

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

До друку і в світ дозволяю  
Заступник ректора

\_\_\_\_\_ І.П. Гладкий

Шевченко В.О.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни "**Системний аналіз**"  
за напрямом підготовки 6.050101

Усі цитати, цифровий, фактичний  
матеріал і бібліографічні відомості  
перевірені, написання

\_\_\_\_\_   
одиниць відповідає стандартам

Затверджено  
Радою Факультету МТЗ  
протокол № \_\_\_\_ від

Укладач

В.О. Шевченко

Відповідальний за випуск

Харків 2016

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Шевченко В.О.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни "**Системний аналіз**"  
за напрямом підготовки 6.050101

Харків 2016

## Содержание

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Лекция 1. Понятия и закономерности системного анализа .....         | 3  |
| Лекция 2. Методы системного анализа.....                            | 12 |
| Лекция 3. Системный анализ проблемных ситуаций .....                | 22 |
| Лекция 4. Моделирование .....                                       | 28 |
| Лекция 5. Моделирование программных систем.....                     | 38 |
| Лекция 6. Моделирование бизнес-процессов.....                       | 52 |
| Лекция 7. Задачи принятия решений в условиях неопределенности ..... | 64 |
| Лекция 8. Системный анализ многофакторных рисков .....              | 73 |
| Литература .....                                                    | 78 |

## Лекция 1

# ПОНЯТИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

### Основные понятия и определения системного анализа

**Системный анализ** – научный метод познания, представляющий собой последовательность действий по установлению структурных связей между переменными или элементами исследуемой системы.

**Система** – это полный, целостный набор элементов (компонентов), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой так, чтобы могла реализоваться функция системы.

**Объектом** познания системного анализа является часть реального мира, которая выделяется и воспринимается как единое целое в течение длительного времени. Объект может быть материальным и абстрактным, естественным и искусственным. Реально объект обладает бесконечным набором свойств различной природы. Практически в процессе познания взаимодействие осуществляется с ограниченным множеством свойств, лежащих в пределах возможности их восприятия и необходимости для цели познания. Поэтому система как образ объекта задаётся на конечном множестве отобранных для наблюдения свойств.

Понятие "система" возникает там и тогда, где и когда мы материально или умозрительно проводим замкнутую границу между неограниченным или некоторым ограниченным множеством элементов. Те элементы, которые попадают внутрь, – образуют систему. Те элементы, которые остались за пределами границы, образуют множество, называемое "системным окружением" или "**внешней средой**".

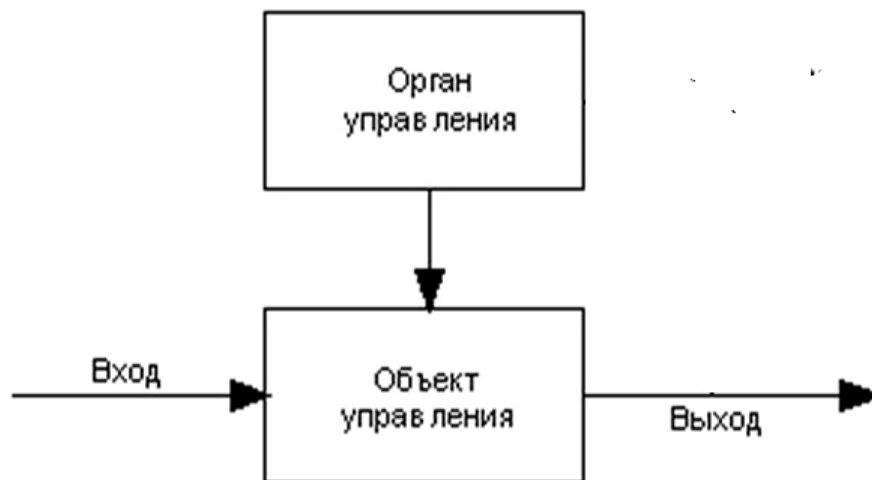
Из этих рассуждений вытекает, что невозможно рассматривать систему без ее внешней среды. Система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия с окружением, являясь при этом ведущим компонентом этого взаимодействия.

Таким образом, **элементом** системы является часть системы с однозначно определёнными свойствами, выполняющие определённые функции и не подлежащая дальнейшему разбиению в рамках решаемой задачи.

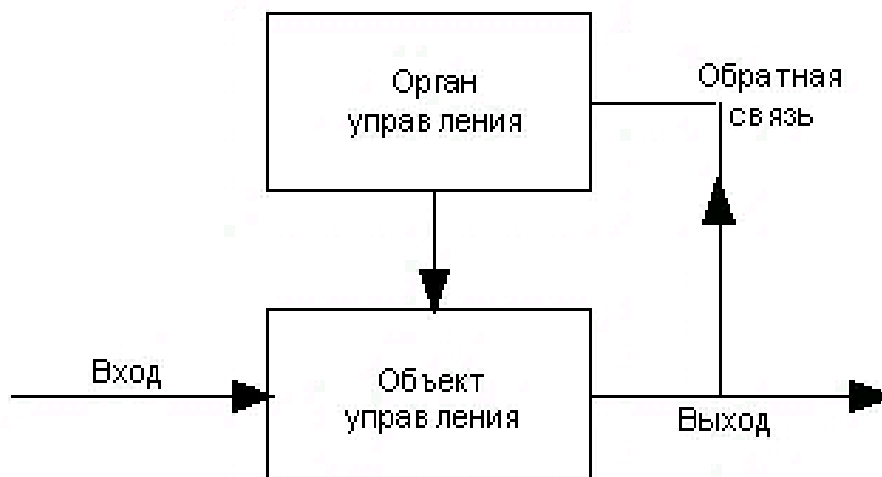
Понятие элемент, подсистема, система взаимопреобразуемы, система может рассматриваться как элемент системы более высокого порядка (метасистема), а элемент при углубленном анализе, как система.

Система как единое целое существует благодаря наличию связей между ее элементами. **Связь** – совокупность зависимостей свойств одного элемента от свойств других элементов системы. Связь показывает взаимодействие элементов системы между собой и внешней средой, иными словами, связи выражают законы функционирования системы. Связи различают по характеру взаимосвязи как прямые и обратные.

**Прямые связи** предназначены для заданной функциональной передачи вещества, энергии, информации или их комбинаций – от одного элемента к другому в направлении основного процесса.

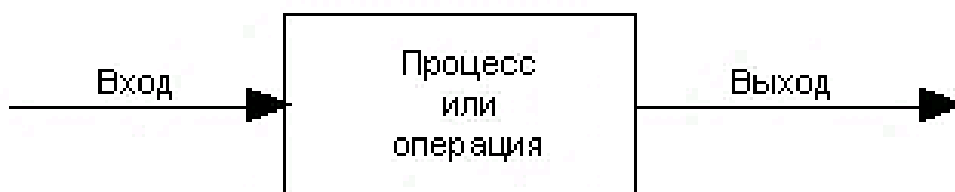


**Обратные связи**, в основном, выполняют осведомляющие функции, отражая изменение состояния системы в результате управляющего воздействия на нее.



### Функционирование системы

**Функционирование** любой произвольно выбранной системы состоит в переработке входных (известных) параметров и известных параметров воздействия окружающей среды в значения выходных (неизвестных) параметров с учетом факторов обратной связи.



**Вход** – это различные точки приложения воздействия внешней среды на систему. Входами системы могут быть информация, вещество, энергия и т.д., которые подлежат преобразованию.

**Выход** – это различные точки приложения воздействия системы на внешнюю среду. Выход системы представляет собой результат преобразования информации, вещества и энергии.

**Процесс** – это преобразование входа в выход.

Управление системой связано с понятиями прямой и обратной связи и ограничениями.

**Ограничения** определяют условия функционирования системы и обеспечивают соответствие между выходом системы и требованием к нему. Если заданное требование не выполняется, ограничение не пропускает его через себя. Ограничение, таким образом, играет роль согласования функционирования данной системы с целями потребителя.

**Критерии** – признаки, по которым производится оценка соответствия функционирования системы желаемому результату (цели) при заданных ограничениях.

**Цель системы** – это представление некоторого наиболее предпочтительного состояния системы, которое позволяет решать задачу при данных ресурсах.

**Состоянием системы** называется совокупность свойств, которыми система обладает в каждый момент времени.

### Структура системы

Любая задача системного анализа начинается с построения модели исследуемой системы. Для решения задачи построения модели необходимо вначале произвести изучение структуры системы, выполнить анализ ее компонентов, выявить взаимосвязи между отдельными элементами.

**Структура системы** – это совокупность элементов системы и связей между ними.

Структурные представления являются средством исследования систем. Одну и ту же систему можно представить различными структурами, необходимый выбор которых обусловлен содержанием исследований, проводимых на данном этапе. Рассмотрим основные способы представления структур.

**1. Линейная структура** – это структура со строго упорядоченным взаимоотношением элементов "один к одному".

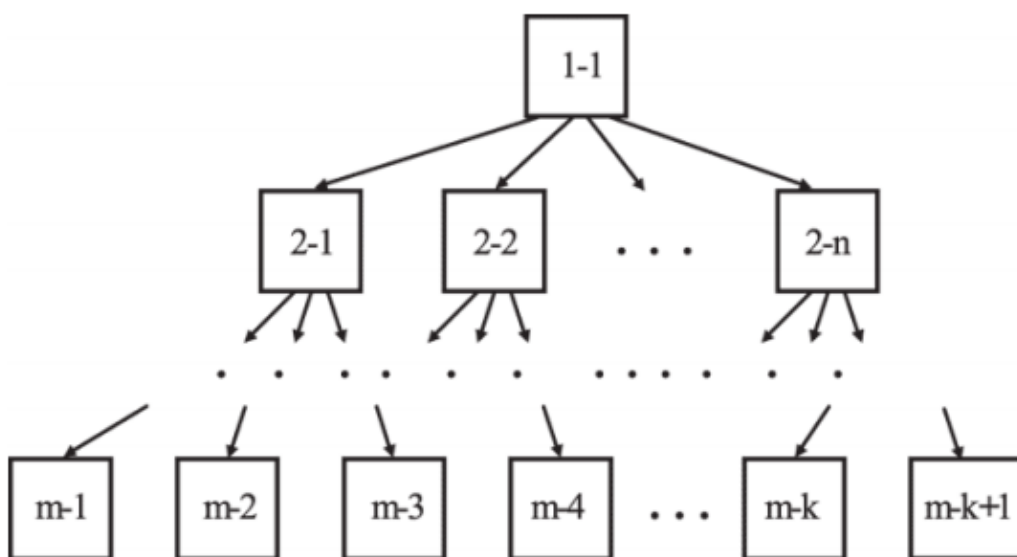


Пример: структура станций метро на одной линии в одном направлении:

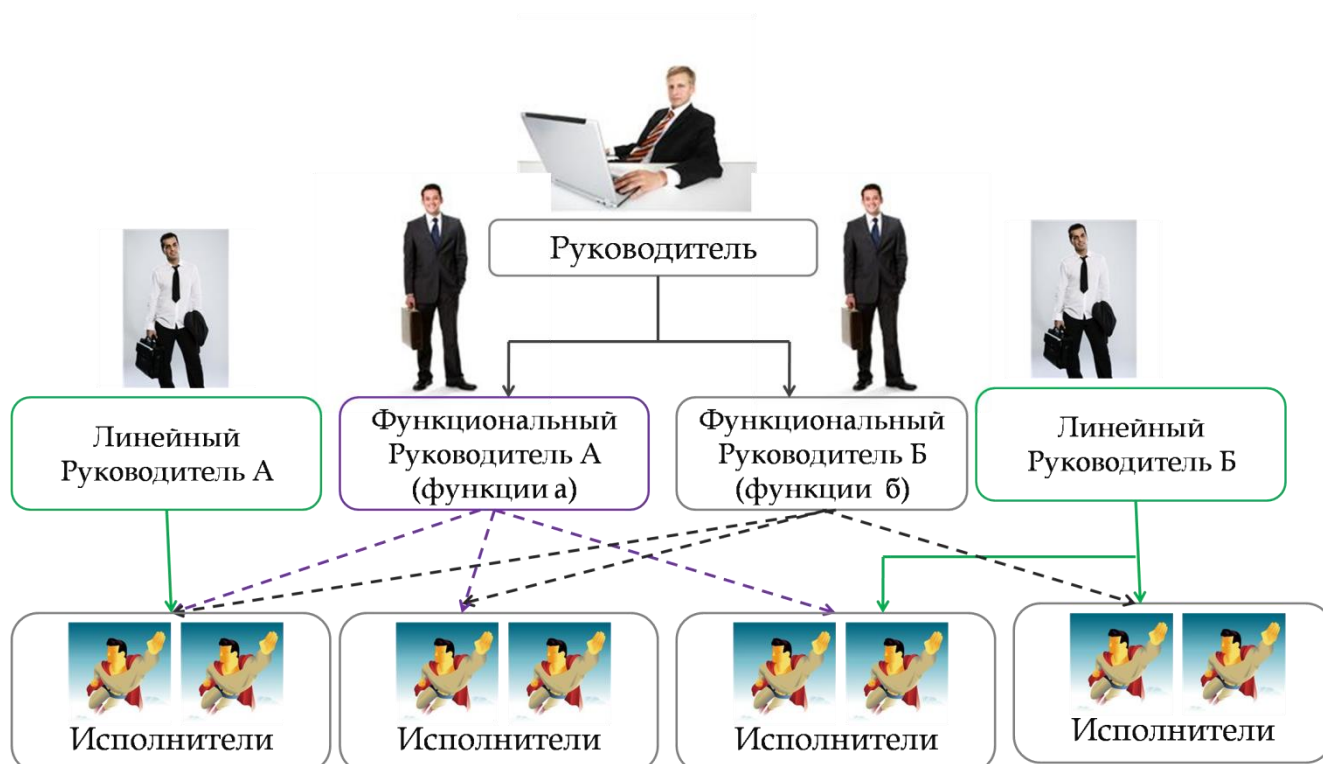
## СХЕМА ЛІНІЙ ХАРКІВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ



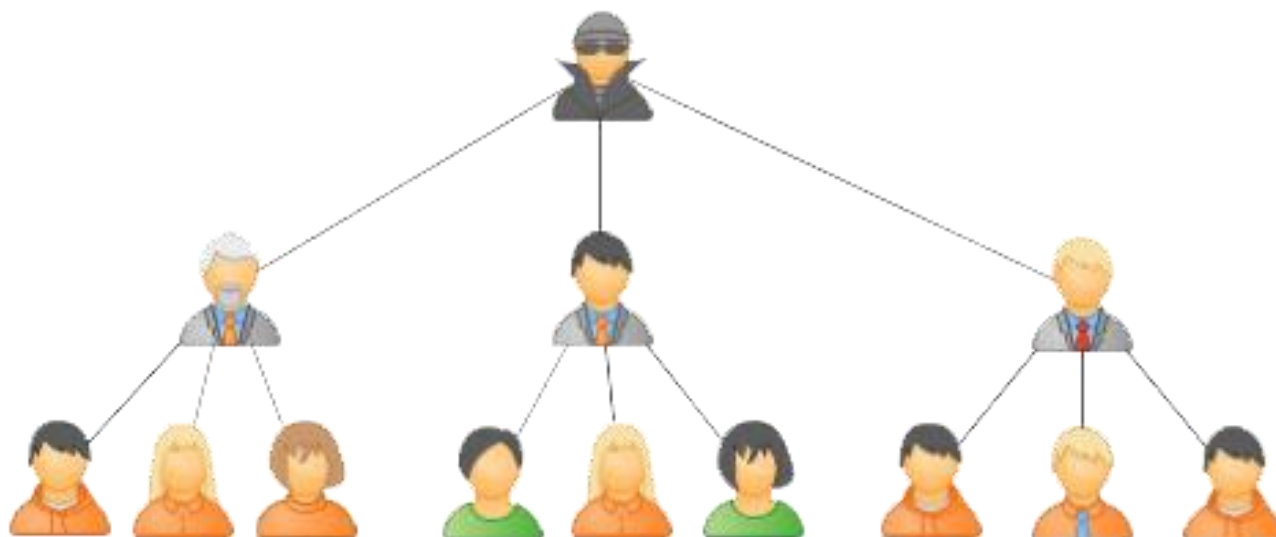
**2. Иерархическая структура** – многоуровневая форма организации элементов со строгой соотнесенностью элементов нижнего уровня определенным элементам верхнего уровня.



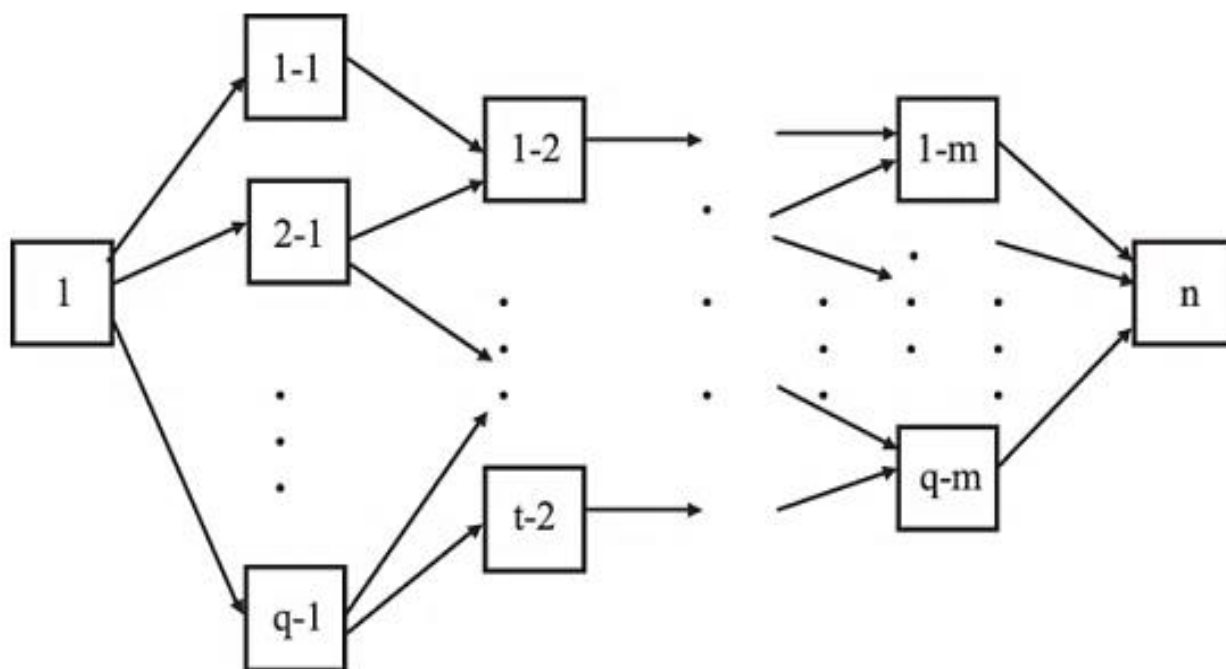
Пример иерархической структуры:



**3. Древоидная структура** – это иерархическая структура, в которой каждый элемент нижележащего уровня подчинён только одному элементу (одной вершине) вышестоящего. Пример:



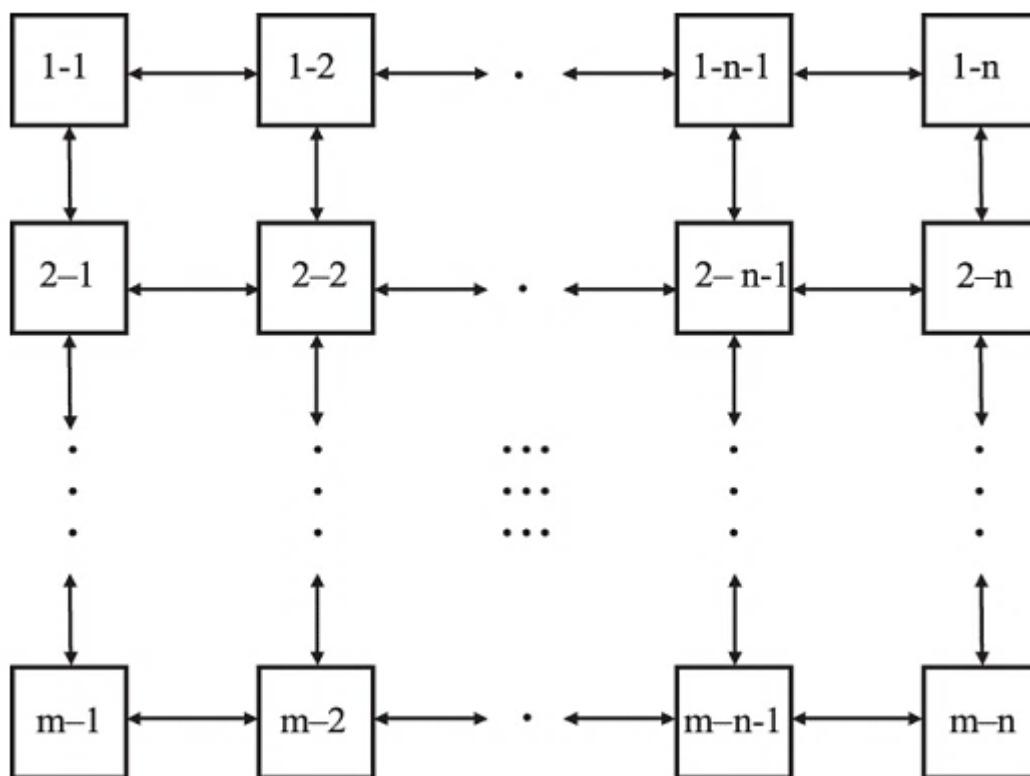
**4. Сетевая структура** представляет отображение взаимосвязи между элементами одного иерархического уровня.



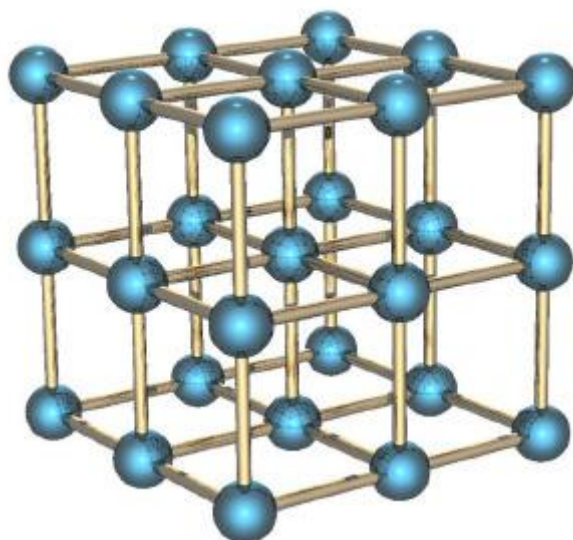
Пример: параллельная работа станков в цеху.



**5. Матричная структура** – представляет систему, в которой все элементы равнозначны.



Пример: кристаллическая решетка твердого тела.



Структура является статической моделью системы и характеризует только строение системы, не учитывая множества свойств (состояний) её элементов.

### Общесистемные закономерности

**1. Целостность и делимость.** Система есть, прежде всего, целостной совокупностью элементов. Это означает, что, с одной стороны, система – это целост-

ное образование, а с другой – в системе четко могут быть выделены отдельные целостные объекты (элементы). Но не компоненты образуют целое (систему), а наоборот, при разделении целого выявляют компоненты системы. **Первичность целого – главный постулат теории систем.**

**2. Эмерджентность системы** (несводимость свойств отдельных элементов к свойствам системы в целом). Система не сводится к простой совокупности элементов; разделяя систему на части, исследуя каждую из них отдельно, невозможно познать все свойства системы в целом.

**3. Иерархичность системы** – наличие нескольких уровней, при которых каждую систему можно рассматривать как элемент системы высшего порядка (надсистемы), а элементы рассматриваемой системы – как подсистемы.

**4. Взаимосвязанность структуры и среды** – формирование и проявление свойств системы в процессе ее взаимодействия со средой. Система развивается под воздействием внешней среды, но при этом пытается сохранить качественную определенность и свойства, которые обеспечивают относительную стойкость и адаптивность ее функционирования.

**5. Ориентированность** – зависимость каждого элемента системы от его места, функций внутри целого.

**6. Конфигурируемость** – возможность изменения структур элементов и подсистем сложной системы с целью оптимизации ее работы, повышение функциональных возможностей и эффективности функционирования.

**7. Надежность** – способность сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

**8. Адаптируемость** – способность изменять поведение или структуру с целью сохранения, улучшения или приобретения новых качеств в условиях изменения внешней среды.

**9. Размерность системы** – количество компонентов системы и связей между ними.

**10. Эффективность** – способность к достижению поставленных целей за определенный период времени при использовании определенного количества ресурсов. Эффективность определяет соответствие между реально полученными (фактическими) и требуемыми результатами функционирования системы. По сути, определяет степень достижения цели.

### **Виды системного анализа**

**Анализ системы** состоит в определении основных процессов, факторов как внутри системы, так и во внешней среде, влияющих на функционирование и развитие системы. Для этого возможно использование следующих видов анализа:

1. Функционально-структурный анализ существующей системы, позволяющий сформулировать требования к создаваемой системе. Он включает уточнение состава и законов функционирования элементов, алгоритмов функционирования и взаимовлияний подсистем, разделение управляемых и неуправляемых характери-

стик, анализ целостности системы, формулирование требований к создаваемой системе.

2. Морфологический анализ – анализ взаимосвязи компонентов.

3. Генетический анализ – анализ предыстории, причин развития ситуации, имеющихся тенденций, построение прогнозов.

4. Анализ аналогов.

5. Анализ эффективности (по результативности, ресурсоемкости, оперативности). Он включает выбор шкалы измерения, формирование показателей эффективности, обоснование и формирование критериев эффективности, непосредственно оценивание и анализ полученных оценок.

6. Формирование требований к создаваемой системе, включая выбор критериев оценки и ограничений.

## Лекция 2

### МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

**Метод** – это путь познания, опирающийся на некоторую совокупность ранее полученных общих знаний. Метод является научным средством исследования объекта.

В системном анализе применяется комплекс общенаучных, экспериментальных, статистических, математических и экспериментальных методов.

**Общенаучные методы** используются в теоретических и эмпирических исследованиях. Они включают:

**Анализ** – метод исследования, который включает в себя изучение предмета путем мысленного расчленения его на составные элементы (части объекта, его признаки, свойства, отношения). Каждая из выделенных частей анализируется раздельно в пределах единого целого. Например, анализ производительности труда рабочих производится по предприятию в целом и по каждому цеху.

**Синтез** – метод изучения объекта в его целостности, в единстве и взаимной связи его частей. В процессе научных исследований синтез связан с анализом, поскольку он позволяет соединить части предмета, расчлененного в процессе анализа, установить их связь и познать предмет как единое целое (производительность труда по производственному объединению в целом).

**Абстрагирование** – процесс мысленного отвлечения от ряда свойств и отношений изучаемого явления с одновременным выделением интересующих исследователя свойств (прежде всего существенных, общих). Он применяется в экономических исследованиях для перспективного планирования, когда на основании изучения работы предприятий за прошедший период прогнозируется развитие отрасли или региона на будущий период.

**Идеализация** – мыслительная процедура, связанная с образованием абстрактных (идеализированных) объектов, принципиально несуществующих в дей-

ствительности с целью предельного упрощения исследуемых объектов и явлений (точка, идеальный газ, абсолютно черное тело и т.п.).

**Конкретизация** – метод исследования предметов во всей их разносторонности, в качественном многообразии реального существования в отличие от абстрактного, отвлечённого изучения предметов. При этом исследуется состояние предметов в связи с определенными условиями их существования и исторического развития. Так, перспективы развития отрасли определяются на основании конкретных расчетов применения новой техники и технологии, сбалансированности трудовых и материальных ресурсов и др.

**Индукция** – метод исследования, при котором общий вывод о признаках множества элементов делается на основе изучения этих признаков у части элементов одного объекта. Так, изучаются факторы, отрицательно влияющие на производительность труда по каждому отдельному предприятию, а затем обобщаются в целом по объединению, в состав которого входят эти предприятия как производственные единицы.

**Дедукция** – метод логического умозаключения от общего к частному, т.е. сначала исследуется состояние объекта в целом, а затем – его составных элементов. Применительно к предыдущему примеру сначала анализируется производительность труда в целом по объединению и далее по его производственным единицам.

**Аналогия** (соответствие, сходство) – умозаключение на основе переноса знания об одном объекте на менее изученный объект, сходный с первым в некотором отношении. Например, производительность труда в объединении может исследоваться не по каждому предприятию, а лишь по выбранным в качестве аналога, выпускающим однородную с другими предприятиями продукцию и имеющим одинаковые условия для производственной деятельности. При этом полученные результаты распространяются на все аналогичные предприятия.

**Моделирование** – метод исследования определенных объектов путем воспроизведения их характеристик на другом объекте – модели, которые представляют собой аналог того или иного фрагмента действительности (материального или мыслительного) – оригинала модели.



**Экспериментальные методы** применяются для точного описания и тщательного изучения рассматриваемых явлений и процессов. К ним относятся:

**Наблюдение** – это метод познания, при котором объект изучают без вмешательства в него; фиксируют, измеряют лишь свойства объекта и характер их изменения.

**Опрос** – это метод сбора первичной информации, источником которой служит словесное или письменное суждение человека. Опрос может проводиться в виде беседы, тестирования или анкетирования. Цель опроса – выявление количественно-качественных характеристик объекта исследования.

**Эксперимент** – это метод познания, в котором создаются и изменяются специальные условия для того, чтобы вызвать изучаемый процесс и влиять на его течение, что дает возможность получить количественные и качественные характеристики исследуемого явления.

**Испытание** – это опытное определение количественных и (или) качественных свойств предмета испытаний в результате воздействий на него.



**Статистические методы** направлены на изучение количественных закономерностей, проявляющихся в структуре, динамике и взаимосвязях изучаемых явлений и процессов. К ним относятся методы математической статистики и теории ошибок, например, методы дисперсионного, корреляционного, факторного анализа и другие, а также методы непараметрической статистики.

**Математическая статистика** – наука, разрабатывающая математические методы систематизации и использования статистических данных для научных и практических выводов.

**Теория ошибок** – раздел математической статистики, посвященный построению уточненных выводов о численных значениях приближенно измеренных величин, а также об ошибках (погрешностях) измерений.

**Непараметрическая статистика** – это раздел математической статистики, представляющий комплекс методов обработки статистических данных, не требу-

ющих, чтобы распределение вероятностей было описано каким-либо параметрическим законом распределения (например, нормальным).



**Математические методы** применяются для решения хорошо структурированных, количественно выражаемых проблем. К ним относятся методы исследования операций, например, задачи линейного, нелинейного, динамического программирования, задачи теории массового обслуживания, теории игр и др.



**Экспертные методы** используются для организации и проведения экспертиз для оценки сложных систем, генерации альтернатив и выбора сценария развития системы.



К методам оценки систем относятся:

**Ранжирование.** Метод представляет собой процедуру упорядочения объектов, выполняемую экспертом. На основе знаний опыта эксперт располагает объекты в порядке предпочтения, руководствуясь одним или несколькими выбранными показателями сравнения. В зависимости от вида отношений между объектами возможны различные варианты упорядочения объектов.



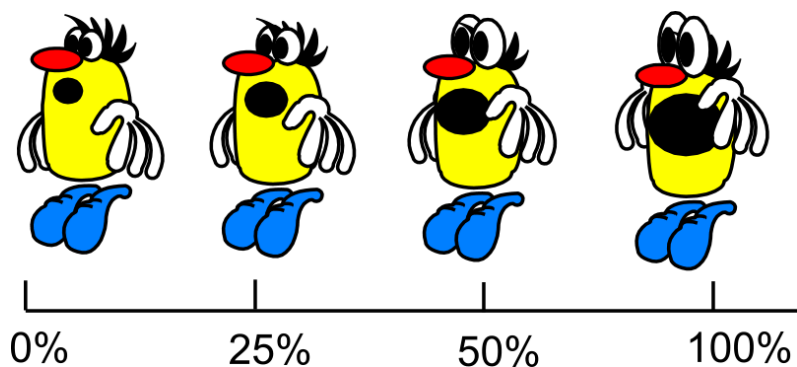
**Парное сравнение.** Этот метод представляет собой процедуру установления предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар. В отличие от ранжирования, в котором осуществляется упорядочение всех объектов, парное сравнение объектов является более простой задачей.



**Множественные сравнения.** Они отличаются от парных тем, что экспертам последовательно предъявляются не пары, а тройки, четверки и т.д. объектов. Эксперт их упорядочивает по важности или разбивает на классы в зависимости от целей экспертизы. Множественные сравнения занимают промежуточное положение между парными сравнениями и ранжированием.



**Непосредственная оценка.** Метод заключается в присваивании объектам числовых значений в шкале интервалов. Эксперту необходимо поставить в соответствие каждому объекту точку на определенном отрезке числовой оси. При этом необходимо, чтобы эквивалентным объектам приписывались одинаковые числа.



Методы генерации альтернатив и выбора сценария развития системы:

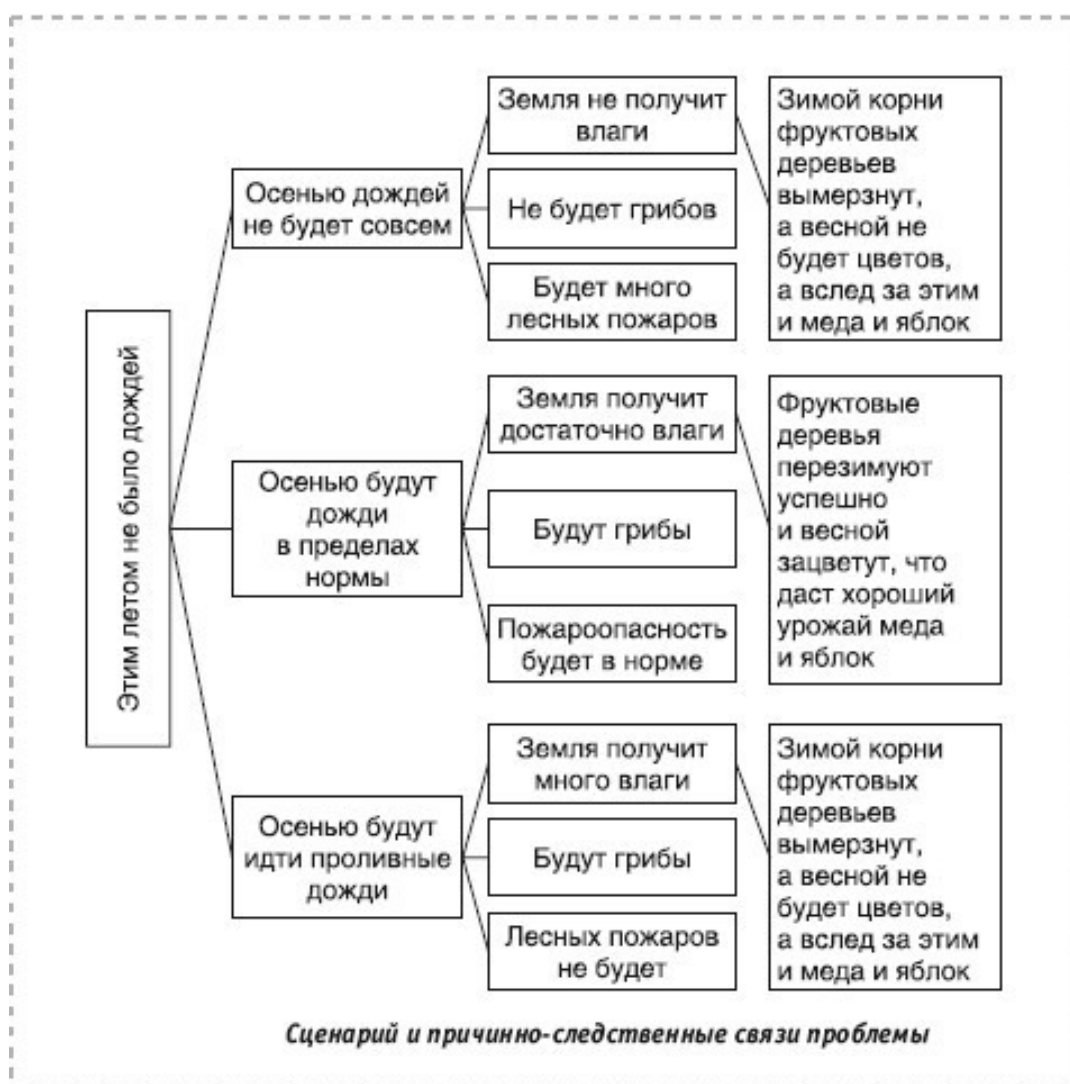
**Методы коллективной генерации идей.** Известны, так же и как метод **мозгового штурма**, или **мозговой атаки**. Данный метод является методом систематической тренировки творческого мышления, нацеленным на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления. Техника мозгового штурма состоит в следующем.

Собирается группа лиц, отобранных для генерации альтернатив. Главный принцип отбора заключается в подборе специалистов разных профессий, опыта работы и квалификации. Данная группа обсуждает проблему, причем заранее оговаривается, что приветствуются любые идеи, возникшие как индивидуально, так и по ассоциации при выслушивании предложений других участников.



**Разработка сценариев.** В некоторых проблемах искомое решение должно описывать реальное поведение объекта в будущем, определять реальный ход событий. В таких случаях альтернативами являются различные последовательности действий и вытекающих из них событий, которые могут произойти с системой в будущем. Эти последовательности имеют общее начальное состояние и различные траектории движения развития системы. Это различие и приводит к проблеме выбора. Такие гипотетические альтернативные описания поведения системы в будущем называются сценариями.

Для составления сценариев привлекаются специалисты, которые должны знать общие закономерности развития систем. При составлении сценариев проводят анализ внутренних и внешних факторов, влияющих на развитие системы, определяют источники этих факторов, целенаправленно анализируют высказывания ведущих специалистов в научных публикациях по рассматриваемой тематике. Сценарий является предварительной информацией, на основе которой проводится дальнейшая работа по прогнозированию развития системы. Сценарий помогает составить представление о проблеме, затем приступают к более тщательным, как правило, количественным процедурам анализа.



**Морфологические методы.** Основная идея морфологических методов состоит в систематическом переборе всех мыслимых вариантов решения проблемы или развития системы путем комбинирования выделенных элементов или их признаков. Системный аналитик определяет все мыслимые параметры, от которых может зависеть решение проблемы и представляет их в виде матриц-строк. Затем в этой матрице определяются все возможные сочетания параметров по одному из каждой строки. Полученные таким образом варианты подвергаются оценке и анализу с целью выбора наилучшего варианта решения проблемной ситуации.

## Морфологический анализ

Метод поиска новых идей, основанный на анализе структуры объекта

### Правила:

Формулируется проблема.  
Указываются основные параметры объекта.  
Указываются варианты исполнения параметров.  
Рассматриваются все возможные сочетания.

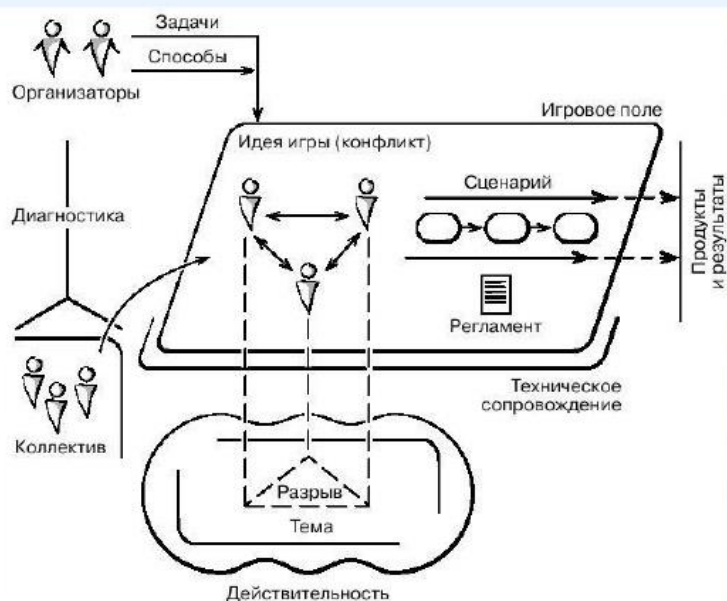
### Задача:

Найти новый вид тары для соков



**Деловые игры.** Деловыми играми называется имитационное моделирование реальных ситуаций. В процессе моделирования участники игры ведут себя таким образом, будто они в реальности выполняют порученную им роль. Реальная ситуация в данном случае заменяется некоторой моделью. Чаще всего деловые игры используются для обучения, однако их с успехом применяют и для экспериментального генерирования альтернатив, особенно в слабо формализованных ситуациях. Важная роль в деловых играх отводится руководителю игры, тому, кто управляет моделью, регистрирует ход игры и обобщает ее результаты.

## Схема организации деловой игры



**Методы экспертного анализа.** Методы экспертного анализа разрабатывались для решения задачи структурирования и системной организации процесса получения и кодирования данных и знаний. Суть методов состоит в подборе группы экспертов, являющихся специалистами в рассматриваемой области знаний. Перед ними формулируется задача, скажем, изложить свое мнение по проблеме, требующей решения, предложить пути развития системы, обосновать траекторию изменения состояний системы в будущем и т. п. После получения ответов появляется как бы коллективное мнение, коллективный взгляд на решаемую проблему. В результате обработки экспертных ответов получают наиболее вероятный прогноз по развитию системы.

| 1                              | 2               | 3                 |   |   |   |   | 4              |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|---|---|---|---|----------------|
| Описание фактора               | Влияние фактора | Экспертная оценка |   |   |   |   | Средняя оценка |
|                                |                 | 1                 | 2 | 3 | 4 | 5 |                |
| ПОЛИТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ           |                 |                   |   |   |   |   |                |
| Фактор 1                       | 1               | 5                 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4,2            |
| Фактор 2                       | 2               | 1                 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2,4            |
| Фактор 3                       | 1               | 2                 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2,0            |
| ...                            |                 |                   |   |   |   |   |                |
| ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ          |                 |                   |   |   |   |   |                |
| Фактор 1                       | 3               | 5                 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5,0            |
| Фактор 2                       | 3               | 5                 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4,0            |
| Фактор 3                       | 2               | 1                 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,6            |
| ...                            |                 |                   |   |   |   |   |                |
| СОЦИАЛЬНО - КУЛЬТУРНЫЕ ФАКТОРЫ |                 |                   |   |   |   |   |                |
| Фактор 1                       | 3               | 3                 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2,4            |
| Фактор 2                       | 1               | 5                 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5,0            |
| Фактор 3                       | 2               | 3                 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4,2            |
| ...                            |                 |                   |   |   |   |   |                |
| ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ        |                 |                   |   |   |   |   |                |
| Фактор 1                       | 3               | 3                 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2,0            |
| Фактор 2                       | 3               | 4                 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4,6            |
| Фактор 3                       | 3               | 3                 | 4 | 5 | 2 | 4 | 3,6            |
| ...                            |                 |                   |   |   |   |   |                |
| ОБЩИЙ ИТОГ                     |                 |                   |   |   |   |   | 41,0           |

**Метод "Дельфи"** – итеративная процедура при проведении мозговой атаки, которая должна снизить влияние психологических факторов при проведении обсуждений проблемы и повысить объективность результатов. В отличие от традиционного подхода к достижению согласованности мнений экспертов путем открытой дискуссии метод "Дельфи" предполагает полный отказ от коллективных обсуждений. Это делается для того, чтобы уменьшить влияние таких психологических факторов, как присоединение к мнению наиболее авторитетного специалиста, нежелание отказаться от публично выраженного мнения, следование за мнением большинства. В методе "Дельфи" прямые дебаты заменены тщательно разработанной программой последовательных индивидуальных опросов, проводимых в форме анкетирования. Ответы экспертов обобщаются и вместе с новой дополнительной информацией поступают в распоряжение экспертов, после чего они уточняют свои первоначальные ответы. Такая процедура повторяется несколько раз до получения приемлемой сходимости совокупности высказанных мнений.



**Методы типа дерева целей** подразумевает использование иерархической структуры, полученной путем разделения общей цели на подцели, а их, в свою очередь, на более детальные составляющие – новые подцели, функции и т. д. Древоподобные иерархические структуры используются при исследовании вопросов совершенствования организационных систем.

Общим для всех методик системного анализа является осмысление сущности и основной цели жизнедеятельности системы, формирования вариантов представления системы и выбор лучшего варианта. На каждой стадии исследования

используются разнообразные научные методы и приемы, состоящие из неодинакового количества этапов анализа, содержание которых зависит от сложности решаемых заданий.



### Лекция 3

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ

### Понятие проблемы. Классификация проблем

**Проблема** – ситуация несоответствия желаемого и существующего.

В системном анализе проблемы разделяются на три класса:

**Проблемы первого класса** – хорошо структурированные, выражены количественно. Эти проблемы хорошо поддаются формализации и решаются с использованием математического аппарата, позволяющего получать количественные оценки, показывающие эффективность разрешения проблемной ситуации. При решении таких проблем могут быть использованы методы элементарной математики (алгебры, геометрии и т.д.), теории вероятностей, математической статистики, интегрального и дифференциального исчисления, математического программирования и т.д. К ним могут быть отнесены некоторые технические, экономические и организационные проблемы, например, решение вопроса выпуска продукции в условиях ограниченности складского хранения – что, в каком количестве производить, если склад готовой продукции «не резиновый».

**Второй класс** – слабоструктурированные проблемы. Они, как правило, являются комбинированными, содержащими как количественные, так и качественные характеристики проблемных ситуаций, что обуславливает применение малоизвестных и разработку новых методов, обеспечивающих эффективное решение проблемы. Пример проблем: решение вопроса поступления в ВУЗ после окончания средней школы, поиск и устройство на работу и т.п.

Класс слабоструктурированных проблем является основной темой изучения СА. Здесь для решения проблемы используются как методы вычислительной математики, так и математической логики в совокупности с методами мягких вычислений, предложенных Лотфи Заде.

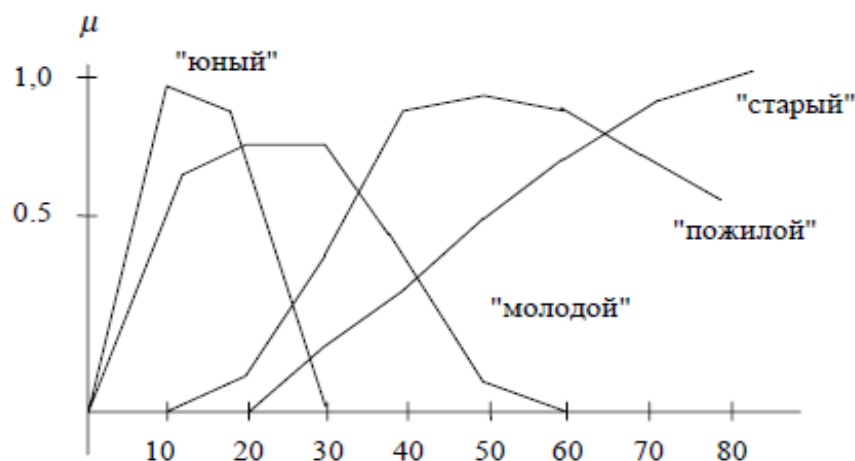


Лотфи Заде – американский математик и логик, основатель теории нечётких множеств и нечёткой логики, профессор Калифорнийского университета.

Родился 4.02.1921 г. в г. Баку, Азербайджан

**Мягкие вычисления** – термин, введенный Лотфи Заде в 1994 году, обозначающий совокупность неточных, приближенных методов решения задач. В область мягких вычислений входят такие методы как нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы, методы теории хаоса и роевого интеллекта.

**Нечёткая логика** (англ. *fuzzy logic*) – раздел математики, являющийся обобщением классической логики и теории множеств, базирующийся на понятии нечёткого множества, впервые введённого Лотфи Заде в 1965 году. Понятие нечеткого множества – это попытка математической формализации нечеткой информации для построения математических моделей. В основе этого понятия лежит представление о том, что каждый элемент какого-либо множества, принадлежит к этому множеству с определенной степенью вероятности.

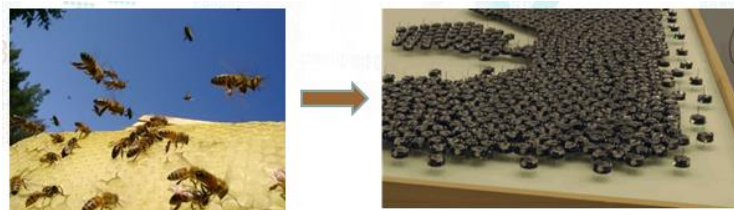


**Нейронные сети** – математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма.

**Генетический алгоритм** (англ. *genetic algorithm*) – эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе.

**Теория хаоса** – математический аппарат, описывающий поведение некоторых нелинейных динамических систем, подверженных при определённых условиях явлению, известному как хаос (динамический хаос, детерминированный хаос). Поведение такой системы кажется случайным, даже если модель, описывающая систему, является детерминированной. Примеры: атмосфера, турбулентные потоки и др.

**Роевой интеллект** (англ. *Swarm intelligence*) представляет собой много-агентную систему, обладающую самоорганизующимся поведением, которое, суммарно, должно проявлять некоторое разумное поведение. Системы роевого интеллекта, как правило, состоят из множества агентов (боидов), локально взаимодействующих между собой и с окружающей средой. Идеи поведения, как правило, исходят от природы, а в особенности, от биологических систем. Каждый боид следует очень простым правилам и, несмотря на то, что нет какой-то централизованной системы управления поведением, которая бы указывала каждому из них, что ему следует делать, локальные и, в некоторой степени, случайные взаимодействия приводят к возникновению интеллектуального глобального поведения, неконтролируемого отдельными боидами.



**Проблемы третьего класса** – неструктурированные. Для решения этих проблем, обычно применяются эвристические (интуитивно-логические) методы решения, с помощью которых неструктурированная проблема переводится в класс слабоструктурированных, после чего можно использовать методы системного анализа, который позволяет либо найти правильное решение, либо выявить причины появления проблемы. Пример: проблема экологии мегаполиса (страны, континента, планеты), дефицит пресной воды в мире и т.п.



## Этапы исследования проблемы

В общем виде системное исследование проблемы состоит из таких этапов:

1. Формулировка проблемы.
2. Определение цели.
3. Формулировка критериев.
4. Определение имеющихся ресурсов для достижения цели.
5. Генерация альтернатив и сценариев.

**Первый этап.** Системное исследование произвольной проблемы начинается из формулировки и описания проблемной ситуации. Для начала необходимо определить внешние признаки проявления проблемы, ее временные параметры, источники возникновения проблемы, обуславливающие ее факторы, характер влияния проблемы на основные элементы объекта исследования, возможные исследования развития проблемной ситуации.

В качестве инструмента исследования можно использовать анализ логической структуры проблемы, изучить ее в ретроспективном аспекте, оценить возможные пути развития в будущем и во взаимосвязи с другими проблемами. При анализе сложных проблем используют приемы декомпозиции (разделение целого на части), модели типа "черного ящика" и др.

**Декомпозиция** – это научный метод, использующий структуру задачи и позволяющий заменить решение одной большой задачи решением серии меньших задач, пусть и взаимосвязанных, но более простых. Декомпозиция, как процесс расчленения, позволяет рассматривать любую исследуемую систему как сложную, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем, которые, в свою очередь, также могут быть расчленены на части. В качестве систем могут выступать не только материальные объекты, но и процессы, явления и понятия.

## Функциональная декомпозиция программы «Записная книжка»

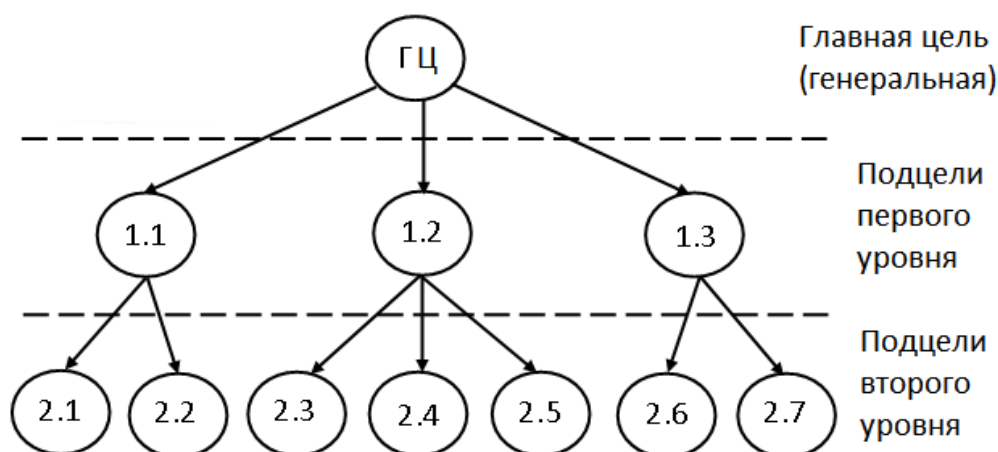


**Чёрный ящик** – термин, используемый для обозначения системы, внутреннее устройство и механизм работы которой очень сложны, неизвестны или неважны в рамках данной задачи. Понятие «черный ящик» было предложено Уильямом Россом Эшби (английский психиатр, специалист по кибернетике, пионер в исследовании сложных систем). "Метод черного ящика" – метод исследования таких систем, когда вместо свойств и взаимосвязей составных частей системы, изучается реакция системы, как целого, на изменяющиеся условия. Таким образом, система изучается не как совокупность взаимосвязанных элементов, а как нечто целое, взаимодействующее со средой на своих входах и выходах.



**Второй этап.** Цель – это желаемое состояние системы или результат ее деятельности. Определение целей есть зеркальное отражение формулирования проблемы, поскольку проблема – это несоответствие между необходимым (желаемым) и фактическим положением дел. Правильная постановка целей может быть равносильна "половине" решения проблемы.

На практике, как правило, существует несколько целей и потому важно, кроме определения главной цели, не выпустить некоторые из существенных среди других. Для этого применяют метод построения дерева целей. Преимуществом этого метода является то, что он делает возможным разделение сложного задания, которое трудно формализовать, на совокупность более простых заданий, для решения которых существуют проверенные приемы и методы.



**Третий этап.** Задача формирования критериев решается непосредственно после того, как сформулированы цели системного анализа.

**Критерии** – признаки, по которым производится оценка соответствия функционирования системы желаемому результату (цели).

Задача системного анализа состоит в том, чтобы формализовать проблемную ситуацию, возникающую в ходе системного анализа. Этой цели как раз и служит этап формирования критериев. Сформированные критерии в некотором смысле должны заменять цели. От критериев требуется как можно большее сходство с целями, чтобы оптимизация по критериям соответствовала максимальному приближению к целям.

При решении задач системного анализа, возникает ситуация, когда невозможно предложить один критерий, адекватно отражающий цель исследования. Даже одну цель редко удастся выразить одним критерием, хотя к этому необходимо стремиться. Еще более усложняется задача в случае, когда сформулировано несколько целей системного анализа, отражающих разные системы ценностей. В этом случае исследователь тем более вынужден формировать несколько критериев и в последующем решать многокритериальную задачу. Таким образом, можно отметить, что многокритериальность является способом повышения адекватности описания цели. Однако введение многокритериальности в задачах системного анализа не должно быть самоцелью. Качество постановки задачи заключается не только и не столько в количестве критериев, сколько в том, чтобы они достаточно адекватно описывали цель системного анализа. Критерии должны описывать по возможности все важные аспекты цели, но при этом желательно минимизировать число необходимых критериев. Основные критерии, наиболее часто встречающиеся в анализе сложных технических систем: экономические критерии – прибыль, рентабельность, себестоимость; технико-экономические – производительность, надежность, долговечность; технологические – выход продукта, характеристики качества и пр.

**Четвертый этап.** При постановке и решении задач системного анализа необходимо учитывать не только цели, но и возможности, имеющиеся для решения поставленных задач. В первую очередь необходимо учитывать ресурсы, требуемые для решения задач (денежные, людские, материальные и др.). Чтобы удовлетворить условиям непревышения количества имеющихся ресурсов, в постановку задачи системного анализа вводят ограничения. Ограничения определяют условия функционирования системы и обеспечивают соответствие между выходом системы и требованием к нему. Если заданное требование не выполняется, ограничение не пропускает его через себя. Ограничение, таким образом, играет роль согласования функционирования данной системы с целями потребителя.

Между целевыми критериями и ограничениями имеется сходство и различия. Общее заключается в том, что и критерии и ограничения являются математической формулировкой некоторых условий. В некоторых задачах оптимизации они могут выступать равноправно. Однако на этапе формирования критериев целевой критерий открывает возможности для генерирования новых альтернатив в поисках лучшей из них, а ограничение заведомо уменьшает их число, запрещая

некоторые из них. Одними целевыми критериями можно жертвовать ради других, ограничения же исключить нельзя, они должны четко соблюдаться.

**Пятый этап.** На данном этапе необходимо сгенерировать множество альтернатив, из которых затем будет осуществляться выбор наилучшего пути развития системы. На данном этапе используют методы экспертных оценок.

## Лекция 4

# МОДЕЛИРОВАНИЕ

### Понятие модели и моделирования

Под **моделированием** понимают процесс адекватного отображения наиболее существенных сторон исследуемого объекта или явления с точностью, которая необходима для исследования. Основой моделирования является формализованный подход к исследованию сложной системы.

Теоретической базой моделирования является теория подобия. Подобие – это взаимно однозначное соответствие между двумя объектами, при котором известны функции перехода от параметров одного объекта к параметрам другого, а математические описания этих объектов могут быть преобразованы в тождественные. Таким образом, моделирование – это процесс представления объекта исследования адекватной (подобной) ему моделью и проведения экспериментов с моделью для получения информации об объекте исследования. При моделировании модель выступает и как средство, и как объект исследований, находящийся в отношении подобия к моделируемому объекту. При этом исследователь проводит "эксперимент-анализ" не с объектом-оригиналом, а с моделью.

**Модель** – это специально создаваемый объект, на котором воспроизводятся определенные характеристики реального исследуемого объекта или процесса с целью их использования для управления или изучения объекта.

Моделирование – неотъемлемый этап всякой целенаправленной деятельности. Человека (субъекта моделирования) могут интересовать: внешний вид, структура, поведение объекта моделирования.

Описание внешнего вида объекта сводится к перечислению его признаков. В языке эти признаки часто выражаются прилагательными: красивый, жёлтый, круглый, длинный и т.п. Моделирование внешнего вида объекта необходимо для идентификации (узнавания) объекта.

Описание структуры обычно сводится к перечислению составных элементов объекта и указанию связи между ними. Моделирование структуры объекта необходимо для её наглядного представления, изучения свойств объекта, выявления значимых связей, изучения стабильности объекта и пр.

Поведение объекта характеризуется изменением его внешнего вида и структуры с течением времени в результате взаимодействия с другими объектами. Моделирование поведения необходимо для прогнозирования, установления связей с другими объектами, управления, конструирования технических устройств и пр.

Процесс моделирования и исследования в системном анализе предполагает следующие этапы:

- 1) постановка задачи с учетом, по возможности всех факторов влияющих на состояние системы (системный подход);
- 2) выбор подхода моделирования и инструментария для решения задачи;
- 3) формализация и построение модели системной задачи;
- 4) проверка корректности (непротиворечивости) и адекватности (соответствие реальности) модели, в случае необходимости вносятся поправки в модель;
- 5) решение задачи на основе построенной модели;
- 6) анализ результатов решения задачи;
- 7) придание содержательной формы результатам анализа решения.

### Типы моделей

Различают физические и информационные (абстрактные) модели.

**Физические** – это модели, которые сконструированы человеком искусственно или взяты из природы в качестве образцов. Физические модели образуются из совокупности материальных объектов. Для их построения используются различные физические свойства объектов, причём природа применяемых в модели материальных элементов не обязательно та же, что и в исследуемом объекте. Примером физической модели является макет.

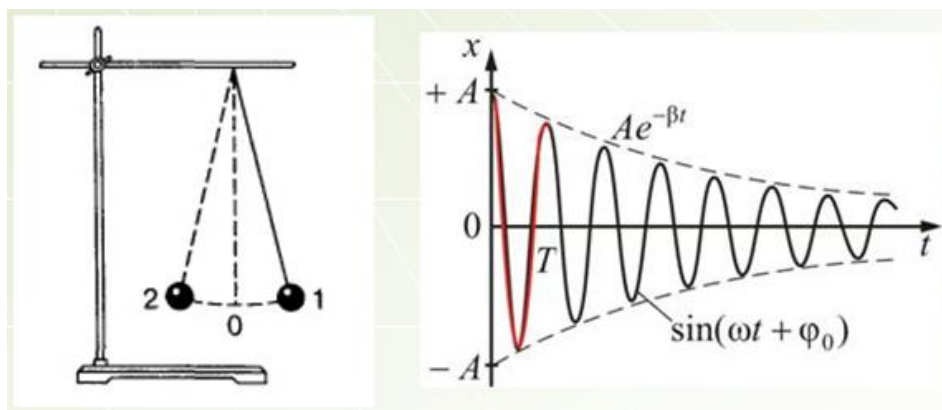


К физическим моделям относятся наглядные, аналоговые и натурные.

**Наглядные** модели отражают, главным образом, структуру или геометрические характеристики оригинала. Например: макет здания, чертеж детали, макет самолета. Эти модели, как правило, есть уменьшенные копии реальных объектов той же физической природы.



**Аналоговые** модели используют сходство некоторых физических процессов, протекающих в оригинале и модели. Так, разряд электрического контура моделирует колебания маятника, аналоговые вычислительные машины моделируют технологические процессы и т.п.



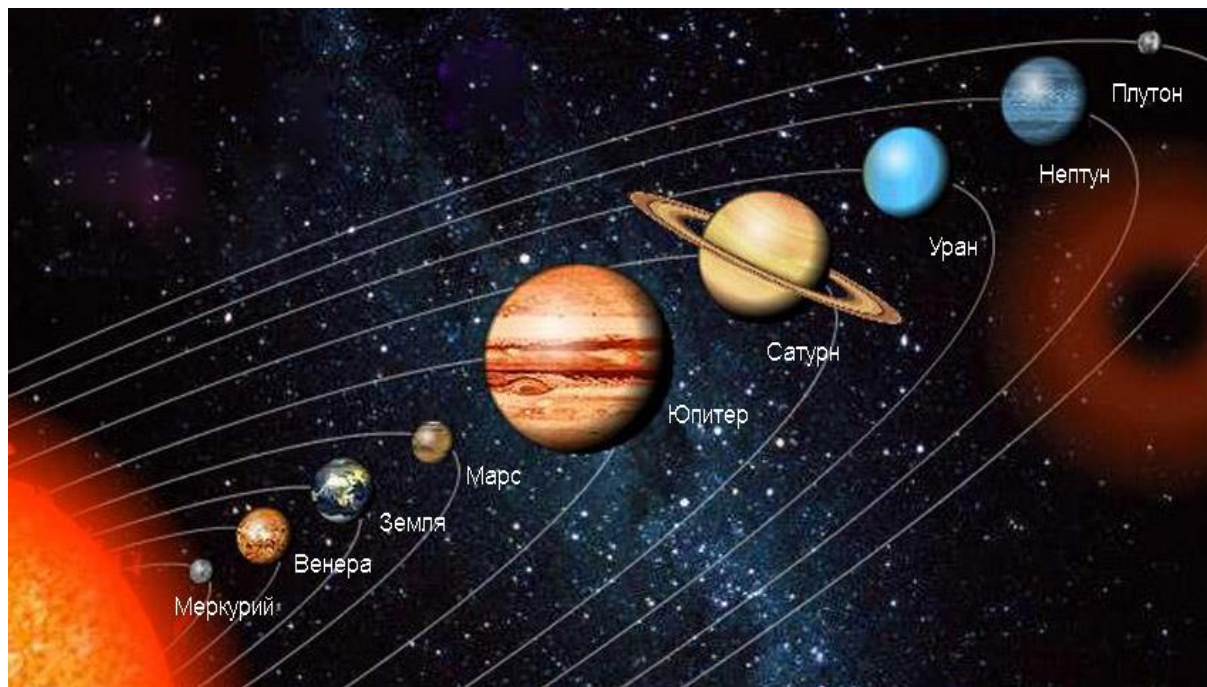
**Натурные** – это модели, где исследования проводят на реальном объекте или его уменьшенной копии с последующей обработкой результатов эксперимента на основе теории подобия.



**Информационные (абстрактные)** модели – это описание объекта исследований на каком-либо языке. Абстрактность модели проявляется в том, что её компонентами являются понятия, а не физические элементы (например, словесные описания, чертежи, схемы, графики, таблицы, алгоритмы или программы, математические описания). Другими словами, абстрактные модели – это модели, созданные в форме мысленных образов в голове исследователя, теоретика.

Среди информационных (абстрактных) моделей различают гносеологические, инфологические, кибернетические, сенсуальные (чувственные), концептуальные, математические.

**Гносеологические** модели направлены на изучение объективных законов природы (например, модели солнечной системы, биосферы, мирового океана, катастрофических явлений природы).



**Инфологическая (информационно-логическая)** модель – параметрическое представление изучаемого процесса с целью проведения автоматизированного исследования, выполненное с использованием специальных языковых средств, не зависящих от используемых в дальнейшем программных средств. Широко применяются при проектировании баз данных. Для описания инфологических моделей используются как языки аналитического типа (языки спецификаций), так и графические средства. Язык спецификаций – формальный язык, предназначенный для декларативного описания структуры, связей, свойств данных и способов их преобразований. В отличие от языков программирования, используемых при реализации компьютерных программ, языки спецификаций применяются для проведения системного анализа, разработки архитектуры создаваемых программных систем и формальной верификации программного обеспечения. Примеры языков спецификаций: UML, LOTOS, сеть Петри и др.



Верификация – это процесс определения, выполняют ли программные средства и их компоненты требования, предъявляемые к программной системе, другими словами, подтверждение соответствия конечного продукта предопределённым эталонным требованиям.

**Сенсуальная** модель – модель каких-то чувств, эмоций, либо модель, оказывающая воздействие на чувства человека, например, музыка, живопись, поэзия.



**Концептуальная** модель – это модель, выявляющая причинно-следственные связи, присущие исследуемому объекту и существенные в рамках определённого исследования. Один и тот же объект может представляться различными концептуальными моделями, которые строятся в зависимости от цели исследования. Так, одна концептуальная модель может отображать временные аспекты функционирования системы, иная – влияние отказов на работоспособность системы.

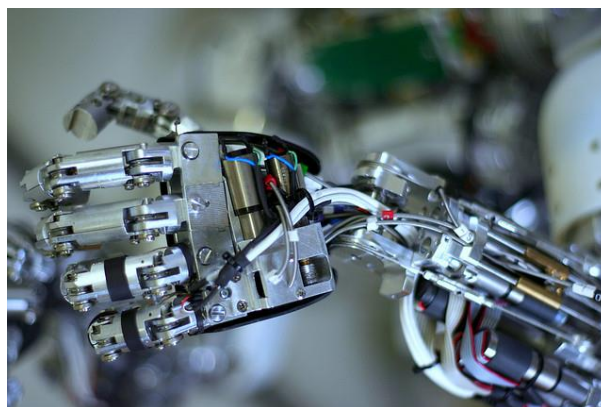


**Математическая** модель – абстрактная модель, представленная на языке математических отношений. Она имеет форму функциональных зависимостей между параметрами, учитываемыми соответствующей концептуальной моделью. Эти зависимости конкретизируют причинно-следственные связи, выявленные в концептуальной модели, и характеризуют их количественно.

$$\frac{\partial}{\partial a} \ln f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{(\xi_1 - a)}{\sigma^2} f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(\xi_1 - a)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot \frac{(\xi_1 - a)}{\sigma^2}$$

$$\int_{\mathbb{R}_n} T(x) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} f(x, \theta) dx = M\left(T(\xi) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\xi, \theta)\right) = \int_{\mathbb{R}_n} T(x) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(x, \theta)\right) \cdot f(x, \theta) dx = \int_{\mathbb{R}_n} T(x) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(x, \theta)\right) \cdot f(x, \theta) dx = \int_{\mathbb{R}_n} T(x) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(x, \theta)\right) \cdot f(x, \theta) dx$$

**Кибернетические** модели раскрывают внешние функциональные зависимости систем от среды, не затрагивая внутренних причинных связей. При таком моделировании в основном исследуется характеристика поведения сложной динамической системы в определенной среде. Моделирование в кибернетике обычно является вместе с тем и математическим моделированием, которое осуществляется с помощью аппарата математики и реализацией которого являются процедуры в современных вычислительных машинах и автоматах. Примеры кибернетических моделей: модели искусственного интеллекта, нейронные сети, роботы и т.д.



### Базовые модели системного анализа

К базовым моделям относятся модель "черного ящика", модель состава системы, модель структуры системы и модель типа "жизненный цикл системы".

Наиболее простой моделью является модель "**чёрного ящика**". "Черный ящик" – это система, в которой входные и выходные величины известны, а внутреннее устройство ее и процессы, происходящие в ней, не известны.

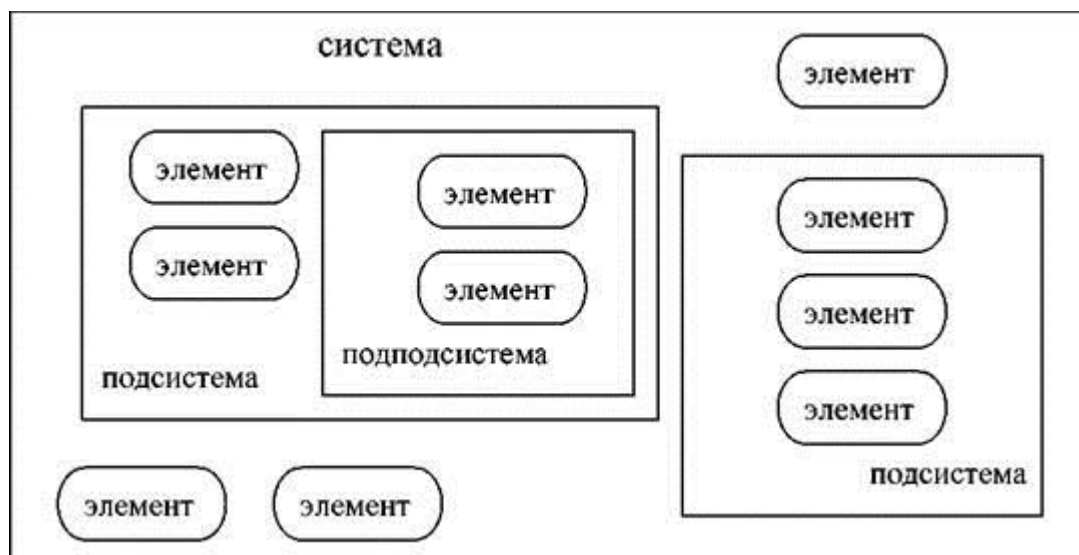
Исследование с помощью модели "черного ящика" заключается в том, что осуществляется предварительное наблюдение за взаимодействием системы с внешней средой и составляется список входных и выходных воздействий.

На следующем этапе производится воздействие на входы системы и регистрация ее выходов. В процессе изучения наблюдатель и «черный ящик» образуют систему с обратной связью, а результаты исследования – множество пар состояний входа и выхода, анализ которых позволяет установить между ними причинно-следственную связь.



Примерами могут служить изучение деятельности новых лекарственных средств или проверка на готовность к эксплуатации автоматической телефонной станции, которая проводится путем "прозванивания", а не непосредственно проверкой всех блоков, схем и т.д.

**Модель состава системы** описывает основные составные части системы, просматривает элементы системы как неделимые части и подсистемы, т.е. модель состава иллюстрирует иерархию составных частей системы, но не рассматривает связи между ними.

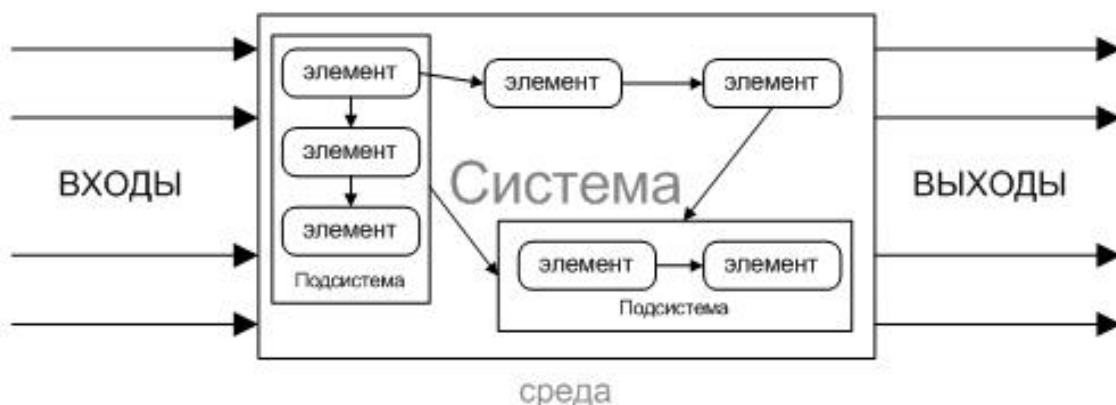


Сложность построения модели состава системы – в ее неоднозначности. Если дать разным экспертам задание определить состав одной и той же системы, то результаты их работы будут различаться, и иногда довольно значительно. Главная трудность в построении модели состава заключается в том, что разделение целостной системы на части является относительным, условным, зависящим от целей моделирования (это относится не только к границам между частями системы, но и к границам самой системы). Кроме того, относительным является и выбор уровня дробления, определение самой малой части – элемента. Для удобства обычно применяют иерархические модели состава системы, состоящие из нескольких уровней детализации.

Пример. Автомобиль на верхнем уровне состоит из корпуса, салона, движущей части. В зависимости от цели анализа к этому уровню также можно отнести пассажиров и груз. На уровне движущей части он состоит из двигателя, колёс, трансмиссии и т.д. На уровне колеса он состоит из ступицы, резиновой камеры, болтов крепления. Необходимость дальнейшего дробления и рассмотрения, например, из чего состоит болт в колесе, зависит от цели анализа автомобиля.



Для достижения многих практических целей достаточно модели черного ящика или модели состава. Однако, очевидно, есть вопросы, решить которые с помощью этих моделей нельзя. Например, чтобы получить велосипед, недостаточно иметь ящик со всеми отдельными его деталями. Необходимо еще правильно соединить все детали между собой, то есть установить между элементами определенные связи – отношения. Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется структурой системы. **Модель структуры системы** отображает связи между компонентами модели.

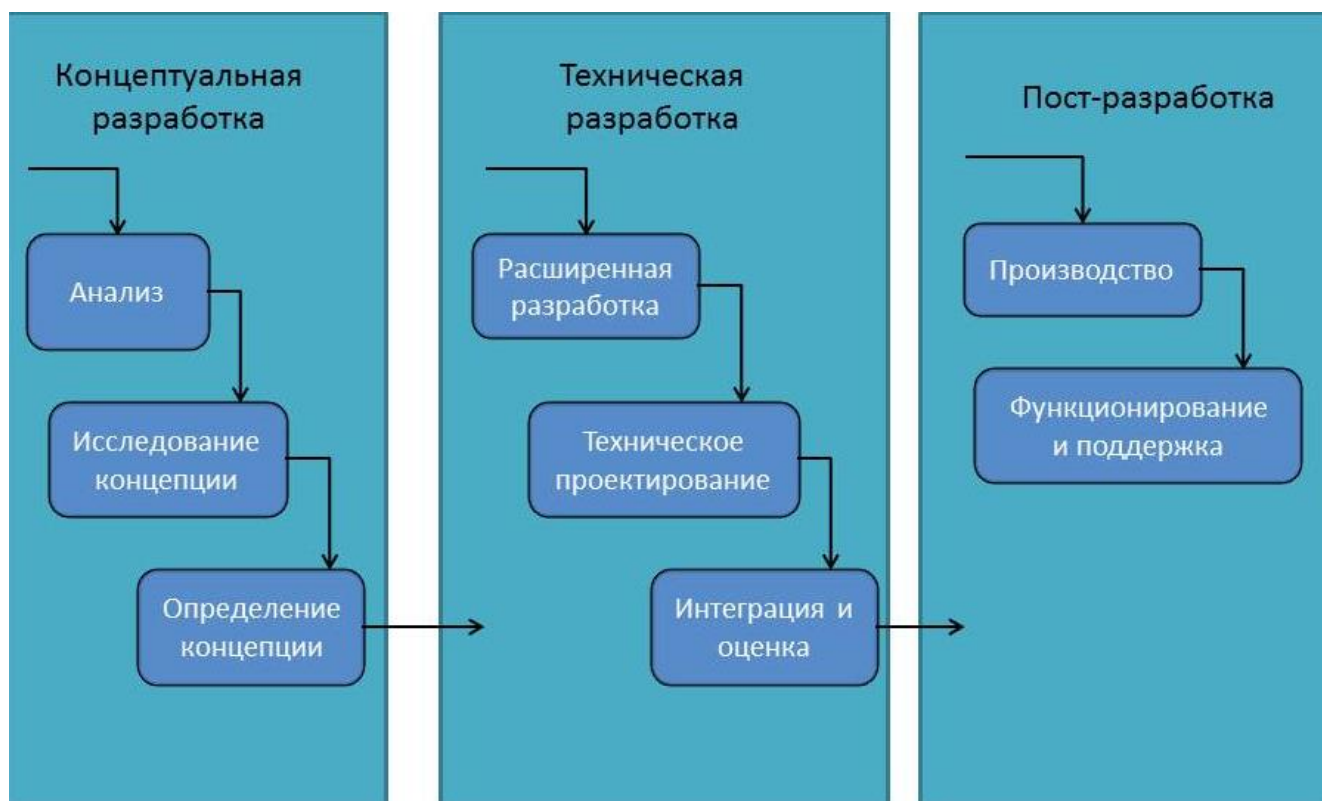


**Жизненный цикл системы** – это стадии процесса, охватывающие различные состояния системы, начиная с момента возникновения необходимости в такой системе и заканчивая её полным выводом из эксплуатации. Жизненный цикл – это не временной период существования, а процесс последовательного изменения состояния, обусловленный видом производимых воздействий.

Под термином "жизненный цикл системы" обычно понимают эволюцию новой системы в виде нескольких ступеней, включающих такие важные стадии, как концепция, разработка, производство, эксплуатация и окончательное выведение из эксплуатации.

Концепция – это система путей решения задачи, определяет стратегию действий.

Под моделью "жизненный цикл" понимается структура, определяющая последовательность выполнения и взаимосвязи процессов, действий и задач, выполняемых на протяжении жизненного цикла.



### Классификация моделей

Все вышеперечисленные модели могут подразделяться:

в зависимости от полноты описания системы – на полные, неполные, приближенные;

- по мере изменений во времени – на статические и динамические;
- по степени стабильности процессов – на детерминированные и стохастические.

**Полные модели** реализуют максимально возможное число свойств и элементов объекта. **Неполные** модели обладают только частью свойств оригинала. При **приближенном** моделировании учитываются только важнейшие аспекты си-

стемы.

**Статические** модели применяются для описания состояния системы в фиксированный момент времени, например, глобус.



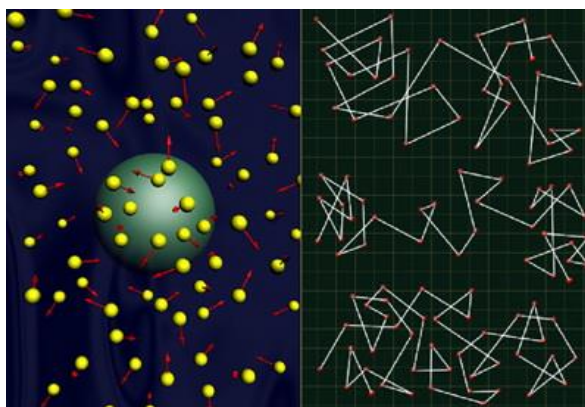
**Динамические** модели применяются для описания поведения систем во времени, например, звёздное небо в планетарии.



**Детерминированные** модели отражают процессы, для которых характерно отсутствие случайных воздействий, например, модель перемещения твердого тела.

$$S = v \cdot t$$

**Стохастические** учитывают случайные процессы и события, например, модель броуновского движения.



## Лекция 5

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

### Структурный системный анализ

Разработчики современных информационных систем постоянно сталкиваются с ростом их сложности. Это связано с повышением числа требований к системам, применением более сложных архитектурных решений и как следствие с увеличением объемов программного кода. В этих условиях разработка системы путем прямого перехода от требований к программированию приводит к огромному количеству ошибок, в результате чего такие проекты обычно остаются незавершенными. Сейчас уже достаточно ясно всем, что создание современных программных систем (ПС) невозможно без модельно-базируемого подхода.

Модели позволяют свести высокую сложность ПС до уровня, понимаемого человеком. Достигается это за счет иерархического принципа их построения и применения наглядной графической нотации.

**Графическая нотация** – это набор символов и правил их взаимодействия, используемых для визуального отображения модели процесса.

В конце 80-х годов большее распространение получил подход к моделированию программных систем, который называли структурным системным анализом (ССА).

**Структурный системный анализ** – это метод исследования системы, который начинается с наиболее общего ее описания с последующей детализацией представления отдельных аспектов ее поведения и функционирования. При этом общая модель системы строится в виде некоторой иерархической структуры, которая отражает различные уровни абстракции с ограниченным числом компонентов на каждом из уровней. Одним из главных принципов структурного системного анализа является выделение на каждом из уровней абстракции только наиболее существенных компонентов или элементов системы.



Иерархия уровней описания системы дает возможность резко сократить количество элементов, которые должен анализировать человек. Каждая модель может быть выражена с разными уровнями детализации. При этом на верхних уровнях иерархии опускаются детали реализации, которые проявляются на более низких уровнях. Руководители проекта могут работать с верхним уровнем модели, где отражаются только основные классы, объекты и связи. Другие разработчики или эксперты имеют возможность опускаться до более мелких, терминальных объектов, их свойств, связей, методов.

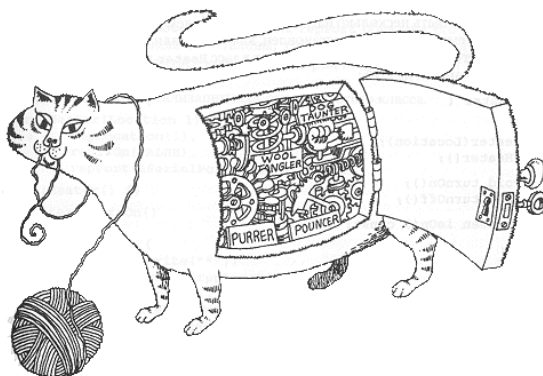
Таким образом, происходит разделение труда: моделирование ПС выполняется обычно наиболее квалифицированными разработчиками, способными принять и обосновать кардинальные решения, программную реализацию могут осуществлять программисты среднего уровня, воплощающие принятые и отраженные в модели системные решения в программных кодах.

### **Объектно-ориентированный анализ и проектирование**

Объектно-ориентированный анализ и проектирование (ООАП, Object-Oriented Analysis/Design) – технология разработки программных систем, в основу которых положена объектно-ориентированная методология представления предметной области в виде объектов, являющихся экземплярами соответствующих классов. Методология ООАП тесно связана с концепцией автоматизированной разработки программного обеспечения (Computer Aided Software Engineering, CASE).

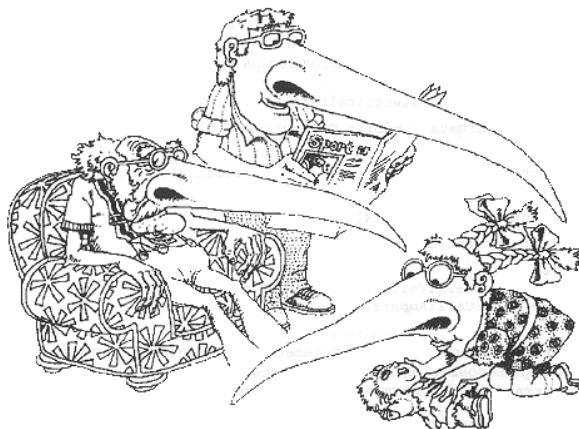
В основе объектно-ориентированного подхода лежат понятия "объект" и "класс". Связь между этими понятиями аналогична связи понятий "переменная" и "тип" в языках программирования, то есть, каждый объект является представителем некоторого класса однотипных объектов. Класс определяет общие свойства для всех его объектов. К ним относятся состав и структура данных, описываемые его атрибутами, а также совокупность методов (операций), определяющих взаимодействие объектов этого класса с внешней средой. Таким образом, ОО подход, в отличие от структурного, основан не на разделении данных и методов их обработки, а на их тесной взаимосвязи. Классы и объекты обладают рядом свойств, из которых наиболее значимыми являются инкапсуляция и наследование.

**Инкапсуляция** – скрытие объектом внутренней информации от внешнего мира. Можно запретить доступ к атрибутам и отдельным методам объекта из внешнего по отношению к нему мира.



Каждый класс предоставляет набор услуг, определяемых открытыми методами, которые составляют его интерфейсную часть. В то же время инкапсуляция позволяет изменить реализацию любого класса без опасения, что это вызовет нежелательные побочные эффекты в ПС. Тем самым уменьшается количество ошибок, упрощается процесс внесения изменений.

**Наследование** – возможность создавать из классов новые классы по принципу "от общего к частному". При этом класс-наследник сохраняет все свойства класса-родителя, добавляя к ним новые, отражающие его индивидуальность.



Наследование позволяет создавать иерархии классов и является эффективным средством внесения изменений и дополнений в ПС.

ОО подход к проектированию и разработке основан на представлении программной системы в виде совокупности классов и объектов. При этом иерархический характер ПС отражается в виде иерархии классов, а ее функционирование рассматривается как взаимодействие объектов. Такой подход позволяет описать систему наиболее естественным образом.

Успех ОО методологии определяется ее преимуществами в сравнении с традиционной структурной, среди которых особо выделяются следующие.

**1. Повторное использование.** Разрабатываемые в рамках проекта классы обычно отражают типовые проектные решения, поэтому их использование возможно и в других проектах. ОО методология позволяет накапливать опыт проектных решений в виде библиотек классов и использовать его на основе механизма наследования. При наличии развитых библиотек классов проектирование и программирование новых приложений будет в основном сводиться к сборке системы из готовых фрагментов.

**2. Упрощение внесения изменений.** При ОО подходе изменения в проекте имеют локальный характер. В тех случаях, когда изменение носит характер уточнения, детализации, вводятся новые классы, наследующие поведение ранее созданных. Наследование позволяет не только не пересматривать ранее созданные объекты и классы, но даже обойтись без их повторной трансляции. В более сложных случаях, когда меняются методы, определяющие интерфейс классов, изменения в проекте будут более значительными, но и тогда они будут локализованы, затрагивая лишь классы, использующие эти методы.

**3. Распараллеливание работ.** Программирование и тестирование отдельных компонент системы возможно до завершения проектирования целевой программной системы, что экономит время разработки.

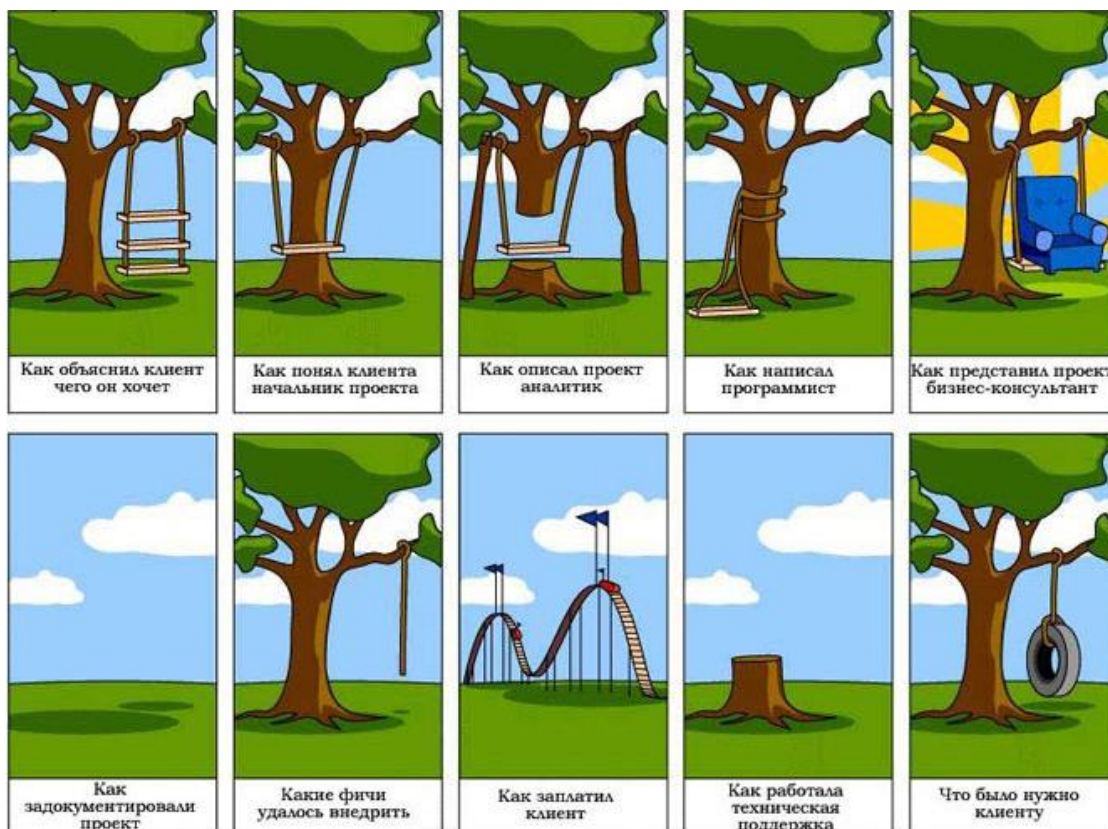
### Объектно-ориентированное моделирование на языке UML

**Язык UML** – это унифицированный графический язык моделирования, предназначенный для спецификации, визуализации, проектирования и документирования программных систем.



**Спецификация** программного обеспечения – это законченное описание поведения программы, которую требуется разработать, т.е. описывает все варианты взаимодействия между пользователями и программным обеспечением.

В процессе разработки приложений участвуют, по меньшей мере, два действующих лица: заказчик и разработчик. Из-за того, что действующих лиц двое, очень многое зависит от степени их взаимопонимания. Заказчик может не осознавать своих объективных потребностей или неверно их интерпретировать. Разработчик может не разбираться в предметной области заказчика и интерпретировать формулировки спецификаций совершенно превратным образом. Основное назначение UML – предоставить формальное, удобное и универсальное средство, позволяющее снизить риск расхождений в толковании спецификаций.



**Визуализация** – общее название приёмов представления информации в виде, удобном для зрительного наблюдения и анализа.

Особенности человеческого восприятия таковы, что текст с картинками воспринимается легче, чем голый текст. Модели UML допускают представление в форме картинок, причем эти картинки наглядны, интуитивно понятны, практически однозначно интерпретируются и легко составляются. Таким образом, второе по важности назначение UML состоит в том, чтобы служить адекватным средством коммуникации между людьми.



**Проектирование** программного обеспечения – это процесс создания проекта программного обеспечения.

UML позволяет создавать модели, для которых возможна автоматическая генерация программного кода приложений. Более того, природа моделей UML такова, что возможен и обратный процесс: автоматическое построение модели по коду готового приложения.

**Документирование** – это процесс создания документации. Программный документ – это документ, содержащий данные, необходимые для разработки, производства, эксплуатации или сопровождения программного средства.

История развития языка UML берет начало с октября 1994 года, когда Гради Буч и Джеймс Рамбо из Rational Software Corporation (США) начали работу по унификации методов объектно-ориентированного моделирования. В 1995 г. к ним присоединился Ивар Якобсон из компании Objectory AB (Швеция). В январе 1997 года был опубликован документ с описанием языка UML 1.0.



**Гради Буч**



**Джеймс Рамбо**



**Ивар Якобсон**

Как и любой язык UML состоит из словаря и правил комбинирования слов для получения осмысленных конструкций. Так, в частности, устроены языки программирования, таковым является и UML. Отличительной его особенностью является то, что словарь языка образуют графические элементы. Каждому графическому символу соответствует конкретная семантика, поэтому модель, созданная одним разработчиком, может однозначно быть понята другим, а также программным средством, интерпретирующим UML. Отсюда, в частности, следует, что модель ПС, представленная на UML, может автоматически быть переведена на ОО язык программирования (такой, как Java, C++, VisualBasic), то есть, при наличии хорошего инструментального средства визуального моделирования, поддерживающего UML, построив модель, мы получим и заготовку программного кода, соответствующего этой модели.

### **Модели UML**

**Модель UML** – это семантически законченная абстракция системы.

Модели UML используются на всех этапах жизненного цикла ПС, начиная с бизнес-анализа и заканчивая сопровождением системы. Разные организации могут применять UML по своему усмотрению в зависимости от своих проблемных областей и используемых технологий.

Модель представляется в виде сущностей и отношений между ними, которые показываются в виде специальных графических конструкций, получивших название диаграмм.

**Сущности** – это абстракции, являющиеся основными элементами моделей. Имеется четыре типа сущностей

- структурные;
- поведенческие;
- группирующие;
- аннотационные.

**Структурные сущности** – это имена существительные в моделях на языке UML. Как правило, они представляют собой статические части модели, соответствующие концептуальным или физическим элементам системы. Существует несколько разновидностей структурных сущностей.

**Класс (class)** – это описание совокупности объектов с общими атрибутами, определяющими состояние, и операциями, определяющими поведение. Графически класс изображается в виде прямоугольника, в котором обычно записаны его имя, атрибуты и операции.



**Интерфейс (interface)** – это совокупность операций, которые определяют определенный сервис (набор услуг), предоставляемый классом или компонентом. На диаграммах интерфейс изображается в виде круга, под которым указывается его имя, и, как правило, присоединяется к классу или к компоненту, который реализует данный интерфейс.



**Кооперация (collaboration)** определяет взаимодействие, она представляет собой совокупность объектов, которые взаимодействуют для достижения некоторой цели. Графически кооперация изображается в виде эллипса, который ограничивается пунктиром.

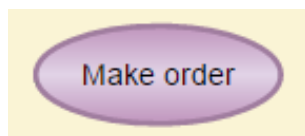


**Действующее лицо или актер (actor)** – сущность, находящаяся вне моделируемой системы и непосредственно взаимодействующая с ней.

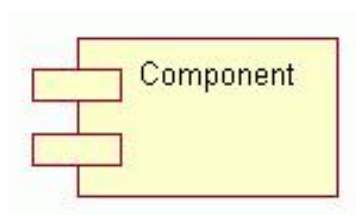


**Прецедент или вариант использования (use case)** – это описание последовательности действий, которые выполняются системой и имеют значение для

конкретного действующего лица. Графически прецедент изображается в виде ограниченного непрерывной линией эллипса.



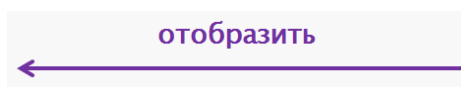
**Компонент** (component) – это физически существующая часть системы, которая обеспечивает реализацию классов и отношений, а также функционального поведения моделируемой программной системы. Компонентом может быть исходный код или командные файлы и др. Графически компонент изображается в виде прямоугольника с вкладками.



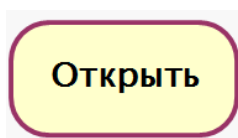
Существуют и другие разновидности структурных сущностей

Поведенческие сущности (behavioral things) являются динамическими составляющими модели UML. Это глаголы языка, они описывают поведение модели во времени и в пространстве. Существует всего два основных типа поведенческих сущностей.

**Взаимодействие** (interaction) – это набор сообщений, которыми обмениваются указанные объекты для достижения определенной цели. С помощью взаимодействия можно описать как отдельную операцию, так и поведение совокупности объектов. Взаимодействие описывается в контексте кооперации и изображается направленной линией, над которой пишется имя соответствующей операции.

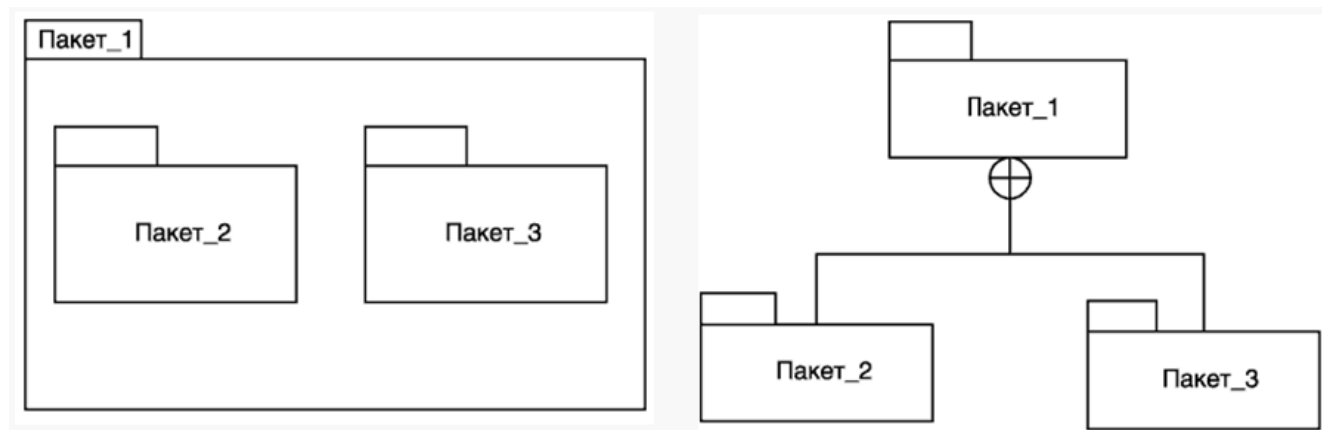


**Автомат** (state machine) – это алгоритм поведения, определяющий последовательность состояний, через которые объект или взаимодействие проходят на протяжении своего жизненного цикла. Изображается автомат как прямоугольник с закругленными углами.

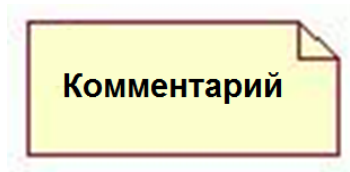


**Группирующие сущности** — это организационные составляющие моделей UML. К ним относятся пакеты.

**Пакет** – средство иерархической организации элементов модели в языке UML. Любая модель состоит из набора пакетов, которые могут содержать классы, варианты использования и прочие сущности и диаграммы. Пакет может включать другие пакеты, что позволяет создавать иерархии. На диаграммах пакеты изображаются в виде папок с закладками. На диаграммах пакеты изображаются в виде папок с закладками.



**Аннотационные сущности** — это пояснительные составляющие моделей UML, к которым относятся **примечания** (note). Они содержат текст комментария, изображаются в виде прямоугольника с загнутым уголком страницы.



**Отношения** показывают различные связи между сущностями. В UML определены следующие типы отношений:

**Зависимость** показывает такую связь между двумя сущностями, когда изменение одной из них – независимой – может повлиять на семантику другой – зависимой. Зависимость изображается пунктирной стрелкой, направленной от зависимой сущности к независимой.



**Ассоциация** – это структурное отношение, показывающее, что объекты одной сущности связаны с объектами другой. Графически ассоциация показывается в виде линии, соединяющей связываемые сущности. Ассоциации служат для осуществления навигации между объектами. Например, ассоциация между классами "Заказ" и "Товар" может быть использована для нахождения всех товаров, указанных в конкретном заказе – с одной стороны, или для нахождения всех заказов в которых есть данный товар, – с другой. Если требуется навигация только в одном направлении, оно показывается стрелкой на конце ассоциации.

Линия ассоциации может иметь дополнительные условные обозначения, такие, например, как имя и кратность. Кратность ассоциации указывается рядом с обозначением компонента диаграммы, который является участником данной ассоциации. Кратность характеризует общее количество конкретных экземпляров данного компонента, которые могут выступать в качестве элементов данной ассоциации.



Наиболее распространенными являются следующие формы записи кратности ассоциации:

1. Целое неотрицательное число (включая цифру 0). Предназначено для указания кратности, которая является строго фиксированной для элемента соответствующей ассоциации.

2. Два целых неотрицательных числа, разделенные двумя точками и записанные в виде: "первое число .. второе число", например, 1..5. Очевидно, что первое число должно быть строго меньше второго числа в арифметическом смысле, при этом первое число может быть равно 0.

3. Два символа, разделенные двумя точками. При этом первый из них является целым неотрицательным числом или 0, а второй – символом "\*" или "n". Здесь символ "\*" или "n" обозначает произвольное конечное целое неотрицательное число, значение которого неизвестно на момент задания соответствующего отношения ассоциации.

4. Единственный символ "\*" или "n". Является сокращением записи интервала формы записи 3.

Если кратность отношения ассоциации не указана, то по умолчанию принимается ее значение, равное 1

**Обобщение** – это отношение между сущностью-родителем и сущностью-потомком. По существу, это отношение отражает свойство наследования для классов и объектов. Обобщение показывается в виде линии, заканчивающейся треугольником, направленным к родительской сущности. Потомок наследует структуру (атрибуты) и поведение (методы) родителя, но в то же время он может иметь новые элементы структуры и новые методы. UML допускает множественное наследование, когда сущность связана более чем с одной родительской сущностью.



**Реализация** – это семантическое отношение, встречающееся в двух случаях: во-первых, между интерфейсами и реализующими их классами или компонен-

тами, а во-вторых, между прецедентами и реализующими их кооперациями. Отношение реализации изображается в виде пунктирной линии с незакрашенной стрелкой.



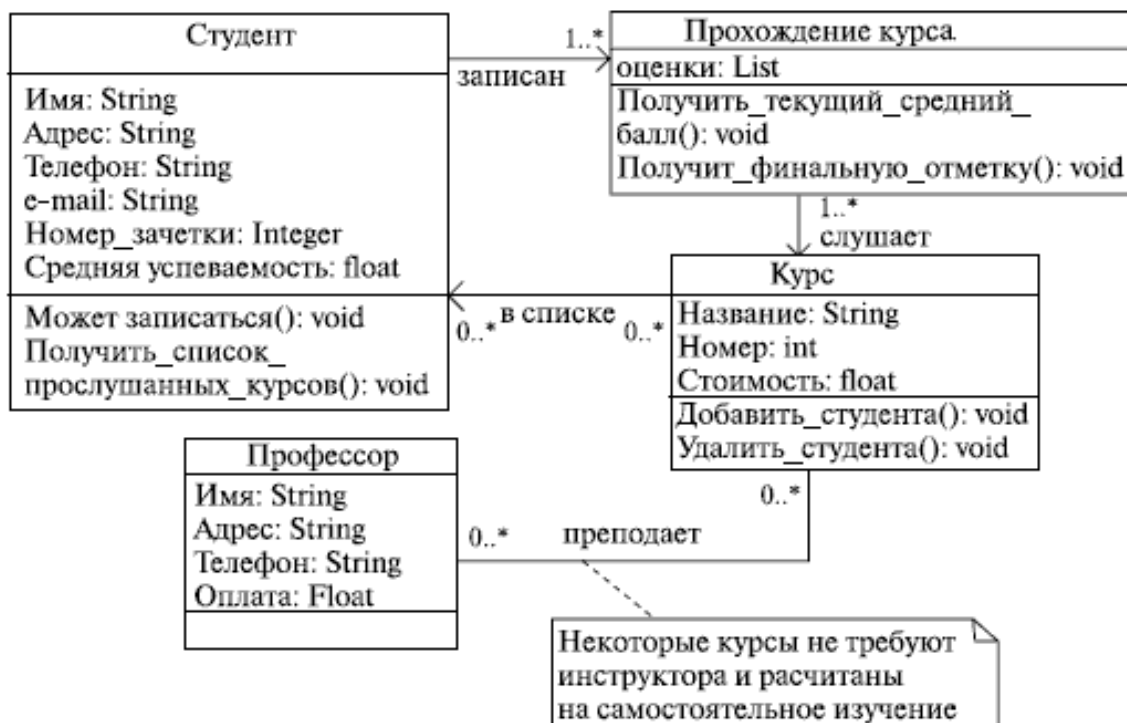
## Диаграммы UML

В рамках языка UML все представления о модели сложной системы фиксируются в виде специальных графических конструкций, получивших название диаграмм. Наиболее часто используются следующие диаграммы:

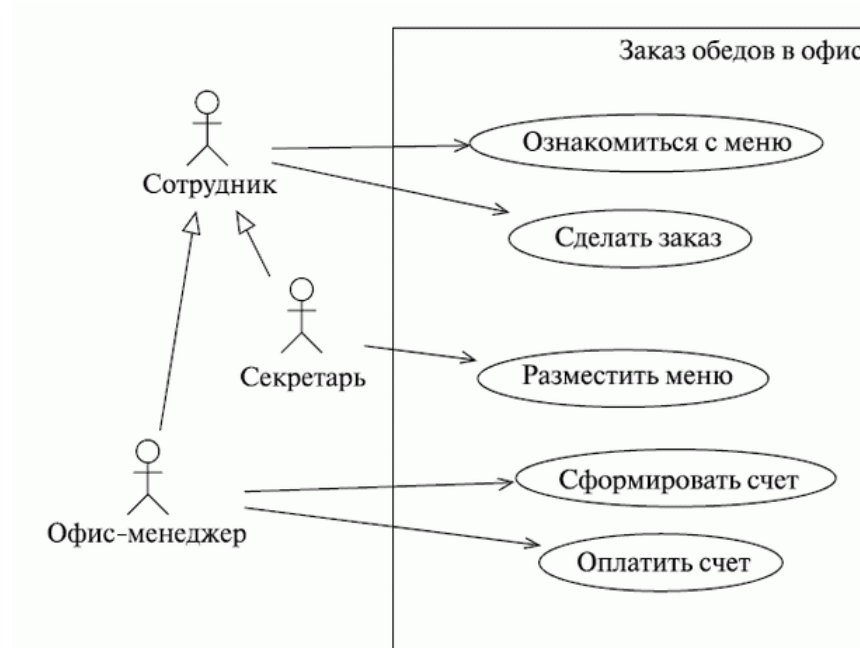
- Диаграмма вариантов использования или прецедентов (use case diagram)
- Диаграмма классов (class diagram)
- Диаграмма состояний (statechart diagram)
- Диаграмма деятельности (activity diagram)
- Диаграмма последовательности (sequence diagram)
- Диаграмма кооперации (collaboration diagram)
- Диаграмма компонентов (component diagram)
- Диаграмма развертывания (deployment diagram)

Каждая из этих диаграмм детализирует и конкретизирует различные представления о модели сложной системы в терминах языка UML.

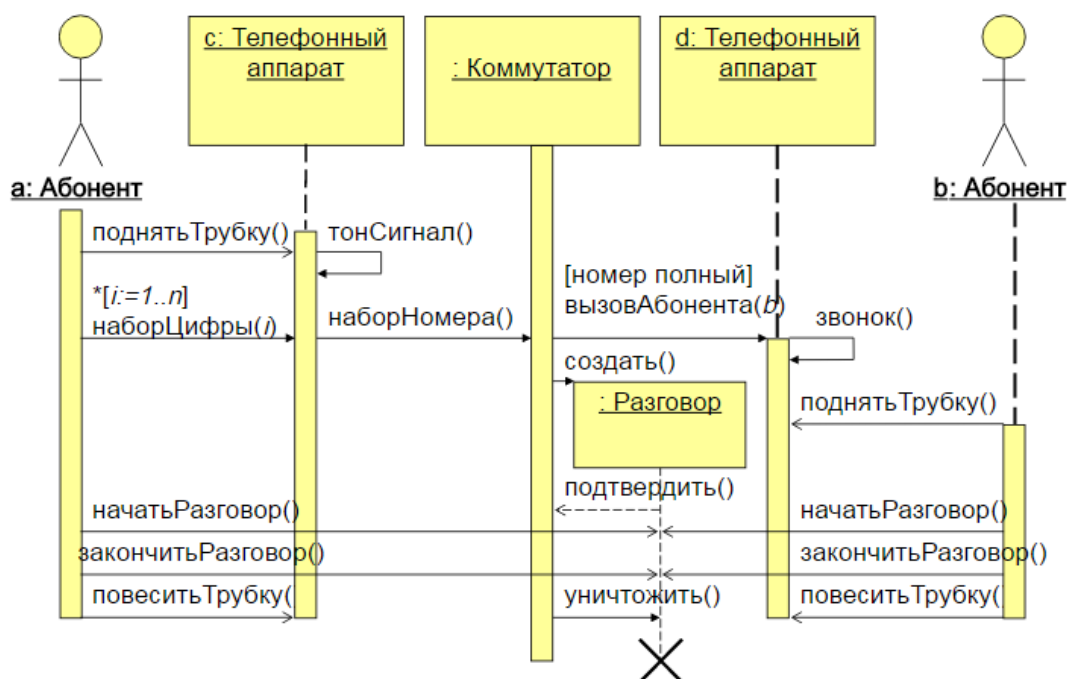
На **диаграмме классов** показывают классы, интерфейсы, объекты и кооперации, а также их отношения. При моделировании объектно-ориентированных систем этот тип диаграмм используют чаще всего.



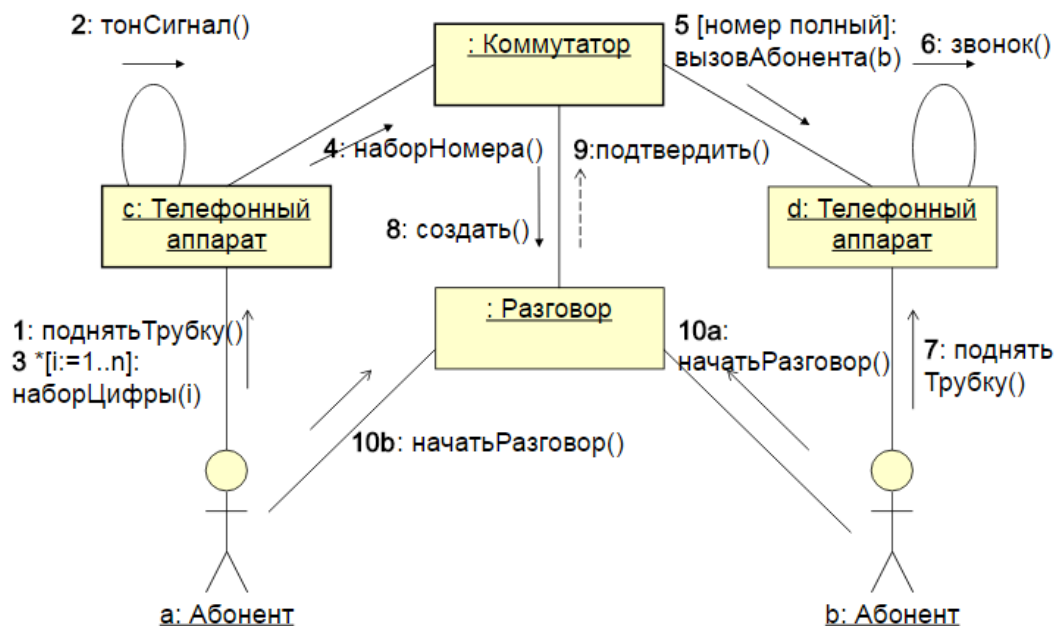
На **диаграмме прецедентов** представлены прецеденты и актеры (частный случай классов), а также отношения между ними. Они особенно важны при организации и моделировании поведения системы.



Диаграммы последовательностей и кооперации являются частными случаями диаграмм взаимодействия. На диаграммах **взаимодействия** представлены связи между объектами и сообщения, которыми объекты могут обмениваться. При этом диаграммы **последовательности** отражают временную упорядоченность сообщений,



а диаграммы **кооперации** – структурную организацию обменивающихся сообщениями объектами.



На диаграммах **состояний** представлен автомат, включающий в себя состояния, переходы, события и виды действий. Диаграммы состояний особенно важны при моделировании поведения интерфейса, класса или кооперации. Они акцентируют внимание на поведении объекта, зависящем от последовательности событий.

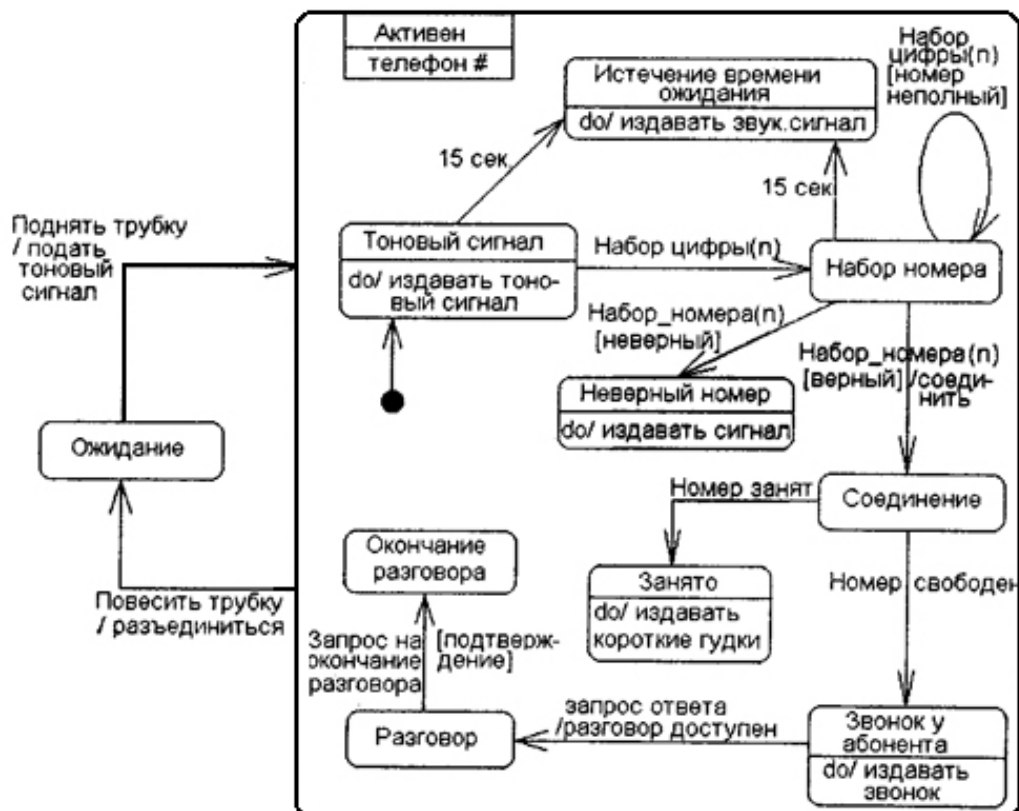


Диаграмма **деятельности** – это частный случай диаграммы состояний; на ней представлены переходы потока управления от одной деятельности к другой внутри системы. Диаграммы деятельности наиболее важны при моделировании функционирования системы и отражают поток управления между объектами.

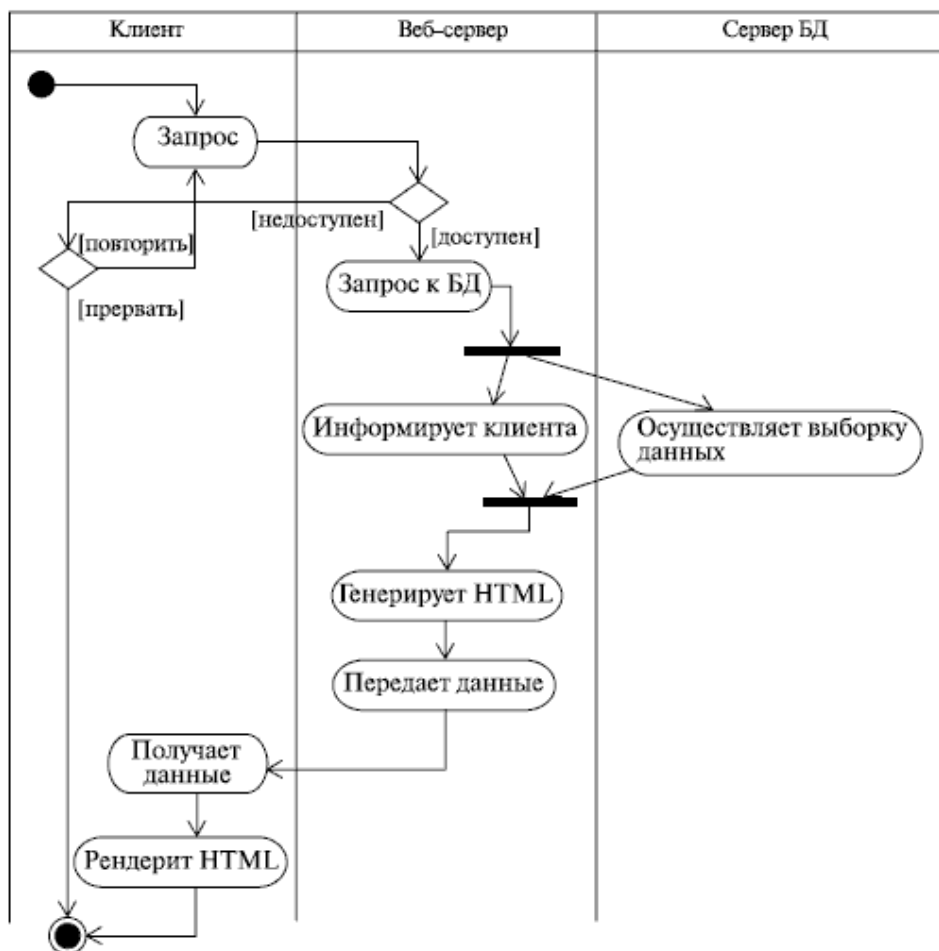
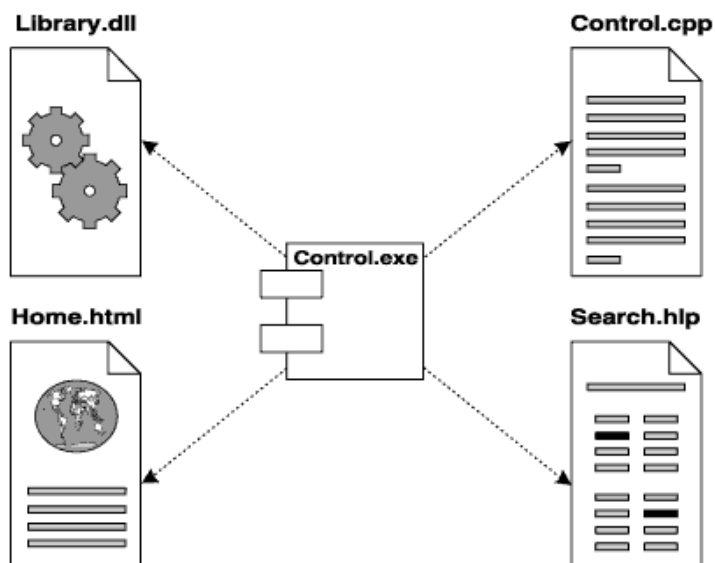
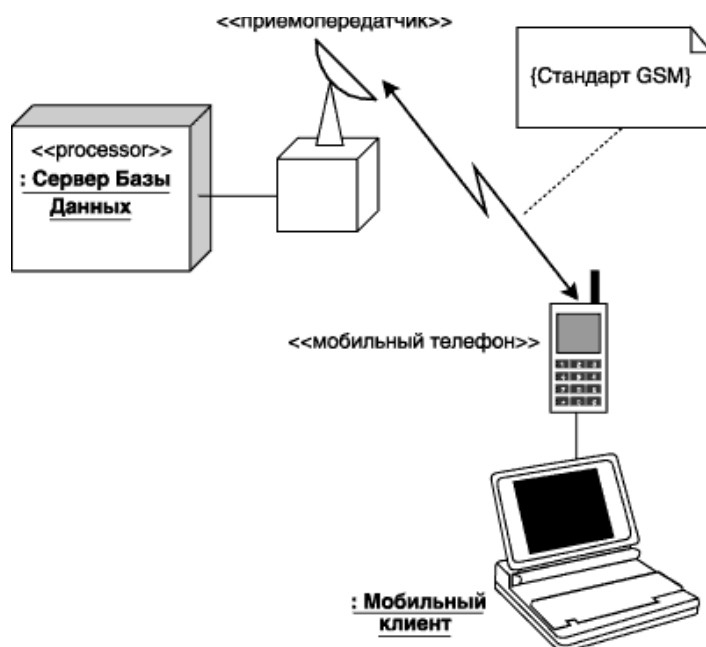


Диаграмма **компонентов** позволяет определить архитектуру разрабатываемой системы, установив зависимости между программными компонентами.



На диаграмме **развертывания** применяется для представления общей конфигурации и топологии распределенной программной системы и содержит распределение компонентов по отдельным узлам системы. Кроме того, диаграмма развертывания показывает наличие физических соединений - маршрутов передачи информации между аппаратными устройствами, задействованными в реализации системы.



## Лекция 6

### МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

#### Основные понятия

Бизнес-процесс (БП) – это совокупность взаимосвязанных мероприятий или задач, направленных на создание определённого продукта или услуги для потребителей.

Понятие бизнес-процесс лежит в основе процессного подхода к анализу и синтезу деятельности организации. Процессный подход позволяет рассматривать деятельность организации как связанную систему бизнес-процессов, каждый из которых протекает во взаимосвязи с другими бизнес-процессами или внешней средой.

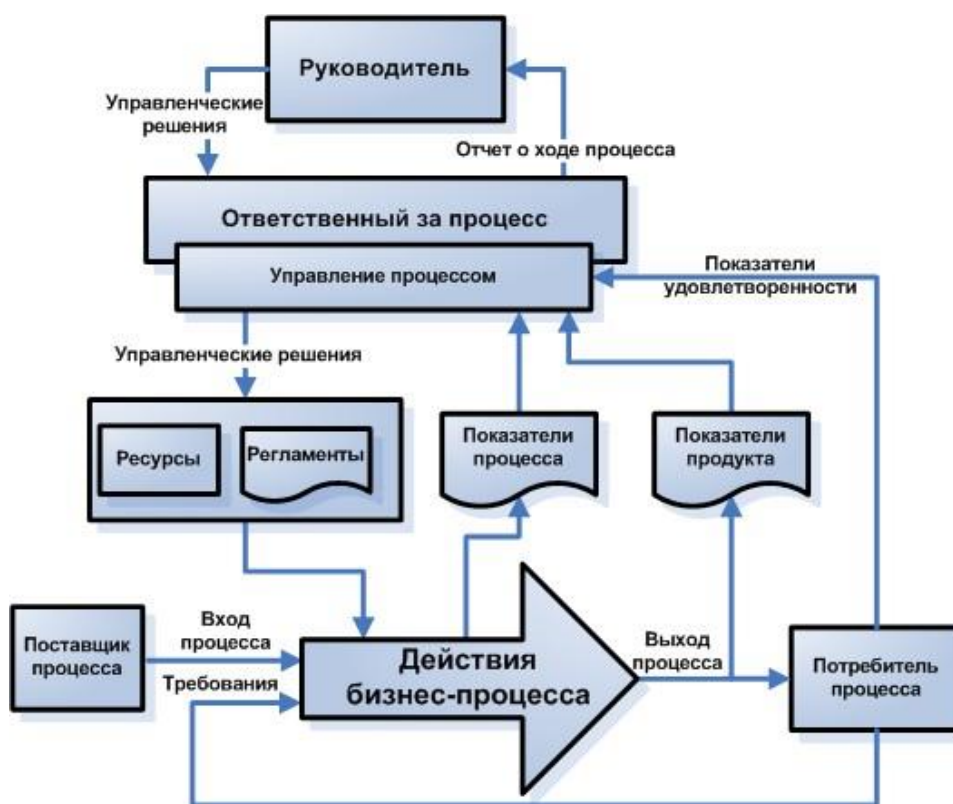
**Моделью бизнес-процесса** называется его формализованное (графическое, табличное, текстовое, символьное) описание, отражающее реально существующую или предполагаемую деятельность.

Базовой целью моделирования бизнес-процессов является описание реального хода бизнес-процессов компании.

Описать бизнес-процесс означает:

- 1) определить владельца бизнес-процесса;

- 2) определить границы бизнес-процесса (границы ответственности и полномочий владельца процесса по управлению процессом);
- 3) определить клиентов и выходы бизнес-процесса;
- 4) определить поставщиков и входы бизнес-процесса;
- 5) определить ресурсы, необходимые для выполнения бизнес-процесса (находятся в распоряжении владельца процесса);
- 6) описать технологию выполнения бизнес-процесса (например, с использованием графических схем в выбранных нотациях);
- 7) разработать показатели, по которым оценивается бизнес-процесс, его результаты и удовлетворенность клиентов бизнес-процесса;
- 8) описать работу владельца по анализу и улучшению бизнес-процесса, а так же его отчетность перед вышестоящим руководителем.



**Владелец БП** – должностное лицо, которое имеет в своем распоряжении персонал, инфраструктуру, программное и аппаратное обеспечение, информацию о БП, управляет ходом БП, несет ответственность за результаты и эффективность БП.

**Вход БП** – продукт, который в ходе выполнения процесса преобразуется в выход. Входы процесса поступают в процесс извне. Например: сырье, материалы, полуфабрикаты, документация, информация, персонал, услуги и т.д.

**Выход БП** – результат (продукт, услуга) выполнения БП. Например: готовая продукция, документация, информация, персонал, услуги и т.д.

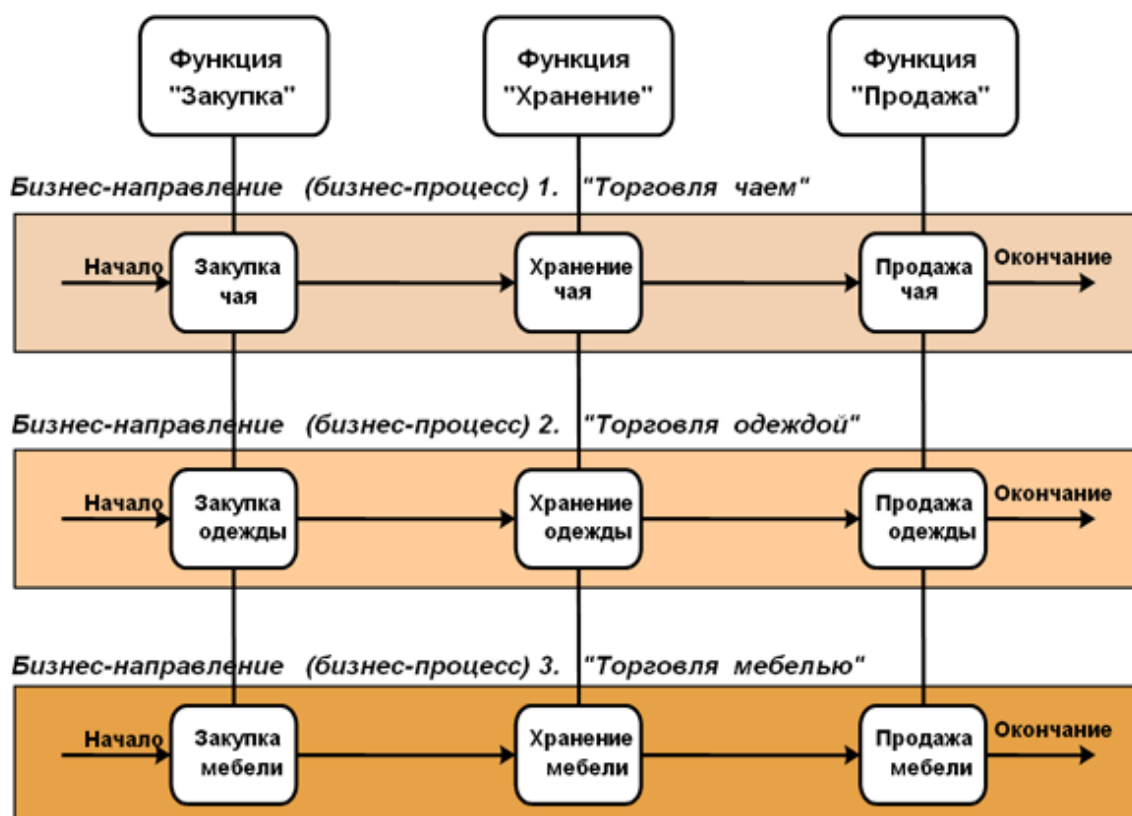
**Ресурс БП** – материальный или информационный объект, постоянно используемый для выполнения процесса, но не являющийся входом процесса. Ресурсы процесса находятся под управлением владельца процесса. Например: ин-

формация, персонал, оборудование, программное обеспечение, инфраструктура, среда, транспорт, связь и т. д.

Важно обеспечить прозрачность хода бизнес-процессов потому, что только в этом случае владелец бизнес-процесса, бизнес-аналитик, руководство и другие заинтересованные стороны будут иметь ясное представление о том, как организована работа. Понимание хода существующих бизнес-процессов дает возможность судить об их эффективности и качестве и необходимо для разработки поддерживающей бизнес ИТ-инфраструктуры. Успешная разработка прикладных систем, обеспечивающих поддержку выполнения бизнес-процессов от начала до конца, возможна лишь тогда, когда сами процессы детально ясны.

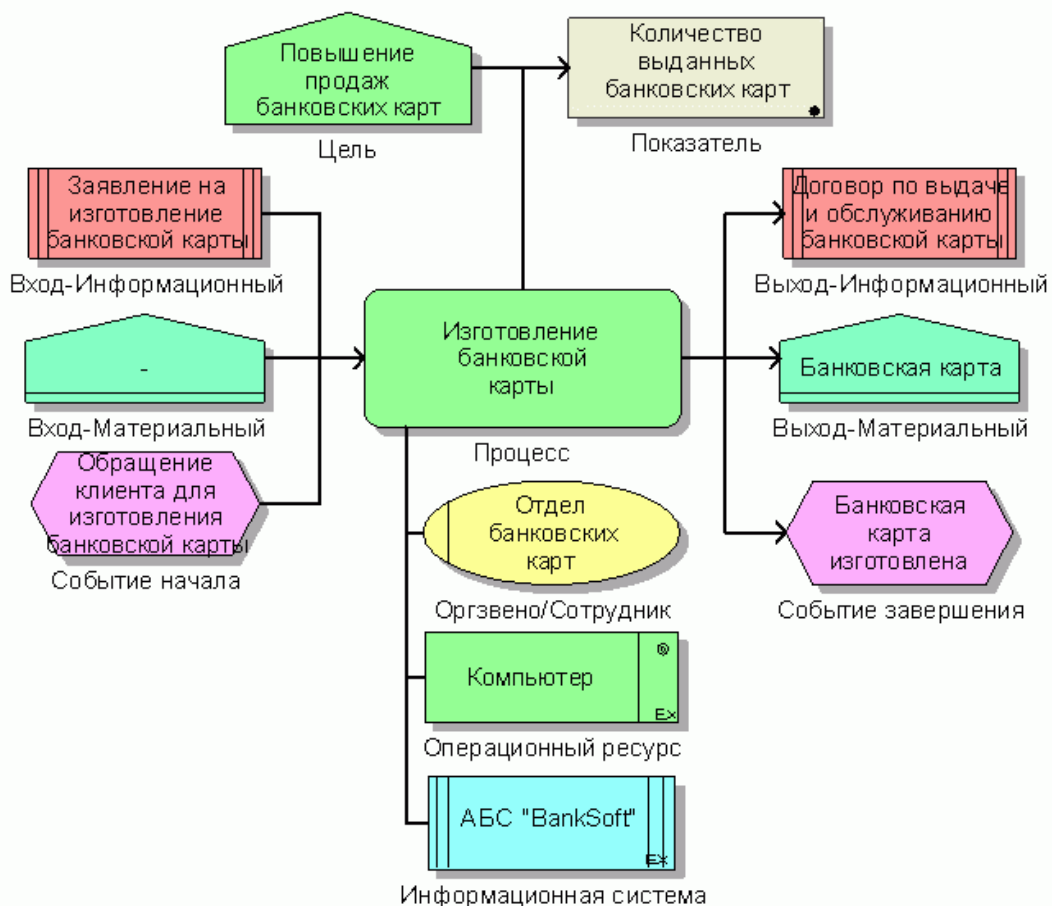
Для моделирования бизнес-процессов можно использовать различные методы. Методология, моделирования включает в себя процедуру моделирования и применяемую нотацию (язык). Язык моделирования имеет свой синтаксис (условные обозначения различных элементов и правила их сочетания) и семантику (правила толкования моделей и их элементов).

В теории и на практике существуют различные подходы к построению и отображению моделей бизнес-процессов, основными из которых являются **функциональный** и **объектно-ориентированный**. В функциональном подходе главным структурообразующим элементом является бизнес-функция (действие, операция), а система представляется в виде иерархии взаимосвязанных функций. При объектно-ориентированном подходе система разбивается на набор объектов, соответствующих объектам реального мира и взаимодействующих между собой посредством посылки сообщений.



Бизнес-функция представляет собой специфический тип работы (операций, действий), выполняемой над продуктами или услугами по мере их продвижения в бизнес-процессе. Функциональный подход в моделировании бизнес-процессов сводится к построению схемы бизнес-процесса в виде последовательности бизнес-функций, с которыми связаны материальные и информационные объекты, используемые ресурсы, организационные единицы и т. п. Преимуществом функционального подхода является наглядность последовательности и логики операций в бизнес-процессах компании, а недостатком – субъективность в детализации операций.

Объектно-ориентированный подход предполагает вначале выделение объектов, а затем определение тех действий, в которых они участвуют. В роли объектов при моделировании бизнес-процессов компании могут выступать конкретные предметы или реальные сущности, например клиент, заказ, услуга и т. п. Каждый объект характеризуется набором атрибутов, значения которых определяют его состояние, а также набором операций для проверки и изменения этого состояния. При этом различают пассивные объекты (материалы, документы, оборудование), над которыми выполняются действия, и активные объекты (организационные единицы, конкретные исполнители, программное обеспечение), которые осуществляют действия. Такой подход позволяет более объективно выделить операции над объектами и решить задачу о целесообразности использования этих объектов. Недостаток объектно-ориентированного подхода состоит в меньшей наглядности конкретных бизнес-процессов.



Важным понятием любого метода моделирования бизнес-процессов являются **связи** (как правило, в графических нотациях их изображают в виде стрелок). Связи служат для описания взаимоотношений объектов и/или бизнес-функций друг с другом. К числу таких взаимоотношений могут относиться: последовательность выполнения во времени, связь с помощью потока информации, использование другим объектом и т.д.

### **Классификация моделей бизнес-процессов**

Модели бизнес-процессов применяются предприятиями для различных целей, что определяет тип разрабатываемой модели.

**Графические модели** бизнес-процесса служат для обучения новых сотрудников их должностным обязанностям, согласования действий между структурными единицами компании, подбора или разработки компонентов информационной системы и т. д. Используются для оптимизации и совершенствования деятельности компании путем устранения узких мест, дублирования функций и проч.

**Имитационные модели** бизнес-процессов позволяют оценить их эффективность и посмотреть, как будет выполняться процесс с входными данными, не встречавшимися до сих пор в реальной работе предприятия.

**Исполняемые модели** бизнес-процессов – это специальное программное обеспечение для автоматизации процесса.

**Функциональные модели** бизнес-процессов – описывают совокупность выполняемых системой функций и их входы и выходы.

**Поведенческие модели** бизнес-процессов – показывают, когда и/или при каких условиях выполняются бизнес-функции, с помощью таких категорий, как состояние системы, событие, переход из одного состояния в другое, условия перехода, последовательность событий.

**Структурные модели** бизнес-процессов – характеризуют морфологию системы, т.е. состав подсистем и их взаимосвязи.

**Информационные модели** бизнес-процессов – отражают структуры данных, их состав и взаимосвязи.

Поскольку модели бизнес-процессов предназначены для широкого круга пользователей (бизнес-аналитиков, рядовых сотрудников и руководства компании), а их построением часто занимаются неспециалисты в области информационных технологий, наиболее широко используются модели графического типа, в которых в соответствии с определенной методологией бизнес-процесс представляется в виде наглядного графического изображения – диаграммы, состоящей в основном из прямоугольников и стрелок. Такое представление обладает высокой, многомерной информативностью, которая выражается в различных свойствах (цвет, фон, начертание и т.д.) и атрибутах (вес, размер, стоимость, время и т.д.) каждого объекта и связи. В последние годы разработчики программных средств моделирования бизнес-процессов уделяют большое внимание преобразованию графических моделей в модели других видов, в частности в исполняемые, назначением которых является обеспечение автоматизации бизнес-процесса и интеграция работы задействованных в его исполнении информационных систем.

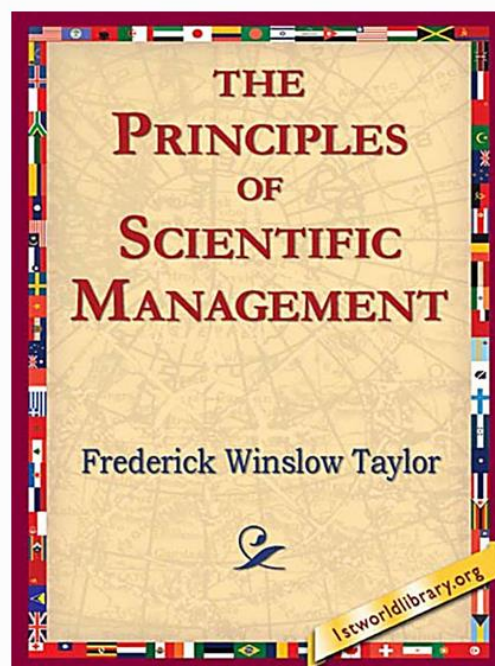
## Развитие моделирования бизнес-процессов

История моделирования бизнес-процессов насчитывает уже почти столетие, хотя вплоть до начала 1990-х гг., когда термин «бизнес-процесс» вошел в широкое употребление, говорили об описании того, каким образом организация осуществляет свои функции и выполняет те или иные задачи. Развитие методов моделирования и автоматизации бизнес-процессов принято разделять на три этапа, или три «волны». Началом каждой из них явился очередной всплеск интереса к повышению эффективности деятельности предприятий и процессному управлению, происходивший каждый раз на новом качественном уровне.

Начало первого этапа относят к 1920-м гг. XX в. и связывают с именем Фредерика Тейлора и его книгой "Принципы научного управления". В этот период впервые была осознана необходимость исследовать бизнес-процессы, описывать их в различных документах и действовать в соответствии с этими описаниями. Описание бизнес-процессов производится в текстовом, табличном и графическом виде, причем последний все более формализуется.



**Фредерик Уинслоу Тейлор**  
(1856 – 1915),  
американский инженер,  
основоположник научной  
организации труда и менеджмента



В 1980-х гг. предпринимаются первые попытки автоматизации бизнес-процессов путем реализации в программном обеспечении для управления документами функций по отслеживанию последовательности выполняемых действий для автоматизации процедур утверждения и выпуска документов.

Бизнес-моделирование выделяется в самостоятельное научно-прикладное направление только к началу 1990-х гг. Большинство созданных и применяемых до этого момента методологий не предназначались специально для описания бизнес-процессов, а разрабатывались для моделирования сложных систем и проектирования ПО. Они зачастую лишены строго определенной семантики. Модели, полученные с помощью таких методологий, как правило, воспринимаются интуитивно, и их интерпретация может меняться в зависимости от пользователя или

области приложений модели. Эти модели хорошо подходят для обсуждения бизнес-процессов между сотрудниками компании и руководством, для чего они, собственно, и применялись, но не могут быть основой для работы информационной системы, так как неполны и допускают различные интерпретации.

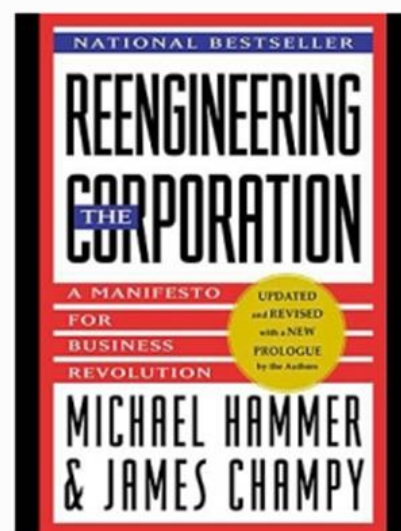
Начало второго этапа ознаменовал выход книги М. Хаммера и Д. Чампи "Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе", которая возродила в управленческой среде интерес к описанию и анализу бизнес-процессов с целью их радикальной перестройки – **реинжиниринга**. Реинжиниринг бизнес-процессов предполагает построение двух моделей бизнес-процесса: **как есть** (англ. as is) и **как должно быть** (англ. to be), а затем внедрение последней на предприятии.



**Майкл Мартин Хаммер**  
(1948 – 2008),  
американский инженер,  
автор работ по менеджменту и  
один из основателей теории  
реинжиниринга



**Джеймс Чампи** (1942),  
американский бизнес-  
консультант, известный  
своими работами в  
области  
реинжиниринга  
бизнес-процессов



Как следующий шаг в автоматизации бизнес-процессов в 1990-х гг. появляются системы управления потоками работ, предназначенные для маршрутизации потоков работ любого типа в рамках бизнес-процессов компании. Эти системы снабжены средой разработчика, которая теоретически может использоваться для моделирования различных нестандартных бизнес-процессов, однако на практике в большинстве случаев внедрение нового или изменение имеющегося процесса требовало привлечения труда программистов.

Негибкость моделей и средств автоматизации, их неспособность обеспечить оперативное реагирование на постоянные изменения в бизнес-среде стали основными недостатками систем "второй волны", стимулировавшими разработку в начале 2000-х гг. методологий следующего – третьего – поколения. Манифестом "третьей волны" в моделировании бизнес-процессов можно по праву назвать книгу Г. Смита и П. Фингара "Управление бизнес-процессами: третья волна". На

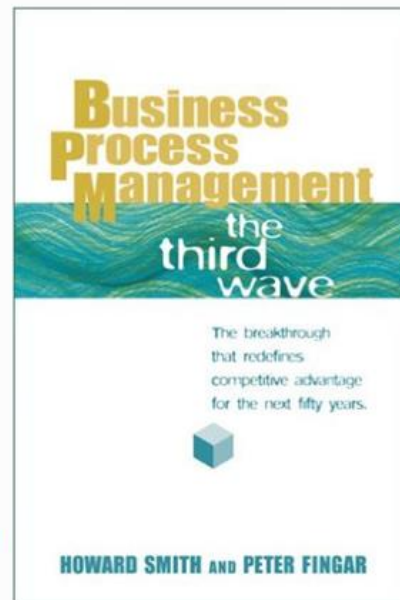
смену радикальному реинжинирингу приходит системное и "плавное" управление. Изменчивость бизнес-процессов, возможность их корректировки в ответ на изменения в бизнесе становятся главным критерием использования информационных технологий как средства, позволяющего получить преимущества на рынке.



**Говард Смит**, Великобритания, главный технический директор) Computer Sciences Corporation и сопредседатель Business Process Management Initiative (BPMI.org)



**Питер Фингар** (1946), эксперт по бизнес - стратегии и управлению бизнес - процессами



Идея методологий и инструментов моделирования третьего поколения состоит в том, чтобы позволить руководству и сотрудникам компании создавать и самим внедрять новые процессы "на лету". Автоматизация процессов производится посредством так называемых **систем управления бизнес-процессами** (СУБП) BPMS (Business Process Management System), которые дают возможность непосредственно реализовывать бизнес-процессы в соответствии с построенной формальной моделью и не требуют разработки дополнительного программного обеспечения.

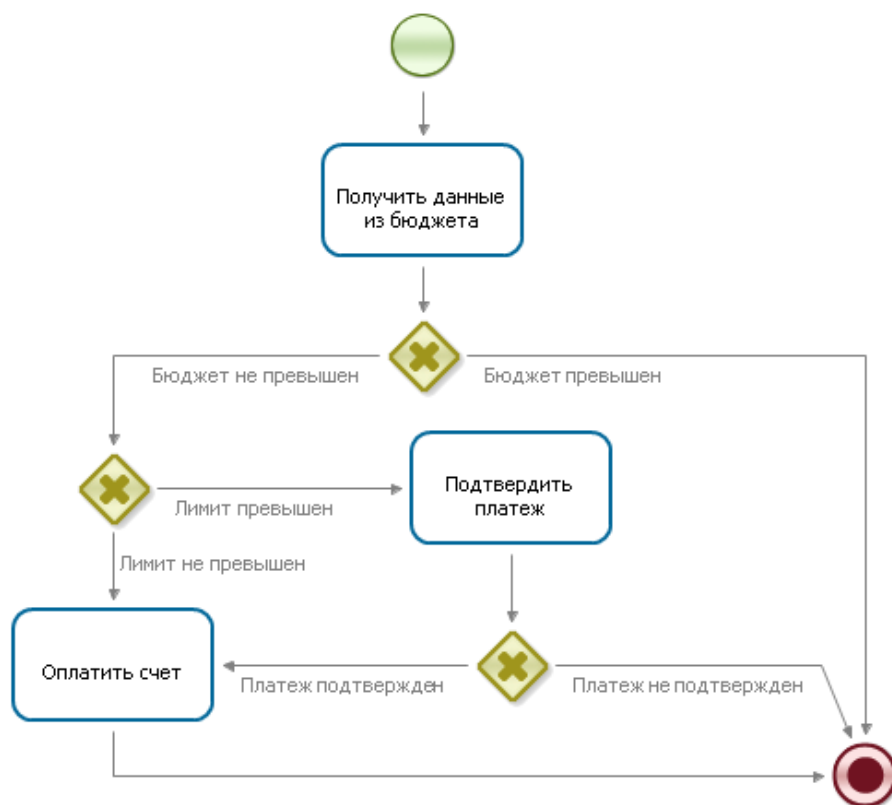
### **Исполнимые бизнес-процессы**

Бизнес-процессы, которые могут быть исполнены в компьютерной среде, необходимо достаточно строго определить формально, чтобы их легко можно было переводить в представление, понимаемое компьютером.

Исполнимый бизнес-процесс определяется при помощи задания следующих перспектив (точек зрения или слоев/уровней рассмотрения):

- перспектива потока управления (control-flow perspective);
- перспектива данных (data perspective);
- перспектива ресурсов (resource perspective);
- перспектива операций (operational perspective).

**Перспектива потока управления** представляет собой схему бизнес-процесса. Схема бизнес-процесса состоит из направленного графа, представляющего собой множество узлов, соединенных переходами.



Наиболее часто используемые узлы:

Узел "начало" соответствует точке начала исполнения бизнес-процесса. У него нет входящих ребер и одно или более исходящее ребро. В момент запуска экземпляра бизнес-процесса в узел помещается точка управления, которая тут же выходит из него по исходящему ребру. В бизнес-процессе должен существовать единственный узел "начало". Обозначается "тонкой" окружностью.



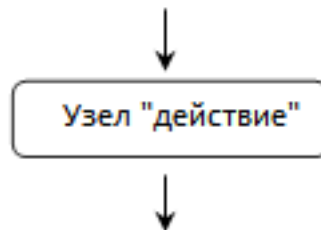
Узел "завершение потока" должен иметь одно или более входящих ребер и ни одного исходящего. При попадании какой-либо точки управления в этот узел она удаляется. Экземпляр бизнес-процесса, в котором не осталось ни одной точки управления, считается завершившимся. Может существовать несколько узлов "завершение потока", но обязательно должен быть хотя бы один такой узел. Обозначается "жирной" окружностью.



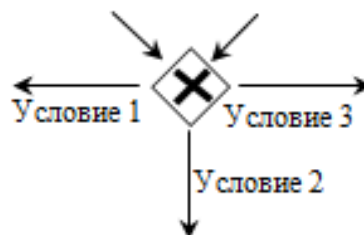
Узел "окончание" соответствует точке окончания исполнения бизнес-процесса. Узел "Окончание" должен иметь один или более входящих Переходов и ни одного исходящего Перехода. При попадании управления в Окончание останавливаются все потоки этого процесса, а также все его синхронные подпроцессы. В бизнес-процессе может существовать несколько узлов "Окончание". Однако этот узел не обязателен в бизнес-процессе, если в бизнес-процессе существует хотя бы одна точка завершения потока. Обозначается черной окружностью внутри окружности.



Узел "действие" генерирует задание исполнителю, обозначается прямоугольником со скругленными углами, в центре которого пишется имя узла, может иметь несколько входящих и несколько исходящих ребер. В случае нескольких исходящих переходов узел совмещен исключаяющим шлюзом, поэтому для каждой пришедшей в него точки управления при выполнении задания узла пользователь выбирает один из исходящих переходов (ребер), по которому точка управления будет перемещена далее.

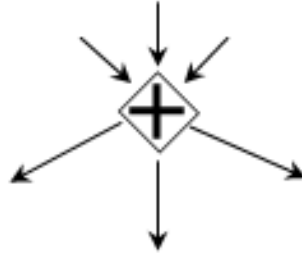


Узел "исключающий шлюз" может иметь несколько входящих и несколько исходящих ребер. Для каждой пришедшей в него точки управления выбирается, по какому из исходящих ребер она будет перемещена далее. Обозначается ромбом, в котором изображен "крестик".



Узел "параллельный шлюз" обозначается ромбом, в котором изображен "плюс". Может иметь несколько входящих и несколько исходящих ребер. Для

каждого входящего ребра пришедшая по нему в параллельный шлюз точка управления ставится в очередь. Если для всех входящих ребер их очереди заполнены хотя бы одной точкой управления, то все точки управления, находящиеся на первой позиции очереди каждого входящего ребра, удаляются, а на каждом исходящем ребре генерируется точка управления.



**Перспектива данных** соответствует набору внутренних переменных бизнес-процесса. Переменные бизнес-процесса могут являться входящими и исходящими. При помощи переменных происходит обмен информацией между шагами процесса и между внешними информационными системами, т. е. бизнес-процесс может переносить информацию в корпоративной информационной среде между разнородными информационными системами.

**Перспективе ресурсов** бизнес-процесса соответствует набор исполнителей, которые могут выполнять его узлы-действия. Исполнителями могут быть как сотрудники предприятия, так и информационные системы или специализированные устройства.

**Перспективе операций** бизнес-процесса соответствует список элементарных действий, совершаемых исполнителями в рамках узла-действия.

### **Системы управления бизнес-процессами**

Первые компьютерные системы, автоматизирующие управление бизнес-процессами появились в начале 90-х годов прошлого века. Развитие СУБП привело к появлению у этого класса программного обеспечения большого количества общих черт. Определение бизнес-процесса во всех СУБП обязательно содержит графическую схему бизнес-процесса, состоящую из узлов и переходов между ними. Также все СУБП используют роли бизнес-процесса и правила назначения исполнителей на роли.

Современная СУБП должна обеспечивать разработку бизнес-процессов в графической среде, исполнение экземпляров бизнес-процессов, мониторинг состояний экземпляров, ведение истории событий экземпляров бизнес-процессов, интеграцию приложений при помощи используемых бизнес-процессами коннекторов, администрирование пользователей, а также возможность замещения исполнителей заданий.

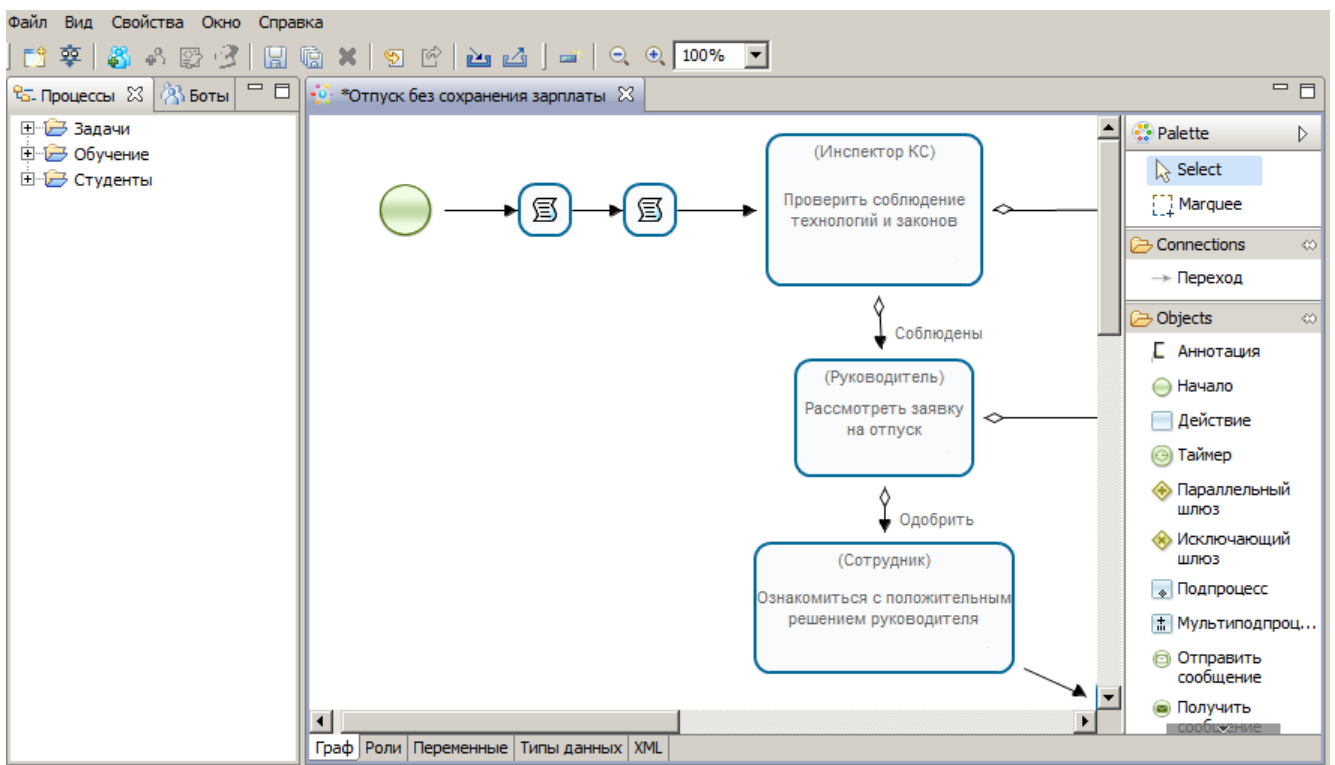
Типичная СУБП состоит из следующих основных компонентов:

- Среда исполнения бизнес-процессов.
- Среда разработки бизнес-процессов и связанных с ними объектов.
- Клиент-оповещатель о поступивших заданиях.

- Компонент-коннектор к другим информационным системам.
- Также СУБП может содержать симулятор бизнес-процессов.

**Среда исполнения бизнес-процессов** – это основной компонент СУБП. Она реализует исполнение экземпляра бизнес-процесса в соответствии с его определением. Этот компонент содержит определения загруженных в него бизнес-процессов и выполняющиеся экземпляры бизнес-процессов. Генерирует списки заданий и визуальные формы, соответствующие заданиям. Как правило, среда исполнения бизнес-процессов позволяет создавать и изменять свойства пользователей, а также дает возможность устанавливать различные права на объекты системы.

**Среда разработки бизнес-процессов и связанных с ними объектов** служит для создания и модификации исполнимых бизнес-процессов. В этой среде определяются последовательность выполнения шагов бизнес-процесса и данные, назначаются роли участникам процесса, вводятся правила маршрутизации, определяются графические формы заданий, используемые участниками бизнес-процесса для выполнения задач. Среда разработки позволяет сконструировать графическую схему бизнес-процесса с описанием ее деталей в виде свойств отдельных элементов (действий, подпроцессов, маршрутных узлов и т.д.) или бизнес-процесса в целом. Среда разработки – инструмент разработчика бизнес-процессов (бизнес-аналитика), он, в частности, обеспечивает внесение изменений в бизнес-процесс путем простой модификации графической схемы и свойств элементов.



**Клиент-оповещатель о поступивших заданиях** представляет собой компонент, обеспечивающий доступ пользователей к функциональности среды исполнения бизнес-процессов. В частности, он:

- Отображает списки заданий и визуальные формы заданий.
- Позволяет пользователям выполнять задания.
- Позволяет администратору системы устанавливать права на объекты системы.
- Дает возможность осуществлять мониторинг исполнения экземпляров бизнес процессов.
- Реализует оповещение пользователя о поступивших задачах.

**Компонент-коннектор к другим информационным системам** в различных СУБД реализован по-разному. Компонент представляет собой набор специальных приложений – бот-станций. Каждая бот-станция должна располагаться на отдельном сервере, одна из бот-станций (локальная бот-станция) может располагаться на том же сервере, что и среда исполнения. Бот-станции содержат специальные сущности – ботов, которые периодически опрашивают среду исполнения. Боты представляют собой автоматических исполнителей, чем-то напоминающих человека. Если выполняющиеся в среде исполнения экземпляры бизнес-процессов содержат задачи для ботов, загруженных в бот-станцию, то боты выполняют эти задачи и возвращают результаты работы в среду исполнения. В частности, при этом боты могут обращаться к другим информационным системам. Таким образом, бот-станция может служить средством интеграции автоматизированных систем предприятия.

## Лекция 7

### ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

#### Неопределенность в задачах системного анализа

Анализ любой реальной системы сопряжен с необходимостью оценки состояния ее элементов, наблюдением основных параметров поведения, что может выполняться человеком или искусственным объектом. В первом случае информация о системе, как правило, воспринимается размыто или нечетко, в силу особенностей восприятия и интерпретации окружающей среды человеком. Во втором случае данные измерений могут быть неточными, отличаются от реальных значений, запаздывают во времени. Кроме того, как наблюдения за системой, так и характеристики поведения системы могут иметь случайные компоненты. Эти и другие причины порождают различные типы неопределенности в задачах системного анализа, которые необходимо учитывать при проведении исследований и принятии решений.

**Неопределённость** – это неполнота или недостоверность информации об условиях реализации решения, наличие фактора случайности или противодействия. Неопределенность – типичное свойство практических задач системного анализа. Это обусловлено разнообразием целей, свойств и особенностей объектов системного анализа. Прикладные задачи, не содержащие неопределенностей, являются скорее исключением, чем правилом.

Наиболее распространенными в практике являются неопределенности целей, ситуаций, конфликтов.

**Неопределенность целей** – это неопределенность выбора и достижения целей в многокритериальных задачах принятия решений. Она обусловлена тем, что в больших проблемах всегда имеется несколько целей, каждой из которых соответствует свой локальный критерий. Это приводит к необходимости решать сложную задачу оценки различных целей и проводить их оптимальный выбор по нескольким критериям. Кроме того, известный элемент неопределенности обусловлен также сложностью строго определенно и однозначно сформулировать цели.

**Ситуационная неопределенность** – это неопределенность влияния неконтролируемых факторов различного происхождения (деятельностью человека, стихийными бедствиями, влиянием ноосферы и т.д.), которые обуславливают непредсказуемое поведение исследуемой системы.

**Неопределенность конфликтов** – это неопределенность выбора целей замыслов и планов в процессе взаимодействия партнеров или противодействия конкурентов или противников.

### **Методы раскрытия неопределенности целей**

В общем случае в ходе исследования объекта в целом возникает потребность в согласовании его целей. При этом для одних целей оптимальные решения соответствуют минимальному значению соответствующего критерия, а для других – максимальному. Таковую задачу можно рассматривать как задачу многокритериальной оптимизации.

Очевидно, что лучшим решением задачи раскрытия неопределенности будут такие значения критериев, при которых условия оптимальности выполняются одновременно для всех целевых функций. Однако на практике это неосуществимо, поскольку критерии целевых функций разные по природе (физические, технические, экономические или иного содержания). Поэтому экстремума каждая функция достигает для своего значения критерия, и почти невозможно найти такие значения критериев, при которых условия оптимальности выполняются одновременно для всех целевых функций. Отсюда следует вывод, что задача сводится к нахождению таких значений критериев, при котором будет обеспечиваться рациональный компромисс заданных целей. Для нахождения рационального компромисса применяется два основных подхода. Суть первого подхода – исключить из анализа заведомо неприемлемые варианты решений. Суть второго – использовать приемы и методы сведения многоцелевой задачи к типовой задаче оптимизации с одним критерием и решить ее.

Рассмотрим сначала первый подход, в основе которого лежит идея, предложенная Парето: попытаться сократить множество вариантов решений исключением из анализа заранее непригодных вариантов.

**Закон Парето**, или **принцип Парето**, или **принцип 20/80** – эмпирическое правило, названное в честь экономиста и социолога Вильфредо Парето, в наиболее общем виде формулируется как "20 % усилий дают 80 % результата, а осталь-

ные 80 % усилий – лишь 20 % результата". Может использоваться как базовая установка в анализе факторов эффективности какой-либо деятельности и оптимизации её результатов: правильно выбрав минимум самых важных действий, можно быстро получить значительную часть от планируемого полного результата, при этом дальнейшие улучшения неэффективны и могут быть неоправданны.



**Вильфредо Парето**  
(1848 – 1923)

Пусть  $X$  обозначает множество допустимых решений в некоторой задаче,  $x \in X$  – допустимое решение. Предположим, что каждое решение  $x \in X$  оценивается по  $n$  критериям ( $n \geq 2$ ).

Пусть  $H_i(x)$ ,  $x \in X$  – вещественная функция, значениями которой являются оценки решения  $x \in X$  по критерию  $i$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Тогда вектор  $H(x) = (H_1(x), \dots, H_i(x), \dots, H_n(x))$ ,  $x \in X$  – набор оценок решения  $x \in X$  по всем критериям. Предположим, что степень предпочтительности решения  $x \in X$  возрастает с возрастанием компонент вектора  $H$ , т. е. чем больше значение  $H_i(x)$ , тем лучше решение  $x$  по критерию  $i$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Решение  $x^* \in X$  называется **парето-оптимальным (оптимальным по Парето, эффективным)**, если не существует другого решения  $x \in X$ , которое превосходит  $x^*$  хотя бы по одному критерию, а по остальным критериям не хуже.

**Пример.** В качестве иллюстрации принципа оптимальности Парето приведем пример сравнительного анализа пяти марок автомобилей по 20 критериям:

| Параметр             | Daewoo Nexia | Kia Rio | Opel Corsa | Skoda Fabia | VW Pointer |
|----------------------|--------------|---------|------------|-------------|------------|
| Дизайн               | 75           | 105     | 130        | 120         | 105        |
| Внешность            | 40           | 55      | 65         | 60          | 50         |
| Интерьер             | 35           | 50      | 65         | 60          | 55         |
| Эргономика           | 100          | 120     | 125        | 125         | 130        |
| Место водителя       | 40           | 55      | 60         | 75          | 55         |
| Обзорность           | 60           | 65      | 65         | 50          | 75         |
| Динамика             | 205          | 220     | 210        | 210         | 205        |
| Разгонная динамика   | 65           | 70      | 55         | 55          | 55         |
| Тормозная динамика   | 75           | 75      | 75         | 70          | 80         |
| Управляемость        | 65           | 75      | 80         | 85          | 70         |
| Ездовой комфорт      | 140          | 165     | 155        | 155         | 145        |
| Плавность хода       | 55           | 65      | 60         | 60          | 60         |
| Акустический комфорт | 45           | 55      | 50         | 50          | 40         |
| Микроклимат          | 40           | 45      | 45         | 45          | 45         |
| Комфорт салона       | 90           | 145     | 140        | 130         | 100        |
| Пассажиры места      | 45           | 45      | 55         | 45          | 30         |
| Багажник             | 45           | 55      | 45         | 45          | 40         |
| Трансформация салона | 0            | 45      | 40         | 40          | 30         |

Модель Daewoo Nexia по всем критериям не лучше модели Kia Rio. Оставшиеся четыре модели нельзя сравнить между собой, поскольку по ряду критериев лучше одни модели, а по другим – другие. Выбор любого из этих типов автомобилей (кроме Daewoo Nexia) является оптимальным по Парето решением.

Множество всех эффективных (парето-оптимальных) решений называется **эффективным множеством**.

Достоинством концепции эффективного решения является то, что эффективные решения существуют в практически значимых классах задач.

Недостаток понятия парето-оптимального решения состоит в том, что оно, как правило, не позволяет найти единственного решения проблемы, можно получить лишь множество эффективных решений.

**Метод линейной свертки.** Суть этого метода заключается в том, что вместо  $m$  заданных целей, описываемых функциями  $f_i(x), i = \overline{1, m}$ , вводят одну обобщенную цель, описываемую функцией вида

$$F(x) = \sum_{i=1}^m c_i f_i(x),$$

где  $c_i, i = \overline{1, m}$  – весовые коэффициенты выходных целей, отражающие меру предпочтения экспертов. Считают, что коэффициенты  $c_i$  нормированы тем или иным способом. Обычно применяют нормирования в форме

$$\sum_{i=1}^m c_i = 1.$$

В результате задачу раскрытия неопределенности целей, представленную в виде многоцелевой задачи оптимизации  $f_i(x) \rightarrow \max, i = \overline{1, m}$ , сводим к одноцелевой стандартной задаче математического программирования  $F(x) \rightarrow \max$  при наличии ограничений, обусловленных исходными данными или Техническим заданием.

Этот метод достаточно широко применяют на практике. Однако он имеет следующие принципиальные недостатки.

1. Выбор весовых коэффициентов  $c_i$  в значительной степени субъективный, а, следовательно, не исключаются принципиальные ошибки и просчеты в их выборе.

2. Решение оптимизационной задачи для  $F(x)$  не означает, что достигнуты рациональные значения для всех заданных целей. Недостаточное значение одной целевой функции может быть компенсировано увеличением значения другой целевой функции. Более того, изменяя значения весовых коэффициентов, можно получить серию различных значений  $x$ , для которых функция  $F(x)$  имеет одно и то же значение.

### Основные понятия теории принятия решений

Задача принятия решения (ЗПР) направлена на определение наилучшего (оптимального) способа действий для достижения поставленных целей.

Субъектом всякого решения является **лицо, принимающее решение (ЛПР)**. Понятие ЛПР является собирательным. Это может быть одно лицо – **индивидуальное ЛПР** или группа лиц, вырабатывающих коллективное решение, – **групповое ЛПР**. Для помощи ЛПР в сборе и анализе информации и формировании решений привлекаются **эксперты** – специалисты по решаемой проблеме.

Принятие решения происходит во времени, поэтому вводится понятие **процесса принятия решений**. Этот процесс состоит из последовательности этапов и процедур и направлен на устранение проблемной ситуации.

В процессе принятия решений формируются альтернативные (взаимоисключающие) варианты решений и оценивается их предпочтительность. **Предпочтение** – это интегральная оценка качества решений, основанная на объективном анализе (знании, опыте, проведении расчетов и экспериментов) и субъективном понимании ценности и эффективности решений.

Конечным результатом задачи принятия решений является решение, которое представляет собой предписание к действию. **Решение** – это выбор, осуществляемый из нескольких альтернативных вариантов.

Решение называется **допустимым**, если оно удовлетворяет ограничениям: ресурсным, юридическим, правовым, морально-этическим. Решение называется **оптимальным** (наилучшим), если оно обеспечивает экстремум (максимум или минимум) критерия выбора при индивидуальном ЛПР или удовлетворяет принципу согласованности при групповом ЛПР.

Обобщенной характеристикой решения является его **эффективность**. Эта характеристика включает эффект решения, определяющий степень достижения целей, отнесенный к затратам на их достижение. Решение тем эффективнее, чем больше степень достижения целей и меньше затраты на их реализацию.

### Постановка задачи принятия решений

С ЗПР связаны два фундаментальных понятия: множество альтернатив (вариантов действий), которое обозначим через  $\{\chi\}$ , и принцип выбора, который обозначим через  $\Phi$ . Задача принятия решения может быть записана как

$$\{\{\chi\}, \Phi\} \rightarrow \chi^*,$$

где  $\chi^*$  – выбранные альтернативы (одна или более).

В зависимости от степени формализации введенных понятий различают три задачи.

1. Задача оптимального выбора: если множество  $\{\chi\}$  однозначно определено (фиксировано), а принцип выбора  $\Phi$  формализован, т.е. может быть описан, передан и результаты его применения к элементам из  $\{\chi\}$  не зависят от субъективных условий.

2. Задача выбора: если множество  $\{\chi\}$  однозначно определено, но принцип выбора  $\Phi$  не может быть формализован или даже фиксирован. В этом случае выбор зависит от того, кто и на основе какой информации его делает.

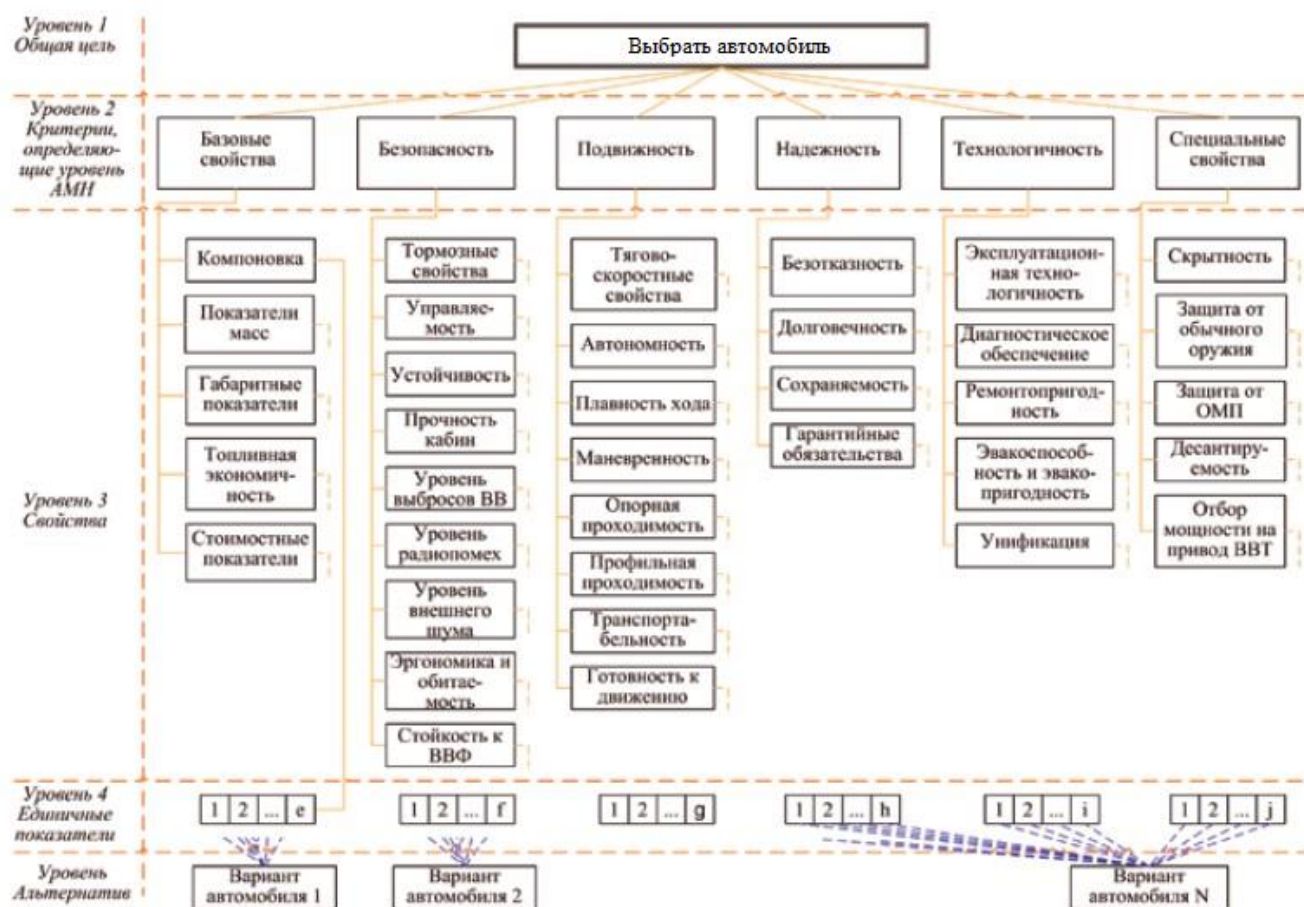
3. Общая задача принятия решения: если множество  $\{\chi^*\}$  не имеет определенных границ (может дополняться и видоизменяться), а принцип выбора  $\Phi$  неформализован или даже не фиксирован. В этом случае разные субъекты могут выбирать в качестве решения те альтернативы, которые другими субъектами и не рассматривались, а один и тот же субъект при использовании одного и того же принципа выбора (неформализованного, но для него существующего) может изменять свое решение при обнаружении им новой альтернативы.

### Декомпозиция задачи принятия решения

Общепринятым принципом, который облегчает принятие решения, является переход от сравнения альтернатив в целом к сравнению их отдельных свойств (аспектов, характеристик, признаков, преимуществ). Основная идея такого перехода состоит в том, что в отношении отдельного свойства существенно легче сказать, какая из альтернатив предпочтительней.

Выделение свойств альтернатив является не чем иным, как декомпозицией. Свойства первого иерархического уровня могут делиться на следующие наборы

свойств и т.д. Глубина такого деления определяется стремлением дойти до тех свойств, которые удобно сравнивать друг с другом.



Сравнение альтернатив по отдельным свойствам может быть выполнено тремя способами:

- на основе попарного (реже – группового) сравнения альтернатив по данному свойству;
- на основе введения естественных числовых характеристик данного свойства;
- на основе введения искусственных числовых характеристик данного свойства.

Разберем важнейшие свойства этих сравнений.

**Попарное сравнение.** Считаем, что для двух альтернатив  $\chi_1$  и  $\chi_2$  из  $\{\chi\}$  мы каким-то образом можем произвести выбор наиболее предпочтительной по данному свойству.

С формальной точки зрения, для альтернатив  $\chi_1, \chi_2$  из  $\{\chi\}$  вводится бинарная операция сравнения по признаку (свойству)  $R$ . Запись  $\chi_1 R \chi_2$  означает, что альтернатива  $\chi_1$  предпочтительней или не хуже альтернативы  $\chi_2$  по признаку  $R$ . Указанная операция может быть применена как к любой паре  $(\chi_1, \chi_2)$  из  $\{\chi\} \times \{\chi\}$ , так и не ко всем из них. В последнем случае допускаем, что относительно некоторых пар нельзя сделать выбор. При этом говорится, что элементы множества  $\{\chi\}$  лишь частично сравнимы по признаку  $R$ .

**Введение числовых характеристик.** Сравнение элементов на основе сопоставления их числа представляется наиболее аргументированным способом выбора. Необходима лишь уверенность, что выполненное сопоставление объективно. Как правило, это имеет место, если числовая характеристика обладает физическим смыслом. Объективно сравнение по массе, размерам, скорости передачи информации, числу связей, времени готовности и многому другому. Все эти характеристики выражаются в числах и объективны. Можно утверждать, что в задаче принятия решений следует стремиться довести композицию до уровней, на которых возможны численные оценки. Свойства, для которых существуют объективные численные характеристики, принято называть критериями. Таким образом, получение набора критериев – это наилучший итог декомпозиции. Он настолько привлекателен для практической реализации, что к его аналогу прибегают и тогда, когда естественные числовые характеристики отсутствуют. В этом случае вводят искусственные оценки типа баллов. Они проставляются экспертами, каждый из которых может исходить из своего неформального принципа выбора. Таким образом, решается задача количественной оценки качественных сторон явления или проблемы. Примеры искусственных числовых оценок весьма многочисленны. Они простираются от коэффициента трудового участия до баллов и суммы мест в фигурном катании, от разрядной сетки рабочих специальностей до экспертного определения процента износа механизмов.

Искусственные оценки практически непрерывно переходят в естественные. Так, процент износа может определяться на основе измерения зазоров, остаточного напряжения, времени наработки и других физических величин. В этом случае он будет естественной оценкой, подвергнутой специальному преобразованию в проценты. Такова же ситуация при выведении оценки экзаменационным автоматом, который превращает в баллы процент правильных ответов и т.д.

### **Композиция оценок и сравнений**

Декомпозиция неразрывно связана с композицией. **Композиция** – это составление целого из частей. В нашем случае композиция применяется для сравнения альтернатив в целом.

Для сравнения альтернатив в целом используют метод Парето, метод линейной свертки и др.

#### **Метод Парето.**

Проанализируем ситуацию, когда все свойства альтернатив имеют численную оценку, т.е. являются критериями. Обозначим их через  $C_i(\chi)$ ,  $i = \overline{1, n}$ . В этом случае любой альтернативе может быть сопоставлена точка  $n$ -мерного пространства  $E^n$ , координаты которой есть значения соответствующих критериев. Такое пространство называется критериальным. Будем для определенности считать, что чем больше значение  $i$ -го критерия  $C_i(\chi)$ , тем предпочтительнее данная альтернатива по свойству  $i$ . Рассмотрим две произвольные альтернативы. Возможны две ситуации:

1) одна альтернатива не хуже другой по всем критериям:

$$C_i(\chi_2) \geq C_i(\chi_1), \quad i = \overline{1, n}; \quad (1)$$

2) этого утверждать нельзя.

Условие (1) – это естественное условие предпочтения альтернативы  $\chi_2$  перед альтернативой  $\chi_1$ . Таким образом, переход от  $\chi_1$  к  $\chi_2$  улучшает наш выбор. Существуют ли неулучшаемые альтернативы? Для демонстрации важнейших идей по композиции оценок воспользуемся удобной графической интерпретацией критериального пространства при  $n = 2$ .

На рис. 1 в осях  $C_1, C_2$  точками или звездочками изображены альтернативы. Неулучшаемой альтернативой на рис. 1, а очевидным образом является та, которая расположена выше и правее всех. Проверить ее неулучшаемость можно так: провести из данной точки лучи параллельно положительному направлению осей и убедиться, что в образованном углу других альтернатив нет. Это свойство неулучшаемости легко доказать от противного.

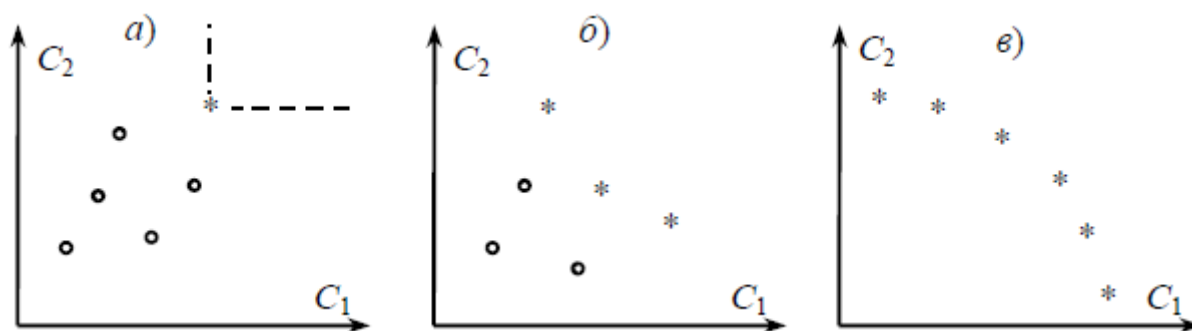


Рисунок 1 – Критериальное пространство. Множество Парето

Итак, в ситуации рис. 1, а мы нашли единственную неулучшаемую альтернативу, которую естественно выбрать в качестве наилучшей. Однако уже рис. 1, б демонстрирует, что таких альтернатив может быть более одной, а рис. 1, в показывает, что возможен случай, когда все альтернативы будут неулучшаемыми.

Множество неулучшаемых альтернатив называется множеством Парето для данной задачи. Однако в абсолютном большинстве практических задач требуется в итоге выбрать только одну альтернативу. Для дальнейшей формализации выбора вводятся более специфические и часто достаточно спорные приемы. Наиболее распространенные из них:

1. Выбирают альтернативу, у которой сумма значений критериев максимальна.

2. Фиксируют набор чисел (уровней)  $A_i, i = \overline{2, n}$ , и ищут альтернативу, у которой на все критерии, кроме одного, наложены ограничения  $C_i(\chi) \geq A_i$ , а оставшийся критерий  $C_1$  максимален.

3. Точки множества Парето оцениваются по некоторому дополнительному свойству, которое не учитывалось ранее. Это свойство (одно или более) может иметь физический характер или быть просто математическим приемом.

4. Точки множества Парето поступают на экспертную оценку, по результатам которой на основе баллов, системы приоритетов, ранжирования, правила вето и т.д. выделяется единственная альтернатива.

## Лекция 8

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОФАКТОРНЫХ РИСКОВ

Практическую необходимость создания качественно новых методов и средств обеспечения безопасности сложных систем обуславливают много причин. В частности, для сложных систем различной природы актуально достоверное и своевременное предвидение, прогнозирование и предотвращение критических, чрезвычайных и других нежелательных ситуаций и воздействий, которые могут привести к внештатному режиму, аварии, катастрофе или существенно повлиять на работоспособность, живучесть, безопасность, эффективность и другие свойства объектов сложной технической системы (СТС). Возможность появления и последствия от воздействия таких ситуаций, условий и факторов обусловлены случайными и хаотическими процессами, которые по механизмам воздействия можно охарактеризовать как риски. Риски обусловлены многими различными внутренними и внешними причинами и факторами, поэтому механизмы их воздействия на СТС являются многофакторными.

Практика последних десятилетий прошлого века свидетельствует, что риски возникновения техногенных и природных катастроф с последствиями регионального, национального и глобального масштаба постоянно растут, что обусловлено различными объективными и субъективными условиями и факторами. Среди них определяющее значение имеют принципы, подходы и методы управления техногенно и экологически опасными объектами и способы обеспечения их безопасности при наличии многофакторных рисков.

В основу современных методов обеспечения безопасности положен вероятностный подход. Однако вероятностную модель можно и целесообразно использовать только для анализа внештатных ситуаций с целью своевременного формирования, принятия и реализации решений по предотвращению аварий. Этого можно достичь только при условии, что система технического диагностирования в полной мере отвечает требованиям к своевременности и оперативности действий персонала в случае возникновения внештатных ситуаций. А именно: диагностика должна обеспечить такой уровень полноты, достоверности и своевременности информации о состоянии и изменениях техногенно опасных процессов, который позволит персоналу вовремя предотвратить переход внештатной ситуации в аварийную или катастрофическую. Требование своевременности является приоритетным, поскольку точная, максимально достоверная информация становится ненужной, если она поступает к персоналу после аварии или катастрофы.

#### **Режимы функционирования и показатели риска СТС**

**Режим функционирования** – последовательность состояний сложной системы, в которой каждое состояние характеризует некоторые показатели процессов функционирования системы, а также и некоторые показатели влияния внешней среды и факторов риска.

**Штатный режим** – режим функционирования объекта, для которого все показатели лежат в априорно заданных интервалах.

**Внештатный режим** – режим функционирования объекта, для которого отдельные показатели или некоторые сочетания показателей, или все показатели не лежат в априорно заданных интервалах.

**Переходный неуправляемый режим** – режим функционирования, который обусловлен влиянием множества факторов риска, что в течение определенного периода времени приводит к переходу штатного режима во внештатный.

**Переходный управляемый режим** – режим функционирования, обусловленный управляющим влиянием системы управления безопасностью, что в течение определенного периода времени приводит к переходу внештатного режима в штатный.

**Внештатная ситуация** – внештатный режим функционирования, при котором отдельные показатели качества системы или внешней среды лежат вне интервалов штатного режима в таких пределах, что нет угрозы аварии или катастрофы.

**Критическая ситуация** – внештатный режим функционирования, при котором показатели качества системы или внешней среды лежат вне интервалов штатного режима в таких пределах, что возникает реальная угроза аварии или катастрофы.

**Чрезвычайная ситуация** – внештатный режим функционирования, при котором показатели качества системы или внешней среды лежат вне интервалов штатного режима в таких пределах, что почти неизбежно случается авария или катастрофа.

**Аварийная ситуация** – внештатный режим функционирования, при котором техническая система переходит из работоспособного состояния в такое нетрудоспособное, аварийное состояние, что для перехода в исходное состояние необходимо выполнить ремонт.

**Авария** – конечный результат аварийной ситуации.

**Катастрофическая ситуация** – внештатный режим функционирования, при котором техническая система переходит из работоспособного состояния в такое нетрудоспособное, катастрофическое состояние, что переход в работоспособное состояние принципиально исключен.

**Катастрофа** – конечный результат катастрофической ситуации.

**Управление безопасностью** – специальный вид управления сложной системой, реализованный в динамике функционирования сложной системы в виде комплекса решений и действий для обеспечения ее живучести и предотвращения критическим и чрезвычайных ситуаций, аварий и катастроф.

**Живучесть** – свойство сложной системы, заключается в ее способности сохранять штатный режим функционирования и исключать возможность аварии или катастрофы в прогнозируемых и непрогнозируемых условиях воздействия дестабилизирующих, разрушающих факторов риска.

**Работоспособность** – свойство сложной системы, заключается в ее способности выполнять в штатном режиме возложенные функции с заданными показателями качества и эффективности.

**Степень риска** – вероятность появления нежелательных последствий воздействия любых факторов риска в любой момент времени в процессе функционирования сложной системы.

**Уровень риска** – размер ущерба от нежелательных последствий воздействия любых факторов риска в любой момент времени в процессе функционирования сложной системы.

**Ресурс допустимого риска** – продолжительность периода функционирования сложной системы в определенном режиме, в течение которого степень и уровень риска вследствие возможного влияния факторов риска не превышают априорно заданные допустимые значения.

**Ресурс допустимого риска штатной ситуации** – продолжительность периода функционирования сложной системы в штатном режиме, в течение которого степень и уровень риска штатной ситуации не превышают априорно заданные значения.

**Ресурс допустимого риска критической ситуации** – продолжительность периода функционирования сложной системы в штатном режиме, в течение которого степень и уровень риска критической ситуации не превышают априорно заданные значения.

**Ресурс допустимого риска чрезвычайной ситуации** – продолжительность времени функционирования сложной системы в штатном режиме, в течение которого степень риска и уровень риска чрезвычайной ситуации не превышают априорно заданных значений.

**Ресурс допустимого риска аварийной ситуации** – продолжительность периода функционирования сложной системы в штатном режиме, в течение которого степень и уровень риска аварийной ситуации не превышают априорно заданные значения.

**Ресурс допустимого риска катастрофической ситуации** – продолжительность периода функционирования сложной системы в штатном режиме, в течение которого степень и уровень риска катастрофической ситуации не превышают априорно заданные значения.

**Ресурс допустимого риска штатного режима** – продолжительность периода функционирования сложной системы в штатном режиме, в течение которого степень и уровень риска критических, чрезвычайных, аварийных и катастрофических ситуаций не превышают априорно заданные значения.

### **Основные принципы и особенности управления безопасностью сложных систем**

Анализ штатных режимов различных сложных систем и конструкций, исследования причин и особенностей различных аварий и катастроф свидетельствуют: известные принципы и методы обеспечения безопасности сложных систем не соответствуют в полной мере современным требованиям; подходы и принципы оценки живучести не отражают всего многообразия факторов, влияющих на разрушение материалов и конструкций. Это обусловлено прежде всего тем, что возникновение ситуаций риска, аварий и катастроф не учитывают в тра-

диционных моделях детерминированных и случайных процессов, поскольку механизмы старения и разрушения материалов и конструкций принципиально характеризуются большой сложностью и нестационарностью. В частности, такие модели не позволяют получить достоверное представление о внезапных авариях и катастрофах сложных систем, вызванных нестационарными, аномальными и пороговыми явлениями. Среди них большой вес имеют необратимые явления эволюционного старения, нелинейные и пороговые процессы разрушения, процессы скачкообразного перехода упругого материала в хрупкое состояние под влиянием критической температуры или подобных факторов, ряд других аналогичных явлений.

Следует также учитывать, что показатели прочности и надежности материалов не является постоянными, а нелинейно зависят от многих факторов: технологии производства, сферы применения конструкций, условий эксплуатации сложных систем. Особое значение имеют такие группы многомерных факторов риска:

- ◆ свойства материала (деформация, температура, внутренняя энергия, намагниченность, наэлектризованность, энтропия, химический потенциал и т.д.);
- ◆ дефекты и особенности реальных материалов (рассеивание и неоднородность свойств, нестабильность состояния поверхностного слоя, неоднородность и нестабильность структуры и фазового состава, различные технологические дефекты и другие);
- ◆ процессы старения и разрушения (циклические, термические, радиационные, коррозионные и другие);
- ◆ процессы воздействия внешней среды (силовые, температурные, химические, радиационные и т.п.).

Необходимо обобщенное отражение режима функционирования реального сложного объекта, что позволит с единых позиций проявлять как механизмы его функционирования и работоспособности в штатном режиме, так и механизмы появления и развития внештатного режима. Такое обобщенное отражение представлено в виде эмпирического утверждения, которое называют **гипотезой о режиме сложной системы**:

Режим функционирования любой сложной системы в любой момент времени определяет действие множества ее внутренних процессов и множество процессов ее взаимодействия с внешней средой. Свойства режима зависят от упорядоченности, случайности и хаотичности внутренних и внешних процессов.

Режим содержит следующие компоненты:

- ◆ детерминированную, образованную влиянием типичных детерминированных процессов штатного режима функционирования и типовых процессов штатного управления системой, которую описывают детерминированные закономерности;
- ◆ случайную, образованную воздействием различных случайных факторов внешней и внутренней среды системы, которая подлежит определенным вероятностным и статистическим закономерностям;
- ◆ хаотичную, образованную нерегулярным, аномальным, непредсказуемым возмущающим действием нелинейных эволюционных и пороговых механизмов

различной природы, не подлежит известным детерминированным и статистическим закономерностям.

Указанные компоненты режима взаимосвязаны через множество процессов и явлений. Это множество содержит различные виды и типы связей: прямые и обратные связи, положительные и отрицательные, линейные и нелинейные, детерминированные и случайные, обратимые и необратимые и т.д. Совместные действия компонент в любой момент времени определяют свойства и особенности режима функционирования сложной системы.

Использование обобщенного описания различных факторов и свойств в форме гипотезы при решении задач анализа, проектирования и управления сложными системами, в частности управление их безопасностью, предоставляет потенциальную возможность исследования процессов штатного функционирования с единой позиции принципов системной методологии. Практическая значимость этой гипотезы заключается в том, что она определяет необходимость, возможность и целесообразность поиска различных экспериментальных и эмпирических подходов и приемов познания реальности.

### **Системный анализ задач многофакторных рисков**

Особенность общей задачи системного анализа рисков заключается в том, что она является основой последовательности задач нескольких типов, которые традиционно изучают в разных научных направлениях:

- ◆ задача кластерного анализа – многофакторная классификация риска;
- ◆ задача теории распознавания – многофакторное распознавание рисков;
- ◆ задача ранжирования ситуаций риска – характерна для теории принятия решений;
- ◆ задача многоцелевой минимизации рисков – главное звено анализа рисков.

Целостность последовательности этих задач выражается в том, что результат решения первой из них является основной информацией для второй задачи, а результат решения первой и второй задач – для третьей. В то же время исходную информацию для первой задачи и ее назначение определяют цель и общее назначение четвертой задачи. К тому же четвертая задача является главным звеном в системном анализе рисков и определяет окончательный результат анализа.

Отметим, что каждая задача имеет определенные отличия от стандартных формулировок типичных задач соответствующих теорий и научных направлений. Важнейшие из них:

- ◆ задачи не полностью формализованы в стандартной формулировке вследствие неполноты, неопределенности, нечеткости исходной информации о рисках;
- ◆ решение задач принципиально ограничено априорно неизвестным временным порогом перехода ситуации риска в аварию или катастрофу.

Отсюда вытекает необходимость разработки такого методологического, математического и программного инструментария интеллектуальной поддержки принятия решений, который обеспечит:

- ♦ оперативную обработку априорной и диагностической информации в динамике ситуации риска;
- ♦ возможность оперативного формирования достаточно обоснованного решения за относительно малый промежуток времени;
- ♦ практическую реализацию решения до наступления критического момента времени перехода ситуации риска в аварию или катастрофу.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Сурмин, Ю.П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособ. / Ю.П. Сурмин – К.: МАУП, 2008. – 369 с.
2. Антонов, А.В. Системный анализ. Учеб. для ВУЗов / А.В. Антонов – М.: Высш. шк., 2006. – 452 с.
3. Спицнадель, В.Н. Основы системного анализа: учеб. пособ. / В.Н. Спицнадель – М., Бизнес-пресса, 2009. – 512 с.
4. Ніконов, О.Я. Основи системного аналізу: навч. посіб. / О.Я. Ніконов, А.І. Кудін, М.В. Костікова, І.В. Скрипіна, В.О. Шевченко – Х.: ХНАДУ, 2013. – 160 с.
5. Системный анализ и примеры решений. Словарь-справочник: учеб. пособ. для ВУЗов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова – М.: Высш. шк., 2004. – 616 с.
6. <http://dl.khadi.kharkiv.edu/course/view.php?id=331> – Курс "Теорія систем та системний аналіз" для студентів потоку 4РК: матеріали для самостійної роботи, лекції по курсу, методичні вказівки до підготовки та виконання лабораторних робіт, методичні вказівки та приклад оформлення курсової роботи, питання для підготовки до екзаменаційного тестування.