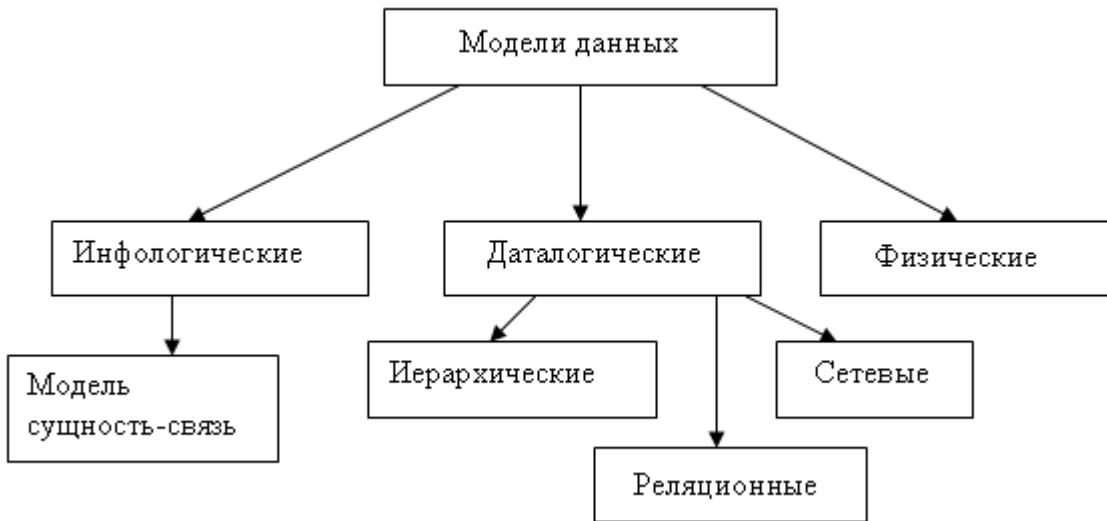


Рис.3.1. Модели данных

После того как закончено исследование предметной области и детально поставлена задача проектирования можно переходить ко второму этапу, на котором проектируется база данных. На этом этапе используются формальные модели данных, в которые нужно преобразовать инфологическую модель. Такие модели, непосредственно используемые в базах данных, называются даталогическими. На рис.3.1 показаны три вида даталогических моделей: иерархические, сетевые и реляционные.

*Иерархическая модель* имеет древовидную структуру. Каждая ветвь в такой структуре имеет одну родительскую ветвь и много дочерних. Примерами иерархических систем служат завод, система каталогов с файлами в ЭВМ. Завод состоит из цехов, цеха из участков, участки из станков с рабочими.

В иерархической системе элементы одного уровня не связаны непосредственно между собой. В ней нельзя непосредственно указать, что участок механического цеха снабжает деталями участок сборочного цеха. Нужна горизонтальная связь между элементами одного уровня иерархии. Поэтому для завода лучше подходит *сетевая модель*, в которой можно указать непосредственную связь любого элемента с любым.

Наибольшее распространение получили реляционные модели баз данных, о которых подробно будет рассказано в следующей лекции.

Базу данных независимо от её даталогической модели можно по-разному разместить на разных внешних носителях. Например, можно использовать

жесткий диск или твёрдотельную внешнюю память. Для описания физического размещения базы данных служит *физическая модель*.

## Инфологическое моделирование

Информационная система (ИС) создаётся для решения задач некоторой организации (завода, банка, вуза, библиотеки и т.д.). Для создания и эксплуатации ИС требуется её описание. Полное, исчерпывающее, описание ИС должно включать в себя не только саму ИС, но и окружающую среду, то есть, должно быть описанием *предметной области*.

Подробное описание предметной области можно дать в общем случае только в свободной форме. Для графического описания абстрактной модели проектируемой системы используется UML (Unified Modeling Language - унифицированный язык моделирования). Мы не будем изучать этот язык из-за его чрезмерной абстрактности и сложности.

Существенной, если не главной частью ИС являются хранящиеся в ней данные. При проектировании ИС данные нужно представить в виде простой модели, отображающей смысл данных, их взаимосвязь и не привязываться при этом к конкретному типу базы данных. Такие модели получили название *инфологических*.

Инфологическую модель можно построить, опираясь только на интуитивное представление о данных.

На рис. 3.2 приведён простой (вырожденный) пример инфологической модели.

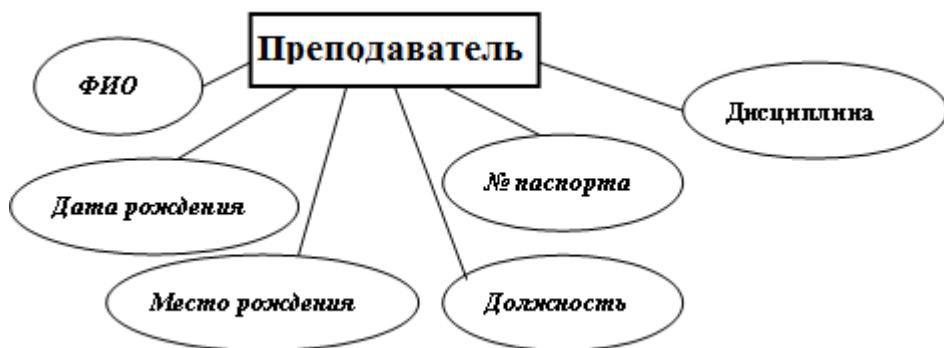


Рис. 3.2. Инфологическая модель преподавателя

Обратите внимание - преподаватель может вести несколько дисциплин и занимать несколько должностей.

Если нужно более подробно описать дисциплины и иметь возможность, зная дисциплину, найти ведущего её преподавателя, то модель необходимо усложнить, выделив дисциплину отдельно и связав её с преподавателем (рис. 3.3)

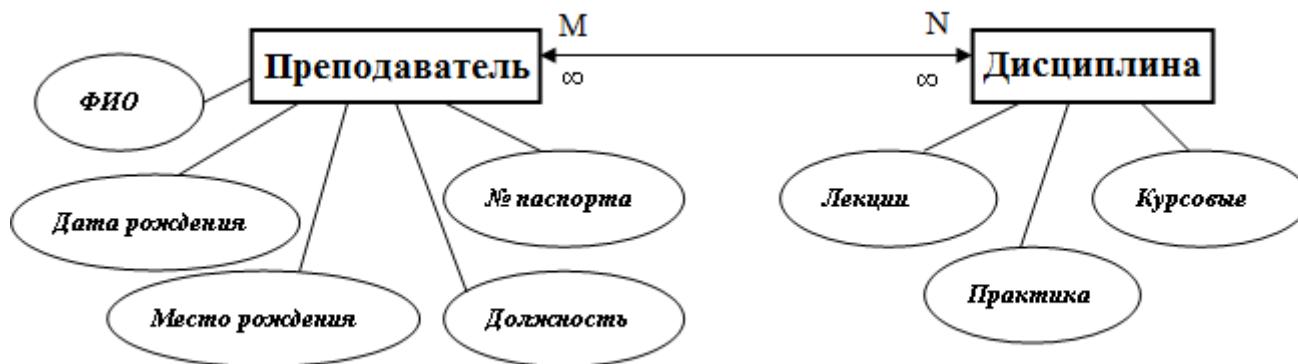


Рис. 3.3. Инфологическая модель преподаватель-дисциплина

Один преподаватель может вести много дисциплин и одну дисциплину могут вести много преподавателей. Такая связь называется *многие ко многим* и обозначается как  $M:N$ , а на рисунках часто как  $\infty \longleftrightarrow \infty$ .

На рис. 3.4 изображена упрощённая инфологическая модель для построения расписания занятий. В реальной задаче нужно учесть много дополнительных факторов. Есть разные виды занятий: лекции, практические, лабораторные и т.д. Лекции проводятся с потоком, а лабораторные - с подгруппами. Расписание зависит от номера недели (чётная, нечётная). На рисунке сразу 6 элементов связаны друг с другом. Такая связь называется *связью степени K*. На рисунке  $K=6$ . Факультет с кафедрой, кафедра с группой и группа со студентом имеют связи *один ко многим*.

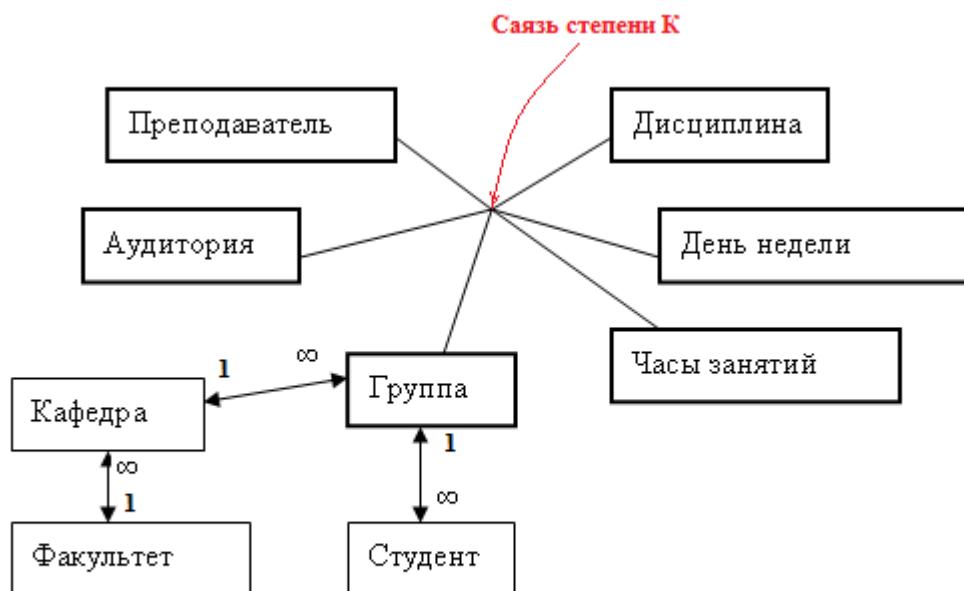


Рис. 3.4. Инфологическая модель для построения расписания занятий

На рис. 3.5 изображена инфологическая модель библиотеки

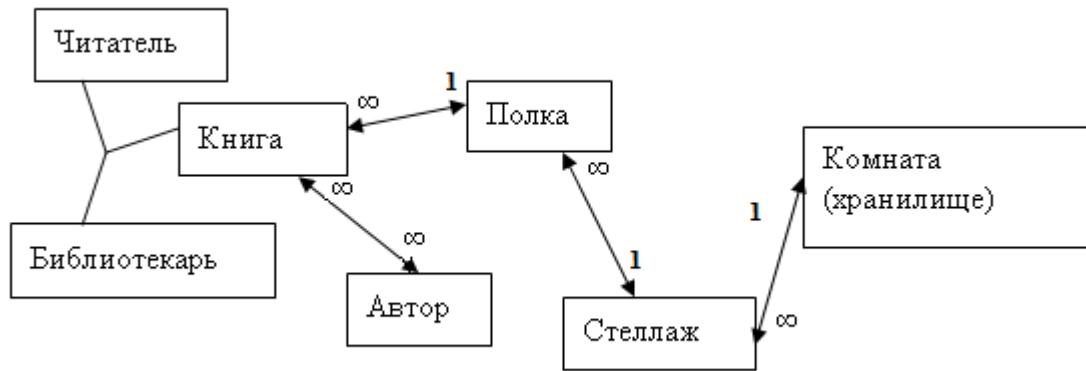


Рис. 3.5. Инфологическая модель библиотеки

Как назвать то, что изображено на модели в виде прямоугольников? Категориями? Но *категория* - очень общее философское понятие. Категории: материя, время, энергия.

В 1976 году Чен предложил термин *сущность*, а состоящая из связанных между собой сущностей модель получила название *модель сущность-связь* (*entity-relation*).

### Определение

Сущность - это то, что может быть чётко идентифицировано, за чем хотелось бы или необходимо наблюдать в рамках поставленной задачи. Буквально, сущность - это то что существует.

Сущность состоит из множества экземпляров, обладающих одинаковым набором свойств.

Совокупность свойств, необходимая для отличия одного экземпляра от других, называется идентификатором сущности.

Рассмотрим подробно, какими бывают сами сущности, их свойства и связи. В литературе часто вместо термина *свойство сущности* используют *атрибут сущности*. Но термин *атрибутотношения* (колонка, столбец таблицы) применяют в реляционной модели. При одновременном применении обеих моделей может возникнуть путаница.

### Виды сущностей

- бывают *сильными* и *слабыми*,
- делятся на *тип* и *подтип*.

Слабая сущность в контексте решаемой задачи не может существовать без сильной. Например, в вузе студент обязательно входит в группу, т.е.

сущность *студент* не может существовать без сущности *группа*. Сущность *деталь* не может существовать без сущности *изделие*, а сущность *сотрудник* - без сущности *отдел*.

Если часть экземпляров сущности обладает дополнительными по отношению к другим экземплярам свойствами, то эту часть выделяют в *подтип*. На рис. 3.6 сущность *студент* является подтипов типа *житель города*, а сущность *программист* - подтипов типа *сотрудник*. Между типом и подтипов связь 1:1, но эта связь неполная, так как не каждому экземпляру типа соответствует экземпляр подтипа.

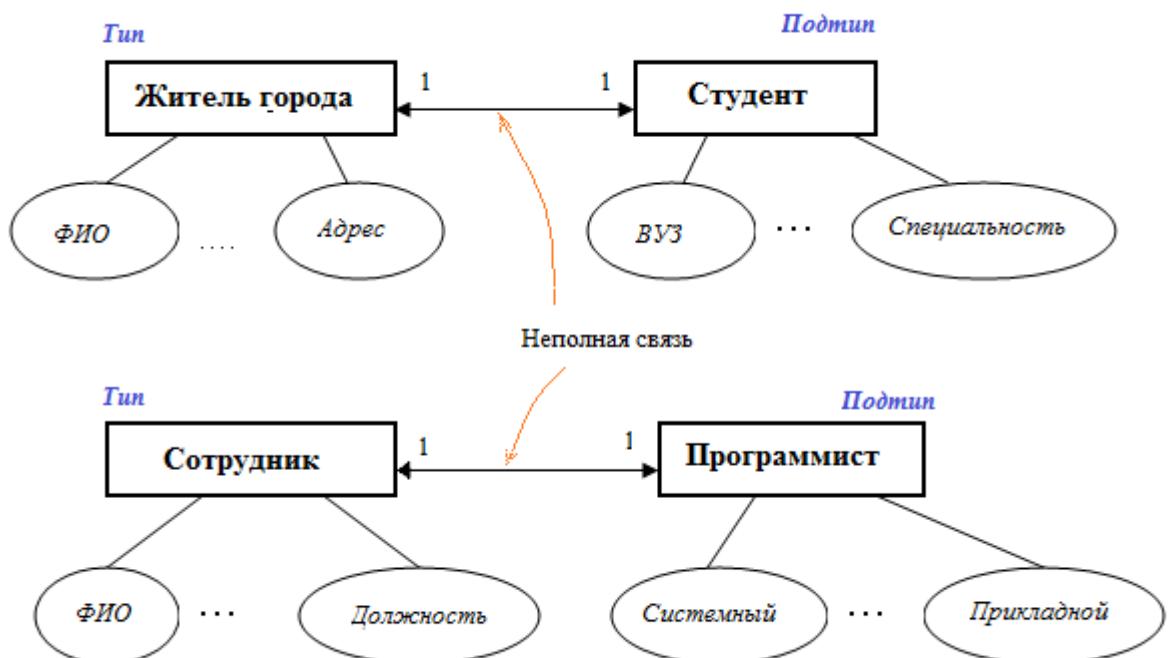


Рис. 3.6. Тип и подтип

## Связи между сущностями

1. Степени К
2. Полные и неполные
3. Типа M:N (Бинарные связи, K=2)
  - 1:1
  - 1:N (на схемах часто используют обозначение  $1 \leftrightarrow \infty$ )
  - M:N, M>1, N>1 ( $\infty \leftrightarrow \infty$ )
4. Рекурсивные (между экземплярами одной сущности)
  - между равноправными экземплярами
  - между неравноправными
  - в одной сущности тип и подтип

*Степень К* - количество связанных между собой сущностей. Пример связи степени К=6 показан на рис. 3.3. Для построения расписания необходимо, чтобы были связаны ровно по одному экземпляру каждой сущности. Семантические связи между несколькими сущностями могут быть очень сложными даже, на первый взгляд, в простых случаях. У одной пары родителей (рис.3.7) может быть несколько детей. Сводные братья и сёстры могут иметь одну мать и разных отцов, или одного отца и разных матерей. Родители могут быть юридическими (приёмными) и фактическими (кровными), т.е. у одного ребёнка может быть две матери!

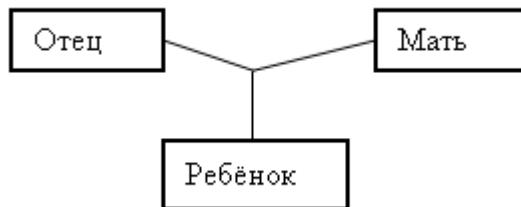


Рис. 3.7. Связь между детьми и родителями

*Полной связью* между двумя сущностями называется такая связь, при которой каждому экземпляру одной сущности соответствует хотя бы один экземпляр другой сущности. Например, каждому студенту соответствует группа (одна) и каждой группе соответствуют студенты.

При *частичной связи* некоторые экземпляры одной сущности не связаны ни с одним экземпляром другой сущности. Например, не все студенты живут в общежитии.

*Связь типа 1:1* между сущностями встречается нечасто. Теоретически всегда такие сущности можно объединить в одну. Связь 1:1 создают для лучшего понимания модели. Например, директора и завод лучше рассматривать как разные сущности. Связь 1:1 коварна кажущейся очевидностью. Например, у государства один глава: император, президент, царь и т.д., но в древнем Риме правили два консула.

*Связь типа 1:N, N>1(или 1 ↔ ∞)* - самая простая и удобная для построения реляционной базы данных. На рис.3.8 приведён пример модели *сущность-связь* из четырёх сущностей со связями 1:N.

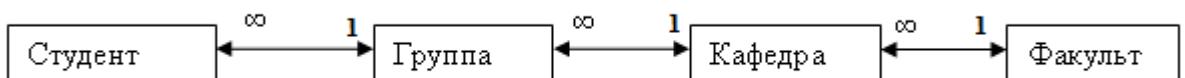


Рис. 3.8. Связи M:N

*Связь типа M:N, M>1, N>1(или ∞ ↔ ∞)* требует при переходе к реляционной модели строить дополнительное отношение (таблицу связей). Примеры связей типа M:N приведены на рисунках 3, 4, 5.

*Рекурсивные связи между равноправными экземплярами сущности.* На рис. 3.9 экземпляры сущности *студенты*, живущие в общежитии, объединены по признаку (свойству) *номер комнаты*, в которой они живут.

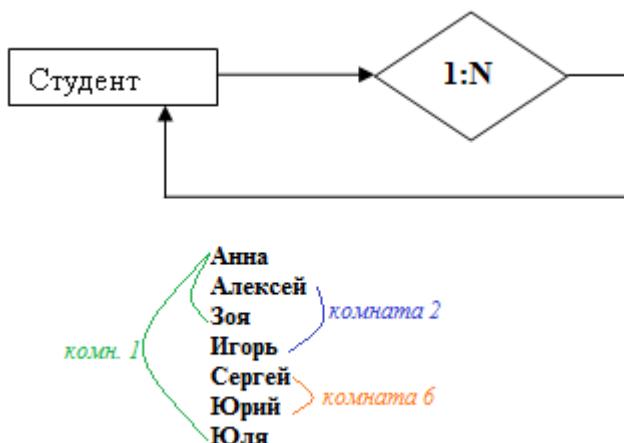


Рис. 3.9. Рекурсивные связи между студентами, живущими в одной комнате

*Рекурсивные связи между неравноправными экземплярами сущности.*  
Так связаны между собой сотрудники и начальник отдела как экземпляры  
*сущности Сотрудники института.*

*В одной сущности тип и подтип.* Несколько экземпляров сущности, связанные одинаковым значением одного свойства, можно выделить в подтип, т.е. в новую сущность, являющуюся подтипов исходной. На рис. 5 в подтип выделены сотрудники, имеющие должность *программист*.

Примеры рекурсивных связей показывают, что между сущностями, связями и свойствами существуют очень сложные зависимости.

## *Свойства сущностей:*

- a. простые и составные (композитные),
  - b. однозначные и многозначные,
  - c.  $a$  и  $b$  вместе,
  - d. ключевые.

## Примеры

Простое свойство: фамилия.

Составное свойство: адрес (страна, область, город, улица, . . .)

Многозначные: награды, специальности.

*a* и *b* вместе: адрес - композитное и однозначное.

Ключевое значение : номер зачётной книжки.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МОДЕЛИ СУЩНОСТЬ-СВЯЗЬ В РЕЛЯЦИОННУЮ МОДЕЛЬ

Реляционная модель данных строится на основе модели сущность-связь. Каждой сущности из модели сущность-связь в реляционной модели ставится в соответствие отношение (таблица), каждому свойству сущности - атрибут отношения. В отношение, как правило, добавляется атрибут-счётчик, который служит формальным первичным ключом (идентификатором кортежа). В базе данных кортеж - это строка или запись.

### **Связь один ко многим**

Для задания связи *один ко многим* в отношении со стороны *многие* создаётся дополнительный атрибут *внешний ключ* (рис. 3.10). Внешний ключ принимает значения только из множества значений первичного ключа отношения со стороны *один*.

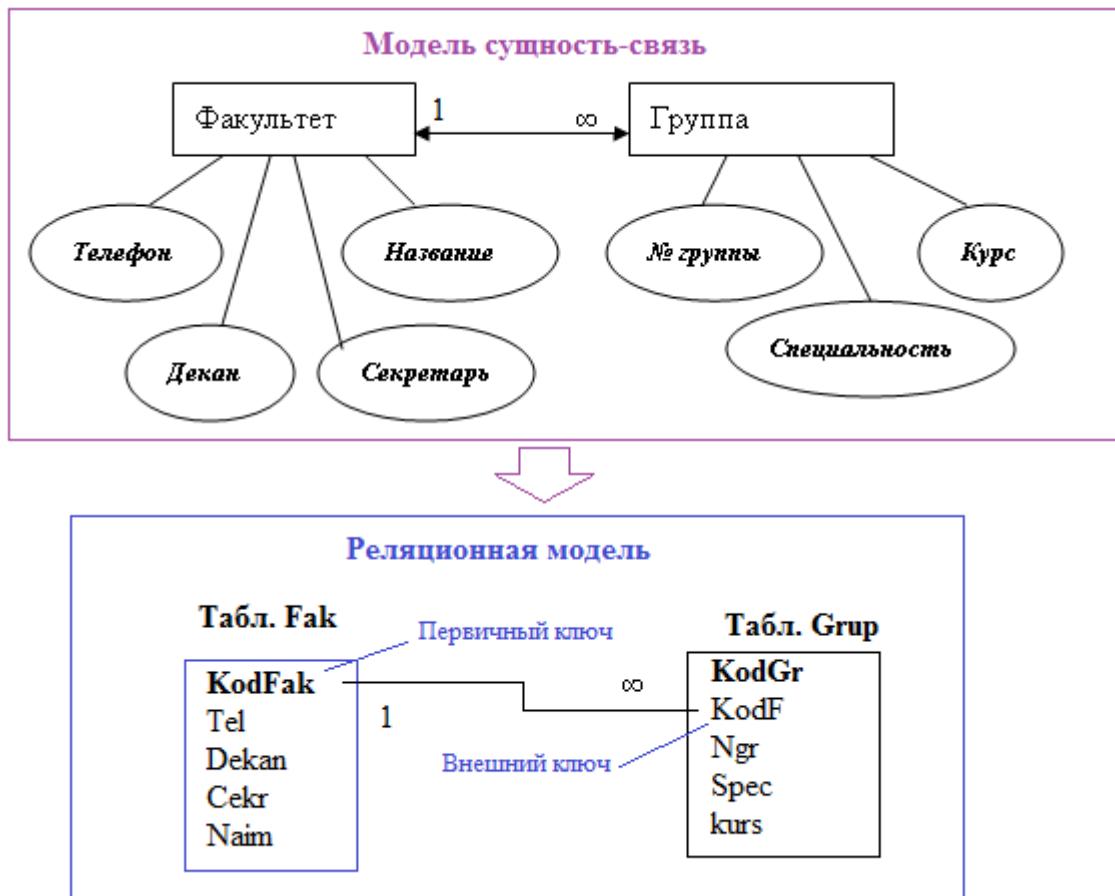


Рис. 3.10.Преобразование модели сущность-связь со связью 1:N в реляционную модель

### **Связь многие ко многим**

Для задания связи *многие ко многим* необходимо создать дополнительную таблицу связей (рис. 3.11), атрибутами которой служат

внешние ключи, соответствующие первичным ключам связываемых таблиц.

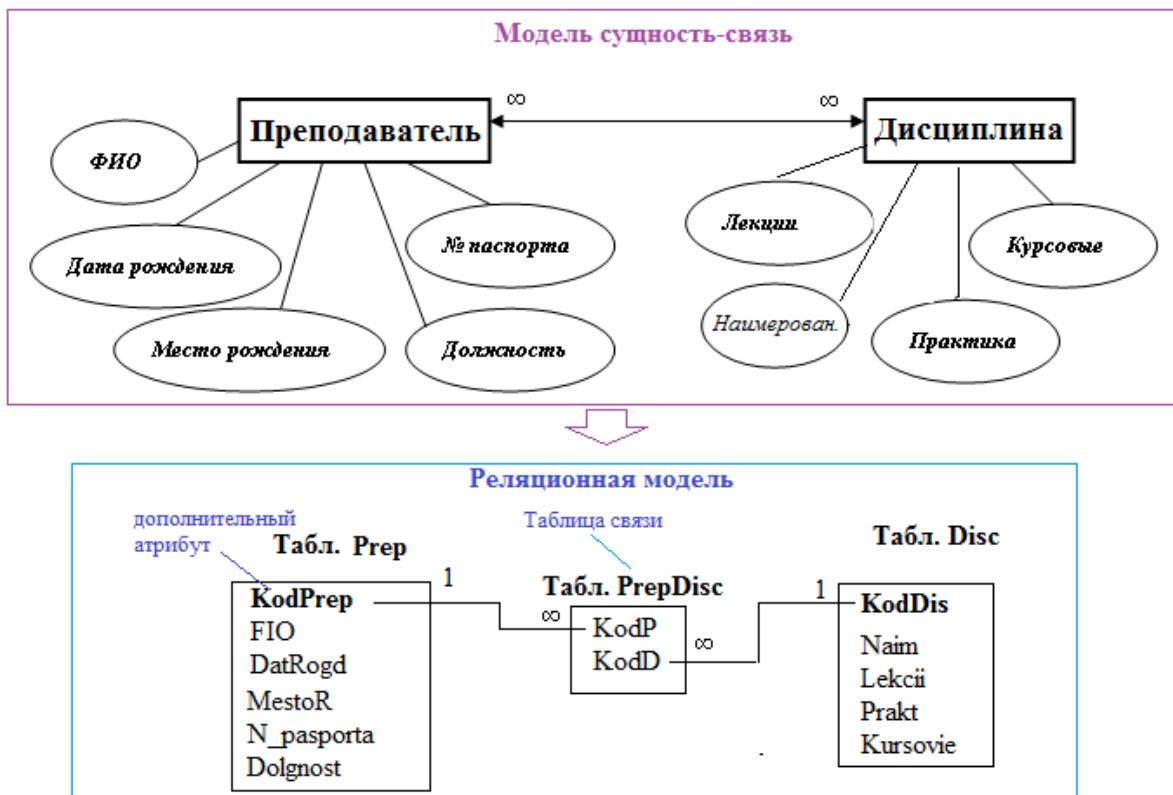


Рис. 3.11. Преобразование модели сущность-связь со связью M:N в реляционную модель

На рис. 3.12 показаны заполненные таблицы *Prep*, *Disc* и *PrepDisc*. Для того, чтобы указать, что преподаватель Андреев ведёт дисциплину Фортран, в таблице *PrepDisc* создана строка со значениями *KodP=1* и *kodD=3*.

Табл. Prep			Табл. PrepDisc		Табл. Disc		
KodPrep	FIO	....	KodP	KodD	KodDis	Naim	.....
1	Андреев Б. С	....	1	20	1	Язык С	.....
2	Борисова М. П.	....	1	3	2	Базы данных	.....
.....	.....	.....	2	1	3	Фортран	.....
.....	.....	.....	2	3	.....	.....	.....
18	Яковлев Ю. М.	....	2	20	20	Java	.....

Рис.3. 12. Пример заполнения таблицы связей в реляционной модели.

## Связь степени K

Для связи степени K в реляционной модели строится таблица связи с K внешними ключами. На рис. 3.13 построены модель сущность-связь и реляционная модель для связи степени K=5.

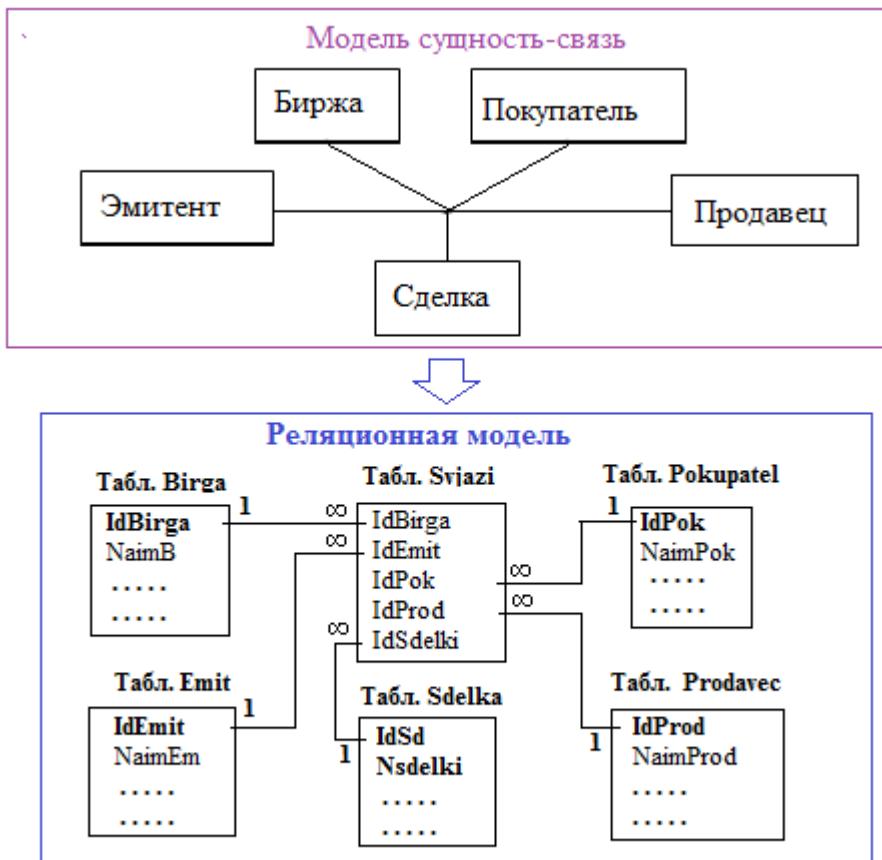
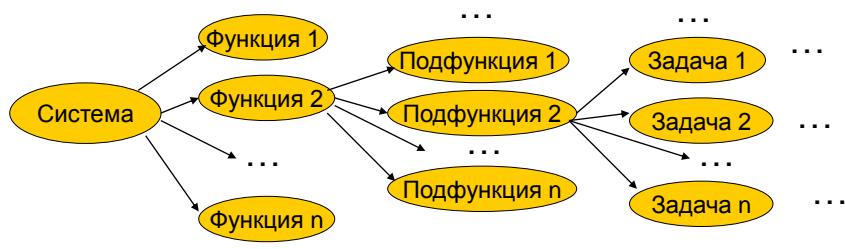


Рис. 3.13. Преобразование модели сущность-связь со связью  
степени K в реляционную модель

### 3.3. Функциональное моделирование ИУС.

## Сущность функционального подхода к моделированию систем

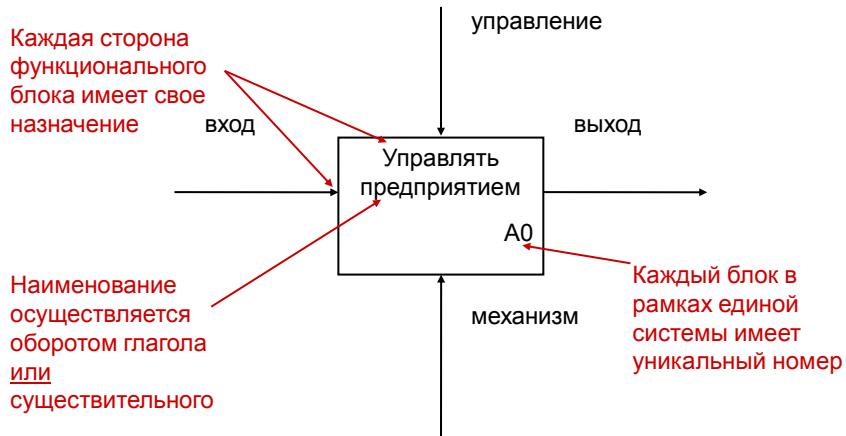
Система разбивается на функциональные подсистемы, которые, в свою очередь, делятся на подфункции, подфункции – на задачи и т.д. до конкретных процедур



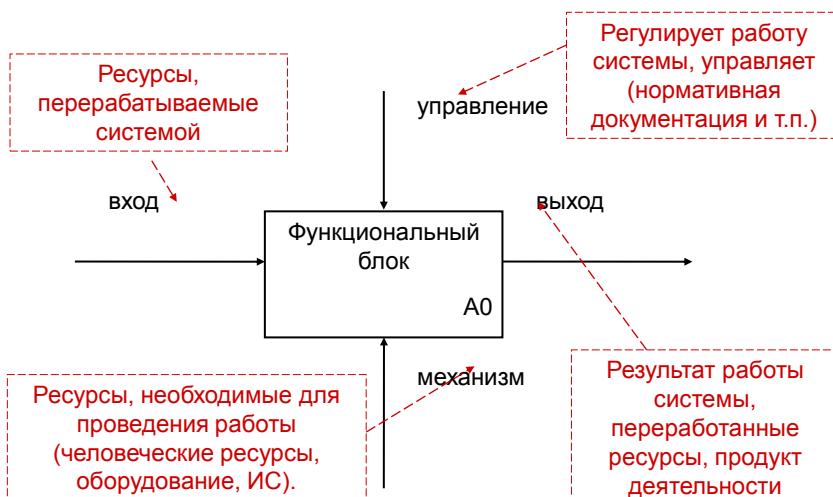
Для любой системы определяющим является ее функциональное содержание, так как оно определяет ее основные свойства. Поэтому в основе функционального моделирования лежит **функциональное содержание системы**, в качестве отношений между функциями рассматривается **информация об объектах**, связывающих эти функции [1].

## Функциональный блок

- Олицетворяет некоторую конкретную функцию или работу в рамках рассматриваемой системы
- **РД IDEF0 – 2000:** прямоугольник, содержащий имя и номер и используемый для описания функции

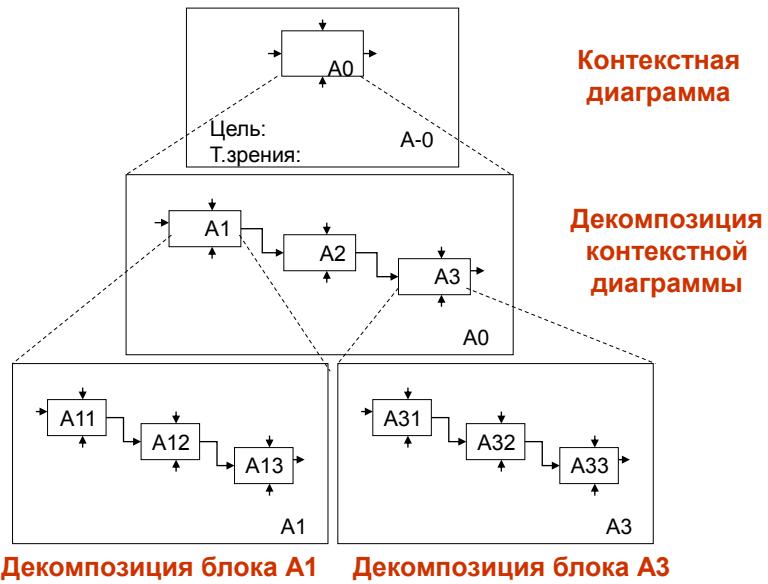


## Интерфейсная дуга



Стрелки входа может не быть. Остальные интерфейсные дуги обязательны.

# Декомпозиция



## 3.4. Имитационное моделирование ИС.

По Р. Шеннону (Robert E. Shannon — профессор университета в Хантсвилле, штат Алабама, США) "имитационное моделирование – есть процесс конструирования на ЭВМ модели сложной реальной системы, функционирующей во времени, и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы".

Выделим в этом определении ряд важнейших обстоятельств, учитывая особенности применения метода для исследования информационных систем (ИС).

Во-первых, имитационное моделирование предполагает два этапа: конструирование модели на ЭВМ и проведение экспериментов с этой моделью. Каждый из этих этапов предусматривает использование собственных методов. Так, на первом этапе весьма важно грамотно провести информационное обследование, разработку всех видов документации и их реализацию. Второй этап должен предполагать использование методов планирования эксперимента с учетом особенностей машинной имитации.

Во-вторых, в полном соответствии с системными принципами четко выделены две возможные цели имитационных экспериментов:

- либо понять поведение исследуемой системы (о которой по каким-либо причинам было "мало" информации) — потребность в этом часто

возникает, например, при создании принципиально новых образцов продукции;

- либо оценить возможные стратегии управления системой, что также очень характерно для решения широкого круга экономико-прикладных задач.

В-третьих, с помощью имитационного моделирования исследуют сложные системы. Понятие "сложность" является субъективным и по сути выражает отношение исследователя к объекту моделирования. Укажем пять признаков "сложности" системы, по которым можно судить о ее принадлежности к такому классу систем:

- наличие большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов;
- сложность функции (функций), выполняемой системой;
- возможность разбиения системы на подсистемы (декомпозиции);
- наличие управления (часто имеющего иерархическую структуру), разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации;
- наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных (неопределенных) факторов.

Очевидно, что некоторые приведенные признаки сами предполагают субъективные суждения. Вместе с тем становится понятным, почему значительное число ИС относят к сложным системам и, следовательно, применяют метод имитационного моделирования.

В-четвертых, методом имитационного моделирования исследуют системы, функционирующие во времени, что определяет необходимость создания и использования специальных методов (механизмов) управления системным временем.

Наконец, в-пятых, в определении прямо указывается на необходимость использования ЭВМ для реализации имитационных моделей, т.е. проведения машинного эксперимента (машинной имитации), причем в подавляющем большинстве случаев применяются цифровые машины.

Даже столь краткий анализ позволяет сформулировать вывод о целесообразности (а, следовательно, и необходимости) использования метода имитационного моделирования для исследования сложных человекомашинных (эргатических) информационных систем. Особо выделим наиболее характерные обстоятельства применения имитационных моделей:

- если идет процесс познания объекта моделирования;
- если аналитические методы исследования имеются, но составляющие их математические процедуры очень сложны и трудоемки;
- если необходимо осуществить наблюдение за поведением компонент системы в течение определенного времени;
- если необходимо контролировать протекание процессов в системе путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации;

- если особое значение имеет последовательность событий в проектируемых системах и модель используется для предсказания так называемых "узких" мест;
- при подготовке специалистов для приобретения необходимых навыков в эксплуатации новой техники;
- и, конечно, если имитационное моделирование оказывается единственным способом исследований из-за невозможности проведения реальных экспериментов.

До настоящего момента особое внимание в толковании термина "имитационное моделирование системы" было уделено первому слову. Однако не следует упускать из вида, что создание любой (в том числе и имитационной) модели предполагает, что она будет отражать лишь наиболее существенные с точки зрения конкретной решаемой задачи свойства объекта-оригинала.

Английский аналог этого термина — *systems simulation* — при дословном переводе непосредственно указывает на необходимость воспроизведения (симуляции) лишь основных черт реального явления (сравним с термином "симуляция симптомов болезни" из медицинской практики). Важно отметить еще один аспект: создание любой (в том числе и имитационной модели) есть процесс творческий (не случайно Р. Шенонн назвал свою книгу "Имитационное моделирование систем — искусство и наука"), и, вообще, каждый автор имеет право на собственную версию модели реальной системы. Однако за достаточно длительное время применения метода накоплены определенный опыт и признанные разумными рекомендации, которыми целесообразно руководствоваться при организации имитационных экспериментов.

Укажем ряд основных достоинств и недостатков метода имитационного моделирования. Основные достоинства:

- имитационная модель позволяет, в принципе, описать моделируемый процесс с большей адекватностью, чем другие;
- имитационная модель обладает гибкостью варьирования структуры, алгоритмов и параметров системы;
- применение ЭВМ существенно сокращает продолжительность испытаний по сравнению с натурным экспериментом (если он возможен), а также их стоимость.

Основные недостатки:

- решение, полученное на имитационной модели, всегда носит частный характер, так как оно соответствует фиксированным элементам структуры, алгоритмам поведения и значениям параметров системы;
- большие трудозатраты на создание модели и проведение экспериментов, а также обработку их результатов;

- если использование системы предполагает участие людей при проведении машинного эксперимента, на результаты может оказаться влияние так называемый хаупорнкий эффект (заключающийся в том, что люди, зная (чувствуя), что за ними наблюдают, могут изменить свое обычное поведение).

Итак, само использование термина "имитационное моделирование" предполагает работу с такими математическими моделями, с помощью которых результат исследуемой операции нельзя заранее вычислить или предсказать, поэтому необходим эксперимент (имитация) на модели при заданных исходных данных. В свою очередь, сущность машинной имитации заключается в реализации численного метода проведения на ЭВМ экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложной системы в течение заданного или формируемого периода времени.

Каждая имитационная модель представляет собой комбинацию шести основных составляющих:

- компонентов;
- переменных;
- параметров;
- функциональных зависимостей;
- ограничений;
- целевых функций.

Под компонентами понимают составные части, которые при соответствующем объединении образуют систему. Компоненты называют также элементами системы или ее подсистемами. Например, в модели рынка ценных бумаг компонентами могут выступать отделы коммерческого банка (кредитный, операционный и т.д.), ценные бумаги и их виды, доходы, котировка и т.п.

Параметры — это величины, которые исследователь (пользователь модели) может выбирать произвольно, т.е. управлять ими.

В отличие от них переменные могут принимать только значения, определяемые видом данной функции.

Функциональные зависимости описывают поведение параметров и переменных в пределах компонента или же выражают соотношения между компонентами системы. Эти соотношения могут быть либо детерминированными, либо стохастическими.

Ограничения — устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия их изменения. Они могут вводиться разработчиком (и тогда их называют искусственными) или определяться самой системой вследствие присущих ей свойств (так называемые естественные ограничения).

Целевая функция предназначена для измерения степени достижения системой желаемой (требуемой) цели и вынесения оценочного суждения по результатам моделирования. Этую функцию также называют функцией

критерия. По сути, весь машинный эксперимент с имитационной моделью заключается в поиске таких стратегий управления системой, которые удовлетворяли бы одной из трех концепций ее рационального поведения: оптимизации, пригодности или адаптивизации. Если показатель эффективности системы является скалярным, проблем с формированием критерия не возникает и, как правило, решается оптимизационная задача — поиска стратегии, соответствующей максимуму или минимуму показателя. Сложнее дело обстоит, если приходится использовать векторный показатель. В этом случае для вынесения оценочного суждения используются методы принятия решений по векторному показателю в условиях определенности (когда в модели учитываются только детерминированные факторы) или неопределенности (в противном случае).

При реализации имитационной модели, как правило, рассматриваются не все реально осуществляемые функциональные действия (ФД) системы, а только те из них, которые являются наиболее существенными для исследуемой операции. Кроме того, реальные ФД аппроксимируются упрощенными действиями ФД' причем степень этих упрощений определяется уровнем детализации учитываемых в модели факторов. Названные обстоятельства порождают ошибки имитации процесса функционирования реальной системы, что, в свою очередь, обуславливает адекватность модели объекту-оригиналу и достоверность получаемых в ходе моделирования результатов.

### *3.5. Анализ и оценка производительности ИС.*

Целями моделирования информационных систем чаще всего являются оценка их производительности и надежности.

Производительность и надежность информационных систем связаны с временными аспектами функционирования и зависят в первую очередь от параметров аппаратно-программных средств, которые обычно называются вычислительной системой.

При оценке производительности первостепенное значение имеет интенсивность реализации информационных процессов.

При оценке надежности исследуется продолжительность пребывания системы в различных состояниях, которые меняются из-за отказов в устройствах и программах и последующего восстановления работоспособности.

Для вычислительных систем типично наличие случайных факторов, влияющих на характер протекания процессов. Продолжительность процессорной обработки, число, порядок и параметры обращений к

периферийным устройствам зависят от исходных данных, которые порождаются вне системы и носят для нее случайный характер. Случайными являются потоки отказов и времена восстановления отказавших элементов. В связи с этим при оценке функционирования вычислительных систем используется вероятностный подход. Этот подход предполагает, что на процессы воздействуют случайные факторы и свойства процессов и системы в целом проявляется статистически на множестве их реализаций.

Процессы, происходящие в вычислительных системах, представляются в моделях как непрерывные или дискретные случайные процессы. При исследовании вычислительных систем чаще всего приходится иметь дело с

дискретными случайными процессами, определенными на конечном множестве состояний, причем процессы рассматриваются или в непрерывном, или в дискретном времени.

Вероятностный подход к описанию функционирования вычислительных систем приводит к использованию аппарата теории вероятностей и математической статистики в качестве математической базы методов исследования.

Случайные величины, соответствующие параметрам элементов моделей, могут представляться на разных уровнях, среди которых наиболее широко используются четыре:

- 1) статистическая выборка  $a_1 \dots a_n$ , определяющая случайную величину набором значений;
- 2) закон распределения случайной величины с его параметрами;
- 3) математическое ожидание и дисперсия;
- 4) математическое ожидание.

Построим аналитическую модель для информационной системы на базе локальной сети типа "файл-сервер". В основу положим тождествение функционирования системы с простым непрерывным марковским процессом.

Процесс взаимодействия пользователей и системы складывается из отдельных повторяющихся этапов, каждый из которых делится на системную и пультовую фазы.

Запрос пользователя находится в системной фазе, если в системе имеется вся необходимая информация для обработки запрошенной программы. В этой фазе производится обработка запрошенной программы, при этом время сервера делится квантами между всеми пользовательскими программами, находящимися в системной фазе.

Если для дальнейшего выполнения программы необходим ввод с пульта новой входной информации, взаимодействие переходит в пультовую фазу. В пультовой фазе пользователь наблюдает за выводом информации на его терминал, обдумывает свою реакцию на выведенную информацию и вводит с пульта новую входную информацию, что следует рассматривать как ввод в систему нового запроса на обслуживание.

Таким образом, процесс взаимодействия пользователя и системы может находиться в одном из двух состояний: либо система имеет программу, которую она должна выполнять для пользователя, а пользователь ждет ответа системы на свой запрос (системная фаза), либо система фактически не имеет программы, которую могла бы дальше выполнять для данного пользователя, и ждет сообщения от пользователя (пультовая фаза). Примем, что случайные величины: время работы пользователя за пультом (т.е. продолжительность пультовой фазы)  $t_p$  и продолжительность чистого времени обработки запроса (без учета времени пребывания в очереди к процессору)  $t_{ob}$  распределены по экспоненциальному закону со средними значениями соответственно  $\tau_{n.cp}$ ,  $\tau_{ob.cp}$  и  $\tau_p$ . Функции плотностей для случайных величин  $t_p$  и  $t_{ob}$  имеют вид :

$$f_n(t) = \frac{1}{\tau_{n.cp}} e^{-t/\tau_{n.cp}} \quad (t \geq 0)$$

$$f_{ob}(t) = \frac{1}{\tau_{ob.cp}} e^{-t/\tau_{ob.cp}} \quad (t \geq 0)$$

В системах без совмещения вычислений с обменом информацией с внешним ЗУ время обмена должно включаться в  $t_{ob}$ . Предполагаем, что переключение программ происходит мгновенно и издержки, т.е. потери времени отсутствуют. Модель строится с целью определения основных характеристик системы : среднего числа пользователей, ожидающих ответа, и средней продолжительности ожидания ответа на запрос пользователя. Примем, что состояние системы определяется числом запросов  $j$ , находящихся в данный момент в системной фазе. Тогда система с  $n$  пользователями имеет  $(n+1)$  состояния ( $0 \leq f \leq n$ ). Считаем, что вероятность перехода из состояния  $j$  в  $i$  зависит только от самих состояний  $j$  и  $i$  и не зависит от истории, приведшей систему в состояние  $j$ . Сами переходы совершаются только через случайные промежутки времени. При принятых допущениях, в том числе относительно законов распределения для  $t_p$  и  $t_{ob}$ , функционирование системы может быть представлено простым непрерывным (по времени) марковским процессом. Пусть в данный момент времени  $j$  запросов находятся в системной фазе, т.е. ожидают обслуживания, а соответственно  $(n - j)$  запросов находятся в пультовой фазе. Тогда число запросов, переходящих в системную fazu в единицу времени, или, иначе говоря, интенсивность

(скорость) перехода из состояния с  $j$  запросами в состояние с  $j+1$  запросами в системной фазе (ожидающими обслуживания) будет :

$$a_{j(j+1)} = \frac{n-j}{\tau_{n, cp}} \quad (0 \leq j \leq n-1)$$

Вместе с тем происходят переходы запросов из системной в пультовую фазу. Если бы каждому из  $j$  запросов, находящихся в системной фазе, было выделено все время работы сервера, то интенсивность перехода запросов из системной в пультовую фазу составила бы  $j/ t_{об, cp}$ . Однако на самом деле время сервера делится поровну (квантами) между всеми  $j$  пользователями и поэтому интенсивность перехода системы из состояния с  $j$  пользователями в состояние с  $j-1$  пользователями :

$$a_{j(j+1)} = \frac{1}{t_{об, cp}} \quad (1 \leq j \leq n)$$

Функционирование рассматриваемой системы разделения времени может быть описано цепью Маркова, соответствующей графу состояний системы, представленному на рис. 3.1. На нем указаны интенсивности переходов системы из одних состояний в другие.

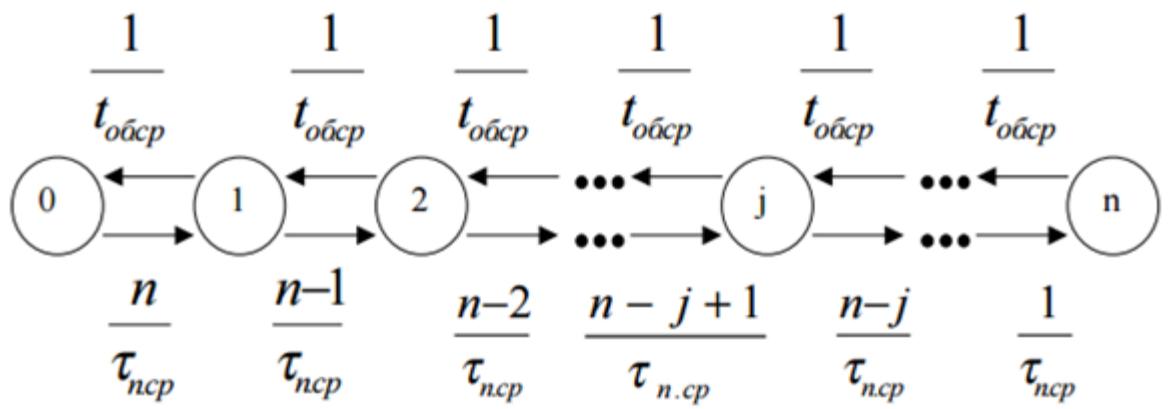


Рис. 3.1. Граф состояний системы

Обозначим через  $\Pi = \{\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n\}$  вектор предельных вероятностей состояний системы. Составляющие этого вектора  $\pi_j$  ( $0 \leq j \leq n$ ) есть вероятности пребывания системы в состоянии  $j$  в стационарном режиме, причем

$$\sum_{j=0}^n \pi_j = 1$$

Составляющие вектора можно определить из системы уравнений, формируемой по переходным вероятностям на графике состояний системы (см. рис.3.1) :

Полученные уравнения и получаемые на их основе результаты не зависят от кванта обслуживания, так как было сделано предположение, что нет издержек времени на переключение программ. Обозначив  $t_{об.ср}/t_{п.ср} = \chi$ , получим из вышеприведенной системы :

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= n\chi\pi_0, \\ \pi_2 &= n(n-1)\chi^2\pi_0, \\ &\dots \\ \pi_j &= \frac{n!}{(n-j)!}\chi^j\pi_0, \\ &\dots \\ \pi_n &= n!\chi^n\pi_0. \end{aligned} \right\}$$

Полученные значения представляют собой значения вектора предельных состояний системы, поэтому

$$\left[ 1 + n\chi + n(n-1)\chi^2 + \dots + \frac{n!}{(n-j)!} \chi^j + \dots + n! \chi^n \right] \pi_0 = 1,$$

Откуда вероятность незанятости процессора в стационарном режиме

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^n \frac{n}{(n-j)!} \chi^j}$$

Соответственно

$$\pi_i = \frac{\frac{n!}{(n-i)!} \chi^i}{\sum_{j=0}^n \frac{n}{(n-j)!} \chi^j}$$

Среднее количество запросов, ожидающих ответа :

$$L_{cp} = \sum_{i=0}^n i \pi_i = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{i n!}{(n-i)!} \chi^i}{\sum_{i=0}^n \frac{n!}{(n-i)!} \chi^i}$$

•

Подставляя в эту формулу выражения для  $L_{cp}$  с учетом выражения  $\pi_i$  после преобразований получаем :

$$L_{cp} = n \frac{t_{omv.cp}}{t_{omv.cp} + \tau_{n.cp}}$$

Используя выражение для  $\pi_0$ , полученное выражение можно преобразовать к виду, обеспечивающему получение значения времени ответа на запрос.

$$t_{om\theta .cp}/t_{obp.cp} = n/(1-\pi_0) - 1/\chi.$$

## Список литературы

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. –М.: Высшая школа, 2001. –343с.: ил.
2. А. Якобсон, Г.Буч, Дж. Рамбо . Унифицированный процесс разработки программного обеспечения. Изд-во «Питер», 2002
3. Шенон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шенон. – М., 1978.