

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

Донбасская государственная машиностроительная академия

Кафедра технической механики

# **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине

**«ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА»**

(для студентов дневной и заочной форм обучения

специальности «Менеджмент»)

**Краматорск 2003**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

Донбасская государственная машиностроительная академия

Кафедра технической механики

# **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине

**«ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА»**

(для студентов дневной и заочной форм обучения

специальности «Менеджмент»)

Утверждено на заседании  
методического семинара  
кафедры технической механики  
Протокол № 1 от 15.10.02

**Краматорск 2003**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

Донбасская государственная машиностроительная академия

Кафедра технической механики

Составители:

Водолазская Е.Г.

Водолазская Н.В.

# **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплине

**«ОСНОВЫ ТЕОРИИ СИСТЕМ И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА»**

(для студентов дневной и заочной форм обучения

специальности «Менеджмент»)

Утверждено на заседании  
методического семинара  
кафедры технической механики  
Протокол № 1 от 15.10.02

В печать 100 экземпляров

Проректор по  
учебной работе

\_\_\_\_\_ А.Н.Фесенко

**Краматорск 2003**

УДК 621:051:12

Конспект лекций по дисциплине «Основы теории систем и системного анализа» (для студентов дневной и заочной форм обучения специальности «Менеджмент») / Сост. Е. Г. Водолазская, Н. В. Водолазская. – Краматорск: ДГМА, 2003.- **68** с.

Представлен теоретический материал по дисциплине «Основы теории систем и системного анализа». Приведен список рекомендуемой литературы

Составители:

Е. Г. Водолазская, доцент,

Н. В. Водолазская, ассистент

Отв. за выпуск:

Е. Г. Водолазская.

## Содержание

	Введение	4
1	Системный подход к решению проблем	6
2	Общая теория систем	9
	2.1 Первичная классификация систем	9
	2.2 Основные понятия и определения теории систем	14
	2.3 Типы систем	15
	2.4 Отношения в системах	17
	2.4.1 Типы и виды отношений	17
	2.4.2 Типы задач теории систем	19
	2.4.3 Символическое изображение систем	20
3	Моделирование систем	21
	3.1 Основные понятия и определения	21
	3.2 Вербально-информационное описание системы как начальный этап моделирования	24
4	Общие принципы и методы системного анализа	26
	4.1 Принцип декомпозиции систем. Анализ и синтез систем	26
	4.2 Задачи системного анализа и его этапы	29
	4.3 Влияние типа решения проблемы на их реализацию	30
5	Системный анализ как метод обоснования решений	32
6	Исследование операций и анализ систем	37
	6.1 Задачи исследования операций	37
	6.2 Примеры задач исследования операций экономического содержания	42
	6.3 Классификация задач исследования операций	46
7	Системы с управлением	49
	7.1 Анализ управляемой системы	50
	7.2 Структура и анализ управляемой системы	53
8	Проблемы иерархического управления в сложных системах	59
	Литература	67

## Введение

За последние годы появилось столь большое число новых научных и технических дисциплин и направлений, столь неопределенными стали границы между науками и специальностями, что сегодня физик по образованию нередко погружен в проблемы биологии, биологу часто приходится разрабатывать электронную аппаратуру, лингвисту – обращаться к основам математики, а математику – заниматься расшифровкой древних языков. Число подобных примеров поистине безгранично, но во всей этой «неразберихе» все явственней проявляются тенденции к осмыслению происходящих в науке процессов с единых позиций, к наведению «научного порядка».

Особенно ярко эти тенденции проявляются на современном этапе, когда накопление знаний приобрело буквально лавинообразный характер, когда новые научные и технические дисциплины возникают с устрашающей быстротой и когда, с другой стороны, все более настойчиво предпринимаются попытки подвести единую теоретико-методологическую базу под целевые комплексы дисциплин.

Одно из «движений за объединение» проходит под флагом идей кибернетики, в которой центральную роль играют такие используемые во многих областях знаний понятия, как «система», «управление», «структура», «обратная связь», «информация» и т.д., и которая с момента своего возникновения в качестве одного из основных методологических принципов провозгласила принцип синтеза знаний, полученных в различных отраслях науки, техники и экономики. Правда, подобные «движения» наблюдались неоднократно и в прошлом, но тогда их инициаторами были главным образом философы, в то время как нынешнее движение связано с насущными потребностями повседневной практики.

Начало было положено в 1959 г. в Кейсовском технологическом институте (Кливленд, шт. Огайо), где был создан центр исследования систем или,

точнее, системных исследований, объединивший отделы исследования операций, вычислительной техники и автоматики. Перед этим научным коллективом, который возглавил известный специалист по автоматике профессор Д.Экман, были поставлены весьма широкие и сложные задачи. Центр должен был приступить к разработке качественно новых методов анализа, синтеза и изучения сложных или больших систем, создать методологию системных исследований, способствовать развитию общей теории больших систем.

Фундаментальная проблема общей теории систем – выяснение законов, определяющих принципы образования, поведения и развития любых реальных систем, где под системой понимают множество элементов произвольной материальной и абстрактной природы, находящихся в некоторых заданных отношениях друг к другу.

В рамках общей теории систем предпринимаются попытки точного количественного определения и исследования таких понятий, как «целесообразность», «организация», «целостность» и т.п., которые прежде считались недоступными для точного изучения.

В общей теории систем применяются два метода исследования. Один – эмпирически-интуитивный – обеспечивает связь с реальным миром и позволяет проводить экспериментальную проверку теоретических построений. На базе этого метода определены все основные понятия общей теории систем. Второй метод – логически-дедуктивный – отличается строгостью выводов, но ему свойствен ряд ограничений, главное из которых состоит в том, что в рамках этого метода не поддаются исследованию открытые системы, занимающие важное место в общей теории систем.

Таким образом, общая теория систем намечает пути дальнейшего развития связей между научными дисциплинами и демонстрирует стремление к устранению «ведомственного» барьера в науке.

## 1 Системный подход к решению проблем

Термины «*теория систем*» и «*системный анализ*», или более кратко — «*системный подход*», несмотря на период более 25 лет их использования, все еще не нашли общепринятого, стандартного истолкования.

Причина этого факта заключается, скорее всего, в динамичности процессов в области человеческой деятельности и, кроме того, в принципиальной возможности использовать системный подход практически в любой решаемой человеком задаче.

Даже в определении самого понятия *система* можно обнаружить достаточно много вариантов, часть из которых базируется на глубоко философских подходах, а другая использует обыденные обстоятельства, побуждающие нас к решению практических задач системного плана.

Возрастающая сложность проблем, которые возникают в различных областях деятельности людей, предприятий, организаций, предопределила появление разнообразных подходов и методов, с помощью которых создавались определенные технологии обращения с этими проблемами. В различных сферах практической деятельности такие технологии вместе с теоретическими основами получили различные названия: в производственном, административном, политическом управлении - «менеджмент», «системный и ситуационный анализ», «стратегическое планирование», в военных и экономических вопросах - «методы исследования операций», «методы математического моделирования и прогнозирования», в научных исследованиях - «методы статистического, имитационного и системного моделирования», «методология и планирование эксперимента», в инженерно-конструкторском деле - «методы проектирования», «методы инженерного творчества», «системотехника» и тому подобное.

Все эти теоретические и прикладные направления образовывали единый поток общего системного подхода к решению проблем и преодолению

сложностей. Так, постепенно сформировались системные исследования, которые базировались на общей системологии, теории систем и теории организаций. На формирование общей теории систем, системного подхода и системного анализа решающее влияние имели работы Людвиг Ван Берталанфи (1901 – 1972, австрийский биолог-теоретик, который в 40-х годах работал в США и Канаде). После первых публикаций и периода, когда интеллектуальный климат в науке еще не оказывал содействия развитию идей системного анализа, с середины 50-х лет состояние постепенно изменилось. Идеи системного подхода приобрели признание и распространение, в особенности в США и Канаде.

Понятие «система» стало одним из основных в кибернетике. Более важно понять преимущество взгляда на этот мир с позиций *системного подхода*: возможность ставить и решать, по крайней мере, две задачи:

- расширить и углубить собственные представления о "механизме" взаимодействий объектов в системе; изучить и, возможно, открыть новые свойства системы;
- повысить эффективность системы в том плане ее функционирования, который интересует нас больше всего.

Используя классическое определение кибернетики как науки об общих законах получения, хранения, передачи и преобразования информации (кибернетика в дословном переводе — *искусство управлять*), можно считать теорию систем и системного анализа (ТССА) фундаментальным разделом экономической кибернетики.

ТССА как отрасль науки может быть разделена на две достаточно условные части:

- *теоретическую*, использующую такие отрасли, как теория вероятностей, теория информации, теория игр, теория графов, теория расписаний, теория решений, топология, факторный анализ и др.;

• *прикладную*, основанную на прикладной математической статистике, методах исследования операций, системотехнике и т. п. Таким образом, ТССА широко использует достижения многих отраслей науки и этот "захват" непрерывно расширяется.

К арсеналу методов, которые используются в прикладном анализе, имеющем междисциплинарный характер, относятся как методы хорошо формализованных направлений (оптимизация, количественное принятие решений), так и методы, которые направлены на формализацию (экспериментальные исследования, построение моделей), а также слабо формализованные методы (экспертные оценки) и операции, которые не формализуются (формулирование проблем, выявление целей, определение критериев деятельности, генерирование альтернатив и тому подобное).

Во время исследования реальной системы и принятия умозаключений приходится встречаться с большим количеством разнообразных проблем, найти решение которых таким образом, чтобы оно подходило для всех систем, – трудная и не всегда выполнимая задача. Быть профессионалом в каждой из областей человек не может. Но тот, кто руководит системным исследованием и принятием решений, должен иметь достаточно широкое образование и опыт, необходимые для распознавания и классификации конкретных проблем, для определения, к каким специалистам нужно обратиться, чтобы выполнить анализ на высоком профессиональном уровне.

Современный *системный анализ* - это прикладная дисциплина, направленная на выяснение причин реальных сложностей, а также на разработку вариантов их устранения. В развитой форме системный анализ включает рекомендации относительно влияния на проблемную ситуацию, что ведет к улучшению состояния. Появление проблем может являться признаком недостаточного системного подхода; решение проблем, как правило, есть результатом повышения системности в деятельности.

## 2 Общая теория систем

### 2.1 Первичная классификация систем

Под *системой* понимается множество элементов произвольной природы, которые связаны между собой и образуют определенную целостность.

*Окружающей*, или внешней, средой называется все, что не относится к системе и может влиять на нее.

Иногда различают среды прямого и опосредованного действия на систему. К первой относят то, что содержит факторы, которые непосредственно влияют на систему, а ко второй - такую часть среды, факторы которой могут не иметь немедленного и прямого проявления в системе, но все-таки влияют на нее.

К *основным особенностям* систем относятся:

- целостность;
- относительная обособленность от окружающей среды;
- обязательная связь с этой средой;
- структурированность, то есть существование в системе определенных частей и связей между ними;
- определенная целеустремленность системы.

Обратим внимание, что последняя характеристика системы имеет большое значение в применениях теории систем.

*По природе элементов* различают материальные (конкретные, реальные) и абстрактные системы.

Первые делят следующим образом:

- системы неорганической природы, например технические, физические, геологические, химические системы;
- живые системы - организмы, микроорганизмы, популяции, экологические системы.

Особый класс материальных живых систем образуют социальные системы от простейших социальных объединений (семья, организация) до социально-экономической системы общества.

Примерами абстрактных систем являются гипотезы, теории, научные знания, языковые системы, логические системы и тому подобное.

**По происхождению** системы разделяются на природные, искусственные и смешанные (рисунок 1).

**Природные** системы - это многокомпонентные объекты, которые имеют свойства систем и возникают вследствие природных процессов.

**Искусственная** система - это система, которая создана человеком как способ для достижения определенной цели.

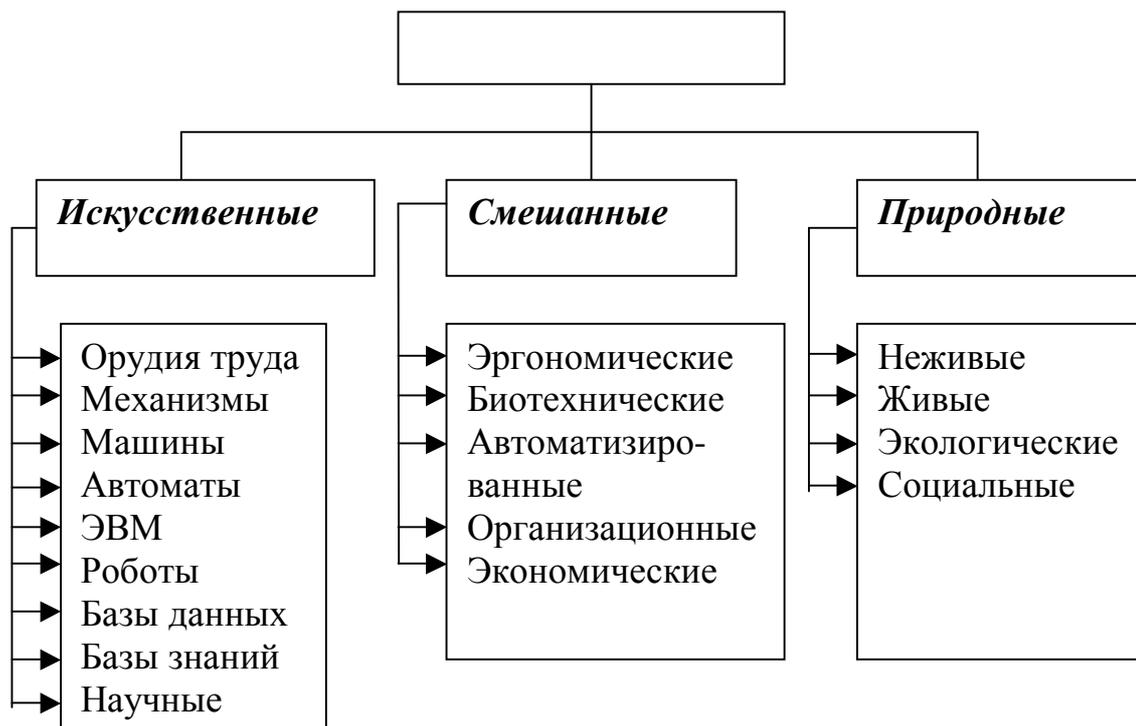
**Цель** - это субъективный образ несуществующего, но желательного состояния среды или объекта, который бы решил проблему, которая возникла. Примеры систем, которые реализуют определенные цели, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры систем, которые реализуют определенные цели

Цель	Система
Указать время в нужный момент	Часы
Передать изображение и звук на какое-то расстояние практически мгновенно	Телевидение
Обеспечить передвижение больших масс людей в городе	Транспорт

Связь цели и системы неоднозначна: различные системы могут быть ориентированы на одну цель; одна система может иметь и часто имеет несколько различных целей. Если расширить понятие цели, считая любое будущее состояние системы объективной целью, то можно сказать о целеустремленности природных систем.

**Смешанные** системы имеют искусственные и природные подсистемы. Например, лесное хозяйство рядом с лесными участками имеет механизмы для добывания и обработки древесины.



**Рисунок 1 – Классификация систем по их происхождению**

Особый класс образуют социально-технические системы, в состав которых входят не только техника, но индивидуумы и коллективы, связанные с работой системы. Одним из самых распространенных классов таких систем есть организационные системы или организации, состоящие из групп людей, деятельность которых сознательно координируется для выполнения определенных функций или для достижения общих целей с использованием определенных технических способов или технологий. Идеологическую основу для определения цели социально-технической системы представляет система ее ценностей. Она является объектом системного анализа на стадии выявления соответствующей действительности целей лиц, которые входят в систе-

му, ибо официально декларированные цели могут не совпадать с соответствующей действительностью.

*По взаимодействию с внешней средой* различают два типа систем: закрытые и открытые.

*Закрытая* система имеет фиксированные границы, ее действие характеризуется высокой степенью независимости от окружающей среды. Например, часы обычно считают закрытой системой. Пока в ней существует источник энергии, до тех пор система не зависит от среды.

*Открытая* система характеризуется взаимодействием с внешней средой. Энергия, информация, вещество, материалы есть объекты обмена открытой системы со средой через границы системы. Обычно открытая система имеет свойство той или иной мерой приспосабливаться к изменениям во внешней среде и должна это делать, чтобы продлевать свое существование и действие. Открытыми системами являются организационные системы. Существование любой организации зависит от внешнего мира. Даже для монастыря необходимо, чтобы время от времени в него приходили люди, поступали продукты, поддерживались связи с церковью, которая основала его. Недостатки подходов старых школ к управлению состояли, прежде всего, в недостаточном понимании открытости организационных систем.

Системы, для исследования которых с целью управления не хватает материальных ресурсов времени, базы данных, иных способов, считаются *большими*. То есть большими являются системы, исследование которых имеет трудности, связанные с размерами. Примерами больших систем являются экономическая система страны, нейрофизическая система мозга человека и тому подобное.

Признаком *простой* системы есть сравнительно небольшой объем информации, который нужен для ее успешного управления.

Системы, при исследовании которых не хватает информации для эффективного управления, считают *сложными*.

Вследствие недостаточной информации управление сложной системой может давать непредвиденные последствия. Есть два основных способа преобразования сложной системы в простую. Первый состоит в выяснении причин сложности, получении необходимой информации и введении в модель системы. Второй - изменение цели системы.

Обратим внимание, что приведенное понятие системы является достаточно широким и позволяет рассматривать практически все объекты в виде системы, а также много явлений и процессов различной природы.

В дальнейшем из искусственных систем больше внимания будем уделять техническим системам, а из смешанных – экономическим. Для студентов с экономическим профилем обучения наибольший интерес представляют, естественно, *экономические системы*, а глобальной задачей системного подхода является совершенствование процесса управления экономикой. Поэтому для экономистов и менеджеров предметом системного анализа будут являться вопросы сбора, хранения и обработки информации об экономических объектах и, возможно, технологических процессах.

Вместе с тем в теории систем имеется свое "ядро", свой особый метод — *системный подход* к возникающим задачам. Сущность этого метода достаточно проста: *все элементы* системы и *все операции* в ней должны рассматриваться *только* как одно целое, только в совокупности, только *во взаимосвязи* друг с другом.

Все изложенное выше позволяет формализовать определение термина “*система*”, а именно: *система - это многоуровневая конструкция из взаимодействующих элементов, объединяемых в подсистемы нескольких уровней для достижения единой цели функционирования (целевой функции).*

## 2.2 Основные понятия и определения теории систем

Выбор понятий и определений осуществлялся по такому принципу:

- широкое использование терминов в их устоявшемся значении, которое может быть лишь уточнено;
- ориентация в терминологическом плане на фундаментальные науки (математика, кибернетика, и пр.) с учетом того, что термины, которые вводятся, должны охватывать и область экономики;
- использование, где это возможно, международных терминов, что улучшает их восприятие на международном уровне.

Перечислим основные понятия и определения теории систем.

**Множество** - это совокупность объектов - элементов множества, которые можно наблюдать или вообразить. По количеству элементов различают конечные и бесконечные множества. Если  $x$  – элемент множества  $M$ , то записывают:  $x \in M$ . Два множества  $M$  и  $N$  эквивалентны, если каждому элементу множества  $M$  точно отвечает элемент  $N$  и наоборот. Если все элементы  $N$  помещены в  $M$ , то  $N$  – подмножество  $N \in M$ . Совокупность всех элементов  $M$ , которые не принадлежат  $N$ , имеют название дополнения множества  $N$ .

Системой мы называем совокупность, которая образована (согласно правилам) с конечного множества элементов. При этом между элементами системы существуют определенные отношения. Возможны также системы, в которые входят изолированные элементы (или их группы), которые не имеют отношений с иными элементами.

Система может быть разделена на подсистемы различной сложности.

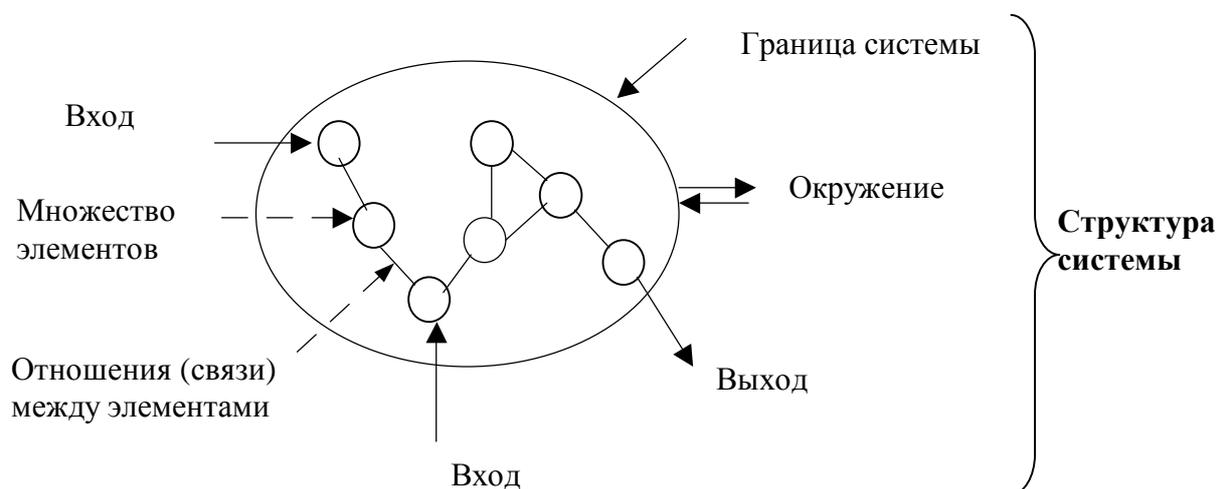
Понятие “**система**” находится в одном ряду с такими понятиями, как назначение, поведение, структура, окружение, вход, выход, свойства, состояние.

**Вход** – это внешние отношения “*окружающая среда* ® *система*”.

**Выход** – внешние отношения “система ® окружающая среда”.

**Свойство** – это любой существенный признак объекта. Совокупность значений свойств системы в определенный момент времени называется состоянием системы.

Модель системы наглядно иллюстрирует все приведенные выше определения (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Общая модель системы**

### **2.3 Типы систем**

Используя различные критерии, можно установить большое количество типов систем:

а) По назначению системы в иерархии:

- **сверхсистема;**
- **система;**
- **подсистема.**

б) По связям с окружением:

- **открытые** (с определенным окружением, то есть хотя бы с одним входом и одним выходом);

- **запертые** (без связей с окружением).

в) По изменению состояния:

- **динамические** (состояние изменяется с течением времени);

- **статические** (состояние не изменяется с течением времени).

г) По характеру функционирования:

- **детерминированные** (в зависимости от состояния системы можно однозначно судить о ее функционировании);

- **стохастические** (можно только высказать предположения относительно различных возможных вариантов функционирования).

д) По виду элементов (относительно их конкретности):

- **конкретные** (элементами являются реальные объекты);

- **абстрактные** (элементы – абстрагированные объекты).

е) По происхождению:

- **природные** (образованные природой);

- **искусственные** (созданные людьми);

- **смешанные**.

ж) По характеру зависимости выходов:

- **комбинаторные** (выход зависит только от входа);

- **секвентивные** (выход зависит от входа и иных причин).

з) По степени сложности структуры:

- **сверхсложные** (например, мозг, народное хозяйство страны);

- **очень сложные** (полностью автоматизированное производство, производственный комплекс);

- **сложные** (легковой автомобиль, библиотека университета);

- *простые* (семейная библиотека, болтовое соединение).

и) По типу элементов:

- *системы* типа “объект” (дом, двигатель, машина);

- *системы* типа “процесс” (изготовление, фильтрация).

## 2.4 Отношения в системах

### 2.4.1 Типы и виды отношений

Отношением  $R$  называется взаимозависимость или взаимодействие двух и больше объектов или явлений абстрактного или конкретного типа. Отношения связывают отдельные элементы в различные системы. Выражение “объект  $X$  находится в отношении к объекту  $Y$ ” символически обозначается  $R(x, y)$ . Отношения могут быть рефлексивными, симметричными или транзитными.

а) *Рефлексивность* - каждый объект эквивалентен самому себе.

б) *Симметричность* - если один объект эквивалентен второму, то второй объект эквивалентен первому.

в) *Транзитность* - два объекта эквивалентны между собой, если каждый из них по отдельности эквивалентен третьему.

Если выполняются все условия, то отношение имеет название отношение эквивалентности. Отношение между двумя объектами называется корреляцией. Корреляция - это математическая модель в обобщенной форме.

#### Основные определения

*Сходство* - это отношения совпадений между двумя или больше системами (объектами, процессами), определенные некоторыми общими свойствами.

*Аналогия* - соответствие существенных признаков, свойств, структур или функций объектов или явлений.

**Гомоморфизм** - отношения между двумя системами, когда каждую составную часть и каждое отношение одной системы можно отобразить на некоторую составную часть и некоторое отношение второй системы (но не наоборот). Например, можно перенести результаты экспериментов с модели на натуру.

**Изоморфизм** - это отношения между двумя системами, когда каждой составной части одной системы отвечает определенная составная часть другой, и наоборот (симметричность).

**Идентичность** - это отношения между объектами или процессами, которые характеризуются одинаковыми свойствами (признаками). При абсолютной идентичности должны быть одинаковыми все свойства, при относительной идентичности - лишь некоторые (в этом случае имеет место сходство).

**Эквивалентность** - это отношения эквивалентности, то есть равной стоимости.

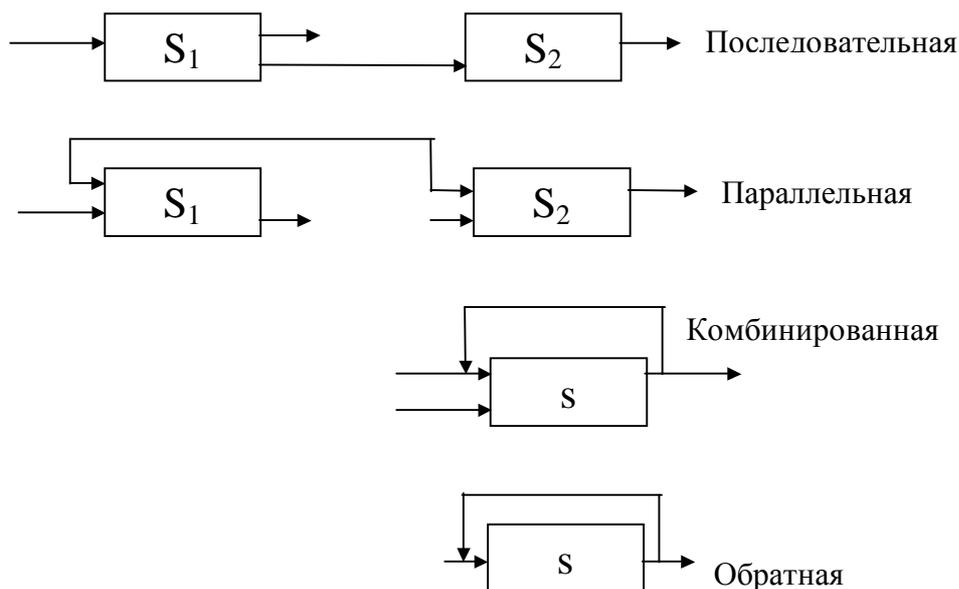
**Математическая функция** -  $y=f(x)$ , то есть выражение, которое точно устанавливает отношение между  $y$  и  $x$ , то есть детерминированную связь.

**Причинность.** Между причиной и действием существуют асимметрические отношения. Причина вызывает действие, например, “если...., то”

**Связь.** Если определенные выходы элемента (системы) одновременно являются входами любого элемента (системы), то эти отношения называют связью. Связь может быть прямой (последовательной, когда она существует между собой, выходом и входом систем, или параллельной, когда связывает входы двух систем), обратной или комбинированной (рисунок 3). Связь может также быть материальной, энергетической, информационной.

**Отношение «цель – способ».** Это двухстороннее асимметрическое отношение между системой цели и способом реализации этой цели.

**Пространственное отношение** - характеризует взаимное положение элементов в пространстве, задаваемое трехмерной системой координат (например, топология).



**Рисунок 3 – Примеры связей между системами**

**Логические отношения** – это отношения между объектами типа “11<12”. Известные константы (структуры): и, или, и-или, не-или, или-или, если-то, равно; временные отношения - отношения контролируют процессы действия с влиянием времени.

### 2.4.2 Типы задач теории систем

В связи с системами рассматриваются три типа задач:

1 Задача **синтеза** - задан характер функционирования и прочие требования к системе, нужно определить структуру, которая удовлетворяет поставленным требованиям.

2 Задача *анализа* - задана структура, нужно определить функционирование системы.

3 Задача *черного ящика* - задана система, структура которой неизвестна или известна частично, нужно определить ее функционирование и, возможно, структуру.

### 2.4.3 Символическое изображение систем

Применяют четырехугольник, круг или их комбинацию, употребляя для систем типа “объект” (TS) и “процесс” (P) различные символы (рисунок 4).

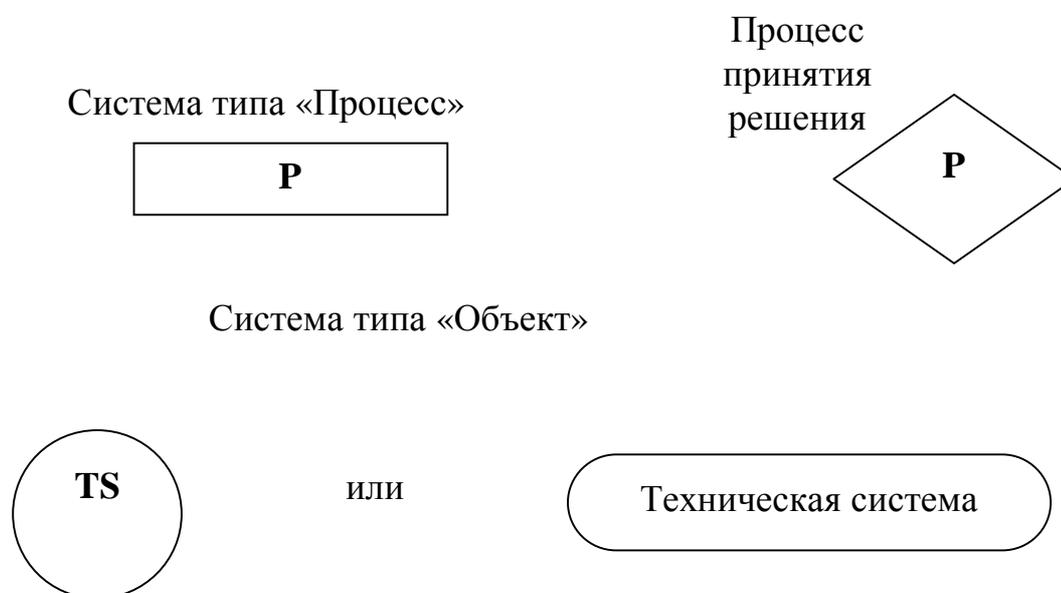


Рисунок 4 – Символическое изображение различных систем

#### **Выводы:**

- 1 Функционирование системы задается ее структурой.
- 2 Относительно запертая (закрытая) система с заданной структурой функционирует однозначно, то есть ее функционирование полностью определяет структура.

3 Функционирование системы не определяет структуру однозначно. Одна и та же функция системы может быть реализована различными структурами.

## 3 Моделирование систем

### 3.1 Основные понятия и определения

Термин “*модель*” происходит от лат. *modulus* - образец. То есть *модель* является вспомогательным способом, который в определенной ситуации заменяет систему при исследовании ее свойств.

Модели могут быть не только материальными, но и идеальными, или абстрактными. Модели - это специальные системы, так что мир моделей - это системный мир. Особое значение в наше время приобретает математическое или машинно-информационное моделирование.

Из того, что модель есть целевым отображением некоторой системы или объекта, вытекает, что возможны различные модели того же самого объекта, ибо для различных целей нужны различные модели. Этот принцип многомодельности отображения объекта (явления) является одним из главных для современного системного анализа.

*Познавательные* модели есть формой организации и изображения знаний, а также способом объединения новых знаний с имеющимися знаниями.

*Прагматичные* модели являются способом управления практическими действиями или организации их результатов.

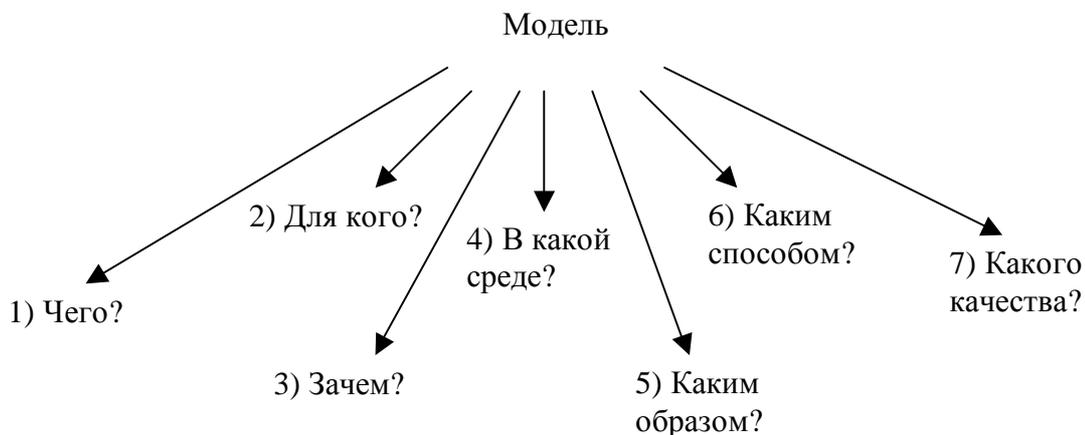
Особое место среди абстрактных моделей занимают языковые модели. Неоднозначность, нечеткость естественных языков могут мешать в некоторых ситуациях практической деятельности. Тогда создаются более точные профессиональные языки, целая сложная иерархия языков в современной науке, что завершается формализованным языком современной математики, специальными машинными языками для ЭВМ.

Для реализации модельных функций нужно, чтобы модель была согласована со своей культурной средой, чтобы она входила в эту среду как ее составная часть, а не посторонний элемент. То есть модель должна быть *ингерентной* со своей средой.

Характерной особенностью моделей есть упрощение относительно оригинала. Упрощенность моделей является неминуемой, так как оригинал только в конечном числе отношений отображается при моделировании и ресурсы моделирования ограничены. Кроме того, способы оперирования моделью ограничены из-за необходимости ингерентности.

Вследствие упрощенности возникают качественные расхождения модели и оригинала. *Модель, с помощью которой успешно достигается цель, называется адекватной цели.* Адекватность означает, что требования точности, полноты и истинности модели выполняются не вообще, а лишь достаточной мерой для достижения цели. В свое время, например, модель солнечной системы Птолемея была неверна, но адекватна в отношении точности описания движения планет. Нужно сказать, что в этой модели не все неверно. Обычно в моделях, кроме несомненно истинного, есть верное только при определенных условиях, есть что-то и ошибочное.

На схеме (рисунок 5) показаны основные требования, которые должен учитывать инициатор и пользователь моделирования.



### Рисунок 5 – Перечень вопросов для разработчика модели

Модель как система отображения оригинала может быть абстрактной или реальной по своей природе, статической или динамической во времени, *ингерентной* по отношению к окружающей среде, конечной, упрощенной, приближительной, содержащей рядом с безусловно-истинным условно-истинное, а также ошибочное содержание, что проявляется и развивается в процессе использования модели. Абстрактная модель задается в виде математического уравнения либо в виде программы для вычислительной машины, либо как некоторая физическая модель, либо с помощью словесного описания и т. д., а цель исследования состоит в обнаружении основных свойств ее поведения. Следовательно, любую реальную существующую систему можно представить как некоторую абстрактную аналогию или модель определенного класса.

Как и любая реальность, модель с течением времени изменяется, имеет, как говорят в системном анализе, свой “жизненный цикл”.

При моделировании полезно помнить:

- 1 Пользование готовыми моделями не требует знания их истории, но для разработки моделей необходимо знать этапы их развития.

- 2 На этапе создания моделей решающее значение имеют эвристические способности человеческого интеллекта, которые не формализуются.
- 3 Невозможность полной формализации основных этапов моделирования превращает его в искусство.
- 4 Искусство и наука моделирования состоят в разделении процесса на отдельные этапы, детальном изучении их и описании с максимально возможной степенью формализации, а также в изучении и оценке вариантов.
- 5 В целом моделирование является неделимым сочетанием науки, искусства и опыта.

### **3.2 Вербально-информационное описание системы как начальный этап моделирования**

Для создания той или иной модели системы нужно на первых порах дать ее вербально-информационное описание, а именно:

- описание внешней среды;
- описание связей системы с внешней средой;
- элементарный состав системы, ее части, которые могут рассматриваться как системы меньшего размера или подсистемы;
- описание связей между элементами системы и подсистем, или важных, главных связей между элементами и подсистемами, если невозможно описать все эти связи;
- действие системы.

Такое описание системы можно считать начальной моделью системы, которая может быть базой для создания иных, более специализированных

моделей системы высшего уровня. Обычно это начальное описание системы имеет вербальный характер (от лат. *verbalis* - словесный).

Обратим внимание, что некоторые части описания системы могут быть неполными, что связано со сложностью самой системы, ее связей, а также с неполной информацией о работе системы и т. п. Эта информационная неполнота описания системы потом упорядочивается следующими моделями более высокого порядка и должна быть учтена при использовании моделями.

Довольно часто в различных областях знаний построение моделей более высокого порядка оказывается столь сложным делом, что моделирование заканчивается на первом этапе. Но если вербальная модель системы составлена удачно, то и она позволяет принимать достаточно эффективные решения, решать различные проблемы, вырабатывать способы управления системой, давать возможные прогнозы эволюции системы и рекомендации.

*Недостатком вербальных моделей* есть то, что они часто недостаточно четкие. Если система сложная, то такая модель теряет наглядность, с нею тяжело работать. Способы работы по вербальным моделям, их анализ и выводы в определенной мере субъективны, зависят от исследователя, глубина исследования часто ограничена. Вербальные модели распространены в так называемых неточных науках.

В точных науках вербальная модель - это начальная, эвристическая, промежуточная модель. Она используется для построения следующих моделей, формы которых разнообразны и зависят от природы объекта, который моделируется, и цели его изучения. Окончательные модели могут быть предметными, физическими, т. е. такими, что отображают объект или процесс с сохранением его физической природы. Часто используется физическая модель-аналог, которая имеет иную физическую природу, но описывается такими же математическими соотношениями, что и начальный объект. По этому принципу, например, построены аналоговые вычислительные машины. Окончательное моделирование может быть знаковым, то есть модель может

составляться из определенных знаков-символов, которые являются элементами специального языка, приспособленного к составлению определенного класса моделей. Частным случаем знакового моделирования есть математическое моделирование.

Различают модели :

- типа «жизненный цикл»;
- типа «черный ящик»;
- графические;
- статические;
- динамические;
- математические.

## **4 Общие принципы и методы системного анализа**

### **4.1 Принцип декомпозиции систем. Анализ и синтез систем**

В научных исследованиях большую роль играют методы анализа и синтеза. Аналитический метод в явной форме как самостоятельный технический прием познания был основан в 17-м столетии представителями рационализма. Рене Декарт (1596-1650гг.) формулировал суть аналитического метода как разбиения задачи на столько частей, сколько нужно для того, чтобы ее легко можно было решить.

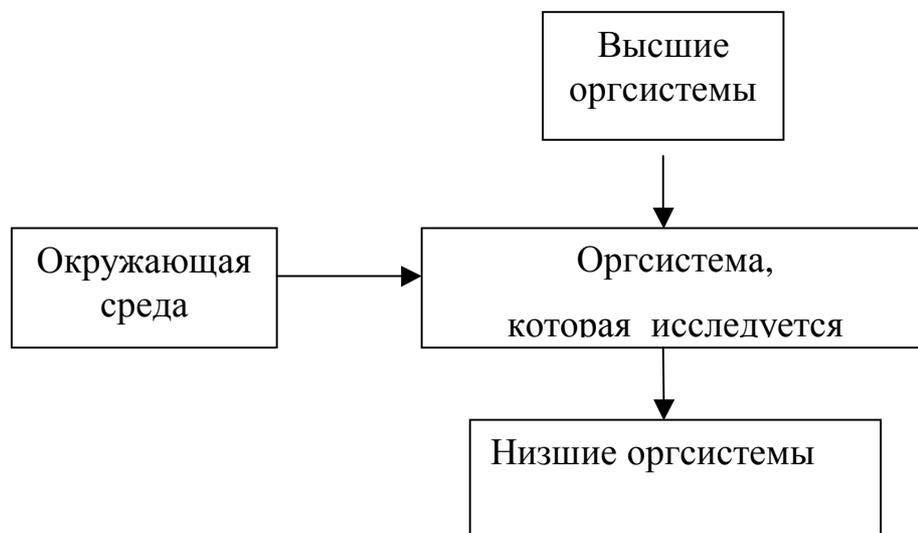
Успех и значение анализа состоят не только в том, что целое разбивается на достаточно простые части, а и в том, что, объединяя, синтезируя эти части, можно вновь образовать целое. Момент воссоединения, агрегатирования частей в целое является конечным этапом анализа, что позволяет объяснить целое через части в виде структуры целого. Не только аналитический метод невозможен без синтеза (то есть агрегации частей в структуру), но и синтетический метод объединения частей в целое невозможен без анализа, так как необходима дезагрегация целого для пояснения функций частей. Анализ и синтез дополняют, но не заменяют друг друга. Системные исследования соединяют оба указанных метода.

***Операции разложения целого на части и объединения их в целое, то есть операции анализа и синтеза, в системных исследованиях называются декомпозицией или агрегатированием.***

Анализ и синтез являются действиями, которые содержат простые операции декомпозиции и агрегатирования, которые, в свою очередь, можно разложить на мелкие элементы. При применении декомпозиции задача разделяется на подзадачи, система - на подсистемы, цели - на подцели и тому подобное. Повторяя этот процесс можно создать иерархическую древовидную структуру деления. Конечно, из-за сложности объекта, слабой струк-

турированности и тому подобного операцию декомпозиции выполняет квалифицированный эксперт. Различные эксперты могут давать различные перечни - деревья декомпозиции, что зависит от их компетентности в данной области и методики, которая применяется.

Основой декомпозиции является модель системы. Поэтому полная декомпозиция (то есть то, насколько полон список частей целого) зависит от завершенности модели, ее полноты. Через абстрактность модели довольно часто достигается ее абсолютная полнота. Например, приведенная схема (рисунок 6) входов организационной системы является полной моделью, так как указаны все типы возможных влияний на эту систему, конечно, в обобщенном виде, которые можно детализировать.



**Рисунок 6 – Схема полной модели системы**

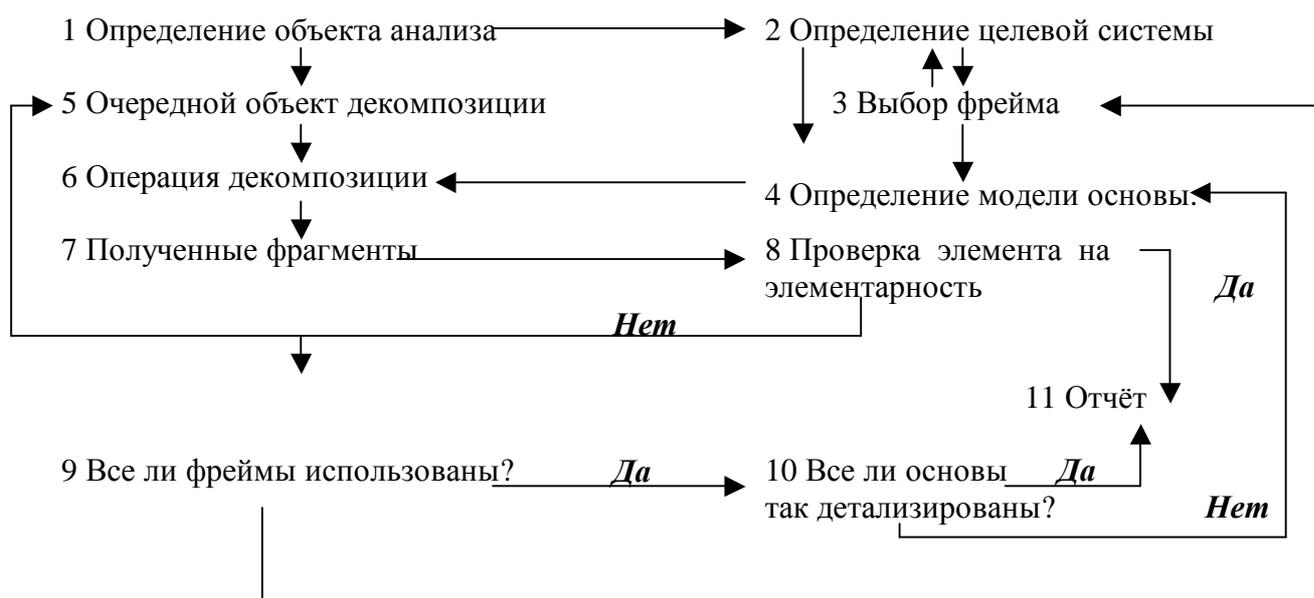
Вторым примером является формальный список типов ресурсов, которые может использовать система. Этот список составляется из материальных ресурсов, энергии, времени, информации, трудовых ресурсов (для социотехнических систем) и финансов. Благодаря обобщенному списку при анализе ресурсного обеспечения не пропускается ни один тип ресурсов.

Все это свидетельствует о важности полноты формальной модели. Следовательно, необходимо накопление наборов полных формальных моделей или фреймов в информационном обеспечении системных исследований. Конечно, полнота модели является только необходимым, но не достаточным

условием полноты декомпозиции. Для того, чтобы обеспечить определенную полноту и возможность расширения содержательной модели, рекомендуется делать логическое замыкание списка ее элементов компонентом «все иное». Этот компонент будет «молчаливым», когда к нему обнесено все несущественное, но его наличие постоянно напоминает эксперту, что, возможно, он не учел что-то важное.

Требование полноты противоречит требованию простоты, который приводит к употреблению компактных моделей - основ, в то время как принцип полноты требует больших и, возможно, сложных моделей - основ. Компромисс достигается через понятие существенности: модель - основу надлежит вводить только такие компоненты, которые важны для конечной цели исследования (подобные компоненты называются *релевантными*).

Обычно эти неформальные действия возлагаются на эксперта, который решает, что в данной модели важное, а что нет. В процедуре декомпозиции важно предусмотреть возможность внесения поправок и дополнений к модели, употребляя, например, элемент «все иное» или разукрупнение модели. Последовательность действий при декомпозиции изображена на рисунке 7.



**Рисунок 7 – Последовательность действий при декомпозиции системы**

Если декомпозиция приводит к результату (подцели, подфункции, подзадаче и тому подобное), который не подлежит дальнейшему разбиению, то есть к простому понятному результату, то он называется *элементарным*. В некоторых задачах (математических, технических и тому подобных) элементарность можно конкретизировать по определенным формальным признакам. Вообще же определение элементарности – дело эксперта.

Сложности, которые возникают при декомпозиции, могут быть связаны с некомпетентностью эксперта в определенных областях (это требует привлечения дополнительных экспертов) или неполным пониманием системы. Если в науке сложность из-за непонимания расценивается как временное и потому терпимое явление, то в управлении производственными, административными, политическими делами непонимание часто недопустимо.

Иногда несовершенство декомпозиции систем и проектов обусловлено тем, что в его основу заложены только положительные составляющие, а отрицательные не учтены. Поэтому когда эксперты рассматривают проект, они должны учитывать его возможные отрицательные последствия. Так, например, в классификатор выходов любой производственной системы кроме полезных конечных продуктов нужно всегда включать отходы и разрабатывать определенные комплексы действий с ними.

## **4.2 Задачи системного анализа и его этапы**

*Главной задачей* системного анализа является создание общей методологии изучения и моделирования сложных систем, а также управление ими в условиях неполной информации и различных ограничений (ограниченность ресурсов, дефицит времени и тому подобное). Сюда надлежит прибавить эвристические (то есть творческие, нестандартные) методы поиска решения слабо структурированных задач, которые полностью не формализуются, и часто – психологические аспекты деятельности людей.

Неполная формализация задач требует применения широкого спектра неформальных знаний и методов. Поэтому специалисты по системным исследованиям - системные аналитики - должны иметь очень высокий общий уровень культуры, обладать как теоретическими, так и практическими знаниями, а также искусством нестандартно мыслить.

Системный анализ начинается с первичного формирования проблемы, потом определяется общая проблематика, указываются цели, формируются и агрегируются критерии (агрегатирование – операция, противоположная декомпозиции, то есть объединение элементов в целое, которое называется агрегатом), генерируются альтернативы и сценарии. Эти процедуры сопровождаются дополнительными действиями, связанными с определением причастных сторон и их интересов, отбором ресурсов и системы языков для описания проблемы (*конфигуратора*), которые существенным образом влияют на построение окончательной модели для анализа и исследования.

На последующих этапах системного исследования изучается возможность алгоритмизации анализа, а потом этот анализ выполняется с использованием как формальных, так и неформальных методов. Формирование выводов с указанием действий относительно реализации полученных результатов, т.е. формирование окончательной модели системы, завершает системные исследования.

### **4.3 Влияние типа решения проблемы на реализацию**

В современном системном анализе различают четыре главных типа обращения с какой-либо проблемой реальной жизни:

- 1) абсолюция;
- 2) резолюция;
- 3) солюция;
- 4) дисолюция.

**Абсолюция** - это способ действий, который состоит в том, чтобы не разрешать проблему, а полагаться на то, что она исчезнет сама.

**Резолюция** - это способ действий, когда что-то делается для частичного решения проблемы, чтобы свести ее к некоторому допустимому состоянию.

**Солюция** – способ действий, решающий проблему самым лучшим (оптимальным) образом в данных условиях.

**Дисолюция** - способ действий, направленный на снятие проблемы путем изменения условий или изменений в системе и ее окружении, чтобы тем самым не только решить эту проблему, но и будущие проблемы система смогла преодолеть сама. Способ дисолюции применяется в наиболее развитых формах системных исследований.

### **Пример**

*В автобусной компании произошел конфликт между водителями и кондукторами после введения надбавок за качество труда, которая оценивалась точностью соблюдения графика движения. Кондукторы не успевали обслуживать пассажиров, проверять билеты и правильность оплаты, которая зависела от расстояния, а также продавать новые билеты. Поэтому они задерживали отправление автобусов. На первых порах руководство компании игнорировало эту проблему (**абсолюция**), когда же конфликт начал разрастаться и профсоюзы пригрозили забастовкой, руководство постаралось возвратиться к старой системе оплаты без надбавок (**резолюция**), но водители и кондукторы не соглашались со снижением оплаты. Тогда руководство предложило делить надбавки поровну между водителями и кондукторами (**солюция**), но те отказались, ибо не хотели сотрудничать (конфликт зашел достаточно далеко).*

*Проблема была ликвидирована консультантом-аналитиком, который при исследовании обратил внимание на тот факт, что в часы пик количество автобусов превышало количество остановок. Он предложил снимать в эти часы кондукторов с автобусов, чтобы те работали на остановках. Там кондукторы успевали продавать билеты тем, кто собирался ехать и проверять билеты у тех, кто выходил из автобуса. После часа пик кондукторы возвращались в автобусы. Таким образом компания не только решила свою проблему, но и получила экономию за счет уменьшения количества кондукторов в часы пик.*

## 5 Системный анализ как метод обоснования решений

Системные исследования (или системный анализ) опираются на системность любой целенаправленной деятельности. Чтобы осуществлять эту деятельность, нужно построить определенную систему моделей, с помощью которой возможно обобщать, передавать и усовершенствовать опыт. Эти модели могут быть как хорошо формализованными (с широким применением математических методов), так и неформализованными, например эвристическими или эмпирическими.

Достижение определенной цели связано с принятием решений, как это сделать. Главной операцией в процессе принятия решений является *выбор*. Как раз он является акцией, которая придает деятельности целенаправленность, подчиняя всю деятельность определенной цели или же некоторой совокупности целей.

Выбор осуществляется при условиях, когда возможны различные варианты действий, или, используя иную терминологию, альтернативы, которые могут приводить к различным последствиям, а осуществлять можно лишь одну из альтернатив, причем довольно часто возвратиться к предыдущей ситуации бывает уже невозможно.

Способность, воспринимая всю сложность ситуации, сделать выбор, принять определенное решение - одно из самых ценных качеств, присущее людям в различной мере. Великие полководцы, выдающиеся политики, гениальные ученые и инженеры, талантливые администраторы и управленцы отличались от своих коллег или конкурентов прежде всего умением принимать лучшие решения, делать лучший выбор.

Моделирование процессов принятия решения отображает типичную картину, присущую моделированию вообще: полная формализация, поиск самого лучшего (оптимального) решения возможны лишь для хорошо изу-

ченных или хорошо структурированных задач, а для решения слабо структурированных, или недостаточно изученных задач полных формальных алгоритмов не существует (если не принимать во внимание тривиального, но далеко не всегда благоприятного алгоритма перебирания вариантов, то есть так называемого метода проб и ошибок). Конечно, опытные, талантливые специалисты, опираясь на знание, опыт, интуицию, довольно часто могут делать правильный выбор, который более-менее удовлетворяет практические потребности.

Современная тенденция выбора состоит в объединении способности человека решать сложные неформализованные задачи, используя возможности различных формальных методов и компьютерного моделирования.

Вообще **принятие решения** – это действие (операция) над множеством альтернатив, которое приводят к более узкому подмножеству отобранных альтернатив. Иногда это подмножество может состоять только из одной альтернативы.

Множество альтернатив можно сузить, если есть способ сравнения альтернатив между собою и определения наиболее преобладающих из них, то есть имеется **критерий преимущества**.

Следовательно, для того, чтобы принять решение, т. е., осуществить выбор, нужно сгенерировать множество альтернатив и иметь определенные цели. **Ситуации и варианты выбора могут быть такие:**

1) в зависимости от количества альтернатив множество альтернатив может быть конечным, перечисленным или же неопределенным;

2) в зависимости от числа критериев оценка альтернативы может происходить по одному критерию (однокритериальный выбор) или по определенной семье критериев (многокритериальный выбор), причем отдельные критерии могут иметь количественный характер;

3) с учетом режима выбора выбор может быть одноразовым (однократным) или же многократным, повторным, что позволяет учиться на опыте;

4) условия выбора, а следовательно, его последствия могут быть точно известны (выбор в условиях определенности); иметь вероятностный характер, когда известны вероятности возможных событий после выбора (выбор в условиях риска или в условиях стохастического риска); иметь неопределенный характер, что не позволяет введение вероятностей (выбор в условиях неопределенности);

5) ответственность за выбор может быть односторонней (индивидуальный выбор), или же многосторонней (групповой или коллективный выбор);

6) степень согласованности целей при условиях многостороннего выбора может изменяться в широких пределах: от полного совпадения интересов сторон (кооперативный выбор) до их прямой противоположности (в случае конфликта).

Различные сочетания вариантов и ситуаций обуславливают разнообразие задач выбора. Основные типы задач выбора представлены на рисунке 8.

В экономических исследованиях часто возникают задачи статистического описания связей между различными характеристиками и показателями экономических, социологических и смешанных экономико-социологических явлений. Они связаны с двумя фундаментальными проблемами выбора. Первая проблема состоит в выборе достаточно адекватной модели, которая описывает связи с точностью, приемлемой для некоторого набора параметров. Вторая проблема связана со статистическим определением значений параметров модели (так называемых оценок по наблюдениям в условиях статической неопределенности). Если эти проблемы разрешимы, то конкретную модель можно применить для рационализации экономической и социальной деятельности (известно, что экономика – это, прежде всего, наука о рациональном ведении хозяйства). Тем не менее, какая угодно рациональная деятельность невозможна, если невозможно предусмотреть или спрогнозировать возможные последствия тех или иных действий. Такая ответственность за принятое решение является основой выбора рациональной деятельности.



**Рисунок 8 – Варианты принятия решений**

Нужно заметить, что формальных методов выбора настолько много, что ориентироваться в них очень тяжело даже самым опытным специалистам. Каждый раздел современной математической теории принятия решений имеет свою систему основных понятий и специфических методов, связанных с определенным классом задач выбора. Таким образом, получается достаточно большое разнообразие языков общей формальной теории принятия решений.

Перечислим основные типы задач, принятие обоснованных решений по которым осуществляется с помощью системного анализа:

- 1) задачи выбора языком теории обычной (однокритериальной) оптимизации;
- 2) задачи математического программирования;
- 3) линейное программирование;
- 4) задачи объемного программирования;
- 5) плоские задачи нелинейного математического программирования;
- 6) задачи оптимального управления дискретными динамическими системами;
- 7) оптимальное управление непрерывными динамическими системами;
- 8) задачи выбора языком теории многокритериальной оптимизации;
- 9) задачи выбора языком исследования операций.

Решение этих и некоторых других задач можно найти в литературе [2, 5, 10]. Остановимся детально на последнем типе задач.

## 6 Исследование операций и анализ систем

### 6.1 Задачи исследования операций

**Исследование операций** является направлением современной прикладной математики, которое изучает определенные классы математических моделей принятия решений. Задачи исследования операций позволяют использовать общий подход и общий язык ко многим хорошо структурированным проблемам выбора.

Термин *“исследование операций”* произошел от такого же названия подразделения английской армии, которое в начале второй мировой войны занималось применением количественных методов в обработке радарных наблюдений. Поэтому в языке исследования операций используются некоторые военные термины: операция, стратегия.

Остановимся вначале на содержании (смысле) основной терминологии исследования операций.

*Операцией называется совокупность действий, направленных на достижение некоторой цели.*

Оперирующей стороной называется совокупность лиц, которые стремятся к этой цели. Кроме того, в операционной ситуации могут присутствовать и иные лица, которые влияют на ход операции и имеют собственные цели. Их наряду с иными факторами, которые влияют на операцию, но не подчиняются оперирующей стороне, (например, природные факторы) относят к неконтролируемым факторам операции. Оперирующая сторона может иметь исследователя операции, то есть аналитика, который составляет и исследует математическую модель операции, но не принимает окончательного решения.

*Ресурсы для достижения цели называются активными средствами.*

Неконтролируемые факторы в зависимости от информированности о них исследователя разделяются:

- 1) фиксированные, то есть факторы, значение которых точно известно;
- 2) случайные, т. е. случайные величины с известными распределениями;
- 3) неопределенные - детерминированные или случайные величины, относительно которых известна область возможных значений или класс возможных законов распределения.

***Комплекс возможных действий для достижения цели с применением активных способов, который может осуществлять оперирующая сторона, называется стратегией (на языке теории выбора - это альтернатива или возможное решение).***

Для создания математической модели исследования операции нужно формализовать, т. е. содержательно сформулировать задачу, проанализировать ее, употребляя тот или иной математический аппарат, и сделать выводы.

Формализация задачи включает:

- 1) описание множества возможных стратегий (множества альтернатив)  $X$ , то есть пространство стратегий  $X$ , элементами которого есть отдельные стратегии  $x$ ;  $x \in X$ ;
- 2) описание множества возможных значений неконтролируемых факторов  $Y$ , то есть пространство неконтролируемых факторов  $Y$ , элементами которого есть переменные, которые описывают конкретные значения набора неконтролируемых факторов,  $y \in Y$ ;
- 3) критерий эффективности операций  $W$ , который является числовой функцией двух переменных  $x$  и  $y$ , функция  $W(x, y)$  определена множеством всех возможных пар  $(x, y)$  (так называемым декартовым произведением  $X \cdot Y$  множества  $X$  и  $Y$ ), значение ее на паре  $(x, y)$  характеризует качество стратегии  $x$  при значениях неконтролируемых факторов  $y$ .

Критерий  $W(x, y)$  может выражаться в положительном инградиенте и характеризовать положительное качество стратегии  $x$ , как, например, доход, прибыль и тому подобное, или в отрицательном инградиенте и характеризовать отрицательное качество стратегии  $x$ , как, например, убытки, расходы, потери времени и тому подобное.

*Главная задача исследования операций – сравнение различных стратегий и выбор самой лучшей в определенном смысле среди них.* Для этого можно использовать числовые оценки стратегий, которые являются функциями стратегии  $x \in X$  и не зависят от переменных  $y, y \in Y$  (так называемые оценки эффективности стратегий).

Если неконтролируемые факторы фиксированы, то есть множество  $Y$  состоит из одного элемента  $y_0, y=f(y_0)$  (такие одноэлементные множества называются **СИНГЛЕТОНАМИ**), то сам критерий эффективности  $W=W(x, y_0)$  является оценкой эффективности стратегий, так как он - фактически функция одной стратегии. Это задача теории обычной оптимизации, то есть поиска выбора элемента  $x_k, x_k \in X$ , для которой  $W(x_k, y_0)$  есть максимальное или минимальное значение функции  $W(x_k, y_0)$  в зависимости от положительного или отрицательного инградиента критерия  $W$ . С математической точки зрения достаточно рассмотреть одну из этих задач, так как другую можно получить, сменив знак значений функции на противоположный, поскольку

$$\begin{aligned} \text{Max } W(x, y) &= \text{min}(-W(x, y)). \\ x \in X & \qquad \qquad x \in X \end{aligned}$$

Следовательно, без потери общности можно считать в дальнейшем, что критерий  $W(x, y)$  задан в положительном инградиенте, и нужно избирать стратегию, что при некотором соображении будет делать его большим при различных  $y \in Y$ .

Значительно сложнее дело, когда неконтролируемые факторы не фиксированы. Тогда стратегия  $x_{k1}$ , оптимальная при значениях неконтролируе-

мых факторов  $y$ , может быть плохой (и даже самой плохой) при иных значениях неконтролируемых факторов  $y$ .

Как раз поэтому применяют оценки эффективности стратегий. Среди таких оценок наиболее распространены гарантированные  $\underline{W}(x)$  и средние  $\overline{W}(x)$  оценки эффективности.

**Гарантированная оценка эффективности**  $\underline{W}(x)$  появляется, когда рассчитывают на самое плохое поведение неконтролируемых факторов:

$$\underline{W}(x) = \min_{y \in Y} W(x, y).$$

Если критерий  $W$  задан в отрицательном инградиенте, то гарантированная оценка эффективности имеет вид

$$\underline{W}(x) = \max_{y \in Y} W(x, y).$$

Максимизируя  $\underline{W}(x)$  по всем  $x \in X$ , получаем **оптимальную гарантированную стратегию**.

**Средняя оценка эффективности**  $\overline{W}(x)$  может быть определена путем усреднения значений критерия эффективности  $W(x, y)$  по всем значениям  $y \in Y$ . Если пространство  $Y$  конечно или счетно, тогда значения неконтролируемых факторов можно занумеровать индексом, что пробегает подмножество  $I$  множества натуральных чисел  $N=(1, 2, \dots, n, \dots)$  и определить среднюю оценку равенством

$$\overline{W}(x) = \sum_{i \in I} a_i W(x, y_i),$$

где  $a_i$  - число, характеризующее вес значения  $y_i$  факторов при усреднении.

Зачастую весовую последовательность выбирают так, чтобы:

$$a_i \geq 0, \sum_{i \in I} a_i = 1.$$

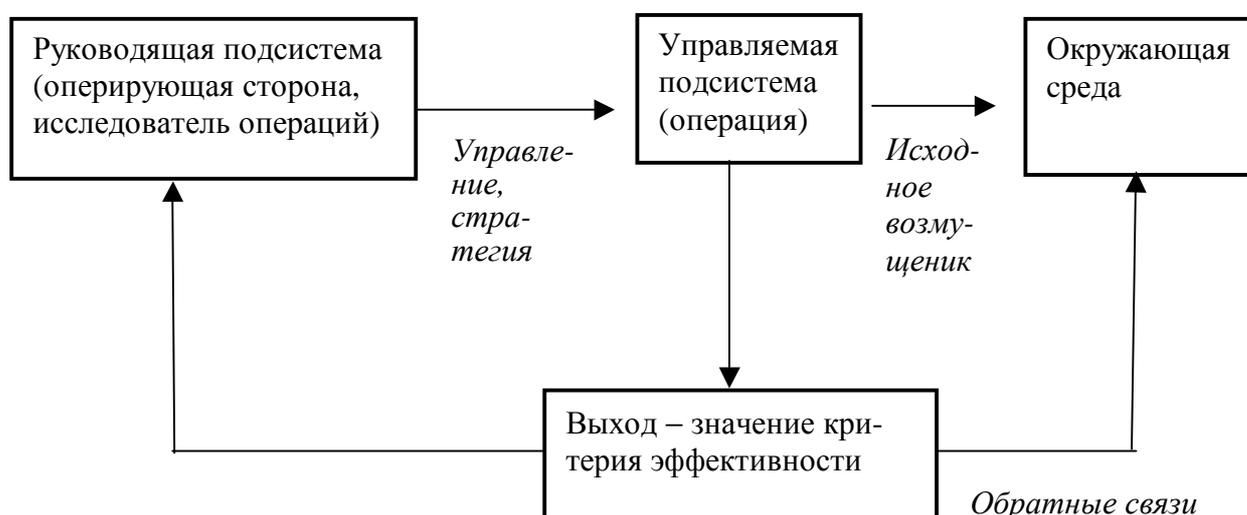
Таким образом, когда контролируемые факторы фиксированы или когда используются оценки критерия эффективности, задачи исследования операций сводятся к задачам теории обычной оптимизации, то есть к поиску решений экспериментальных задач относительно числовых функций при ограничениях на допустимые решения из-за ограниченности активных способов и прочих причин. В свою очередь, задачи теории оптимизации могут быть сложными и требовать сложных специализированных математических теорий решения. Значительное количество таких теорий (например, все теории математического программирования) традиционно включается в исследование операций.

В случае нефиксированных неконтролируемых факторов задачи исследования операций можно рассматривать как задачи теории многокритериальной оптимизации. Действительно, критерий эффективности задачи исследования операций  $W = W(x, y)$ , который зависит от стратегии  $x$  пространству стратегий  $x$  и неконтролируемых факторов  $y$  в пространстве таких факторов  $Y$ , позволяет интерпретацию в виде семьи критериев (мультикритерия)  $(g(x), y \in Y)$ , где  $g(x) = W(x, y)$ ,  $x \in X$  при каждом фиксированном  $y \in Y$ . Но исторически теория исследования операций сформировалась ранее теории оптимизации, поэтому ее язык и многокритериальный подход к задачам выбора альтернатив является более привычным для большинства аналитиков.

Надлежит отметить, что есть точка зрения на предмет теории исследования операций как на общую теорию принятия решений в условиях неопределенности. С этой точки зрения исследование операций включает все возможные задачи, которые не имеют оптимизационного характера.

Существует глубокая аналогия между понятиями теории исследования операций и теории управления, что позволяет толковать процесс выполнения операций как задачу управления. Действительно, ход операции, как каждого процесса, можно описывать некоторым набором фазовых переменных

$\xi_1(t) \dots \xi_n(t)$ , которые зависят от времени  $t$  (например, выпуск всех видов продукции некоторого предприятия по кварталам). Степень соответствия операции и цели описывается критерием эффективности  $W$ , который зависит от стратегии неконтролируемых факторов и фазовых переменных. При этом оперирующая сторона выступает как управляющая подсистема, которая управляет, выбатывая и предпринимая стратегии, влияющие на управляемую подсистему, которой присущ процесс выполнения операции (рисунок 9)



**Рисунок 9 – Обратные связи**

## 6.2 Примеры задач исследования операций экономического содержания

Рассмотрим конкретные задачи исследования операций, которые объясняют основные понятия теории.

**Пример 1.** Торговая точка закупает  $x$  единиц товара с ограниченным сроком реализации. За каждую проданную единицу товара она получает прибыль  $c$ , а непроданную единицу она возвращает, что приносит убыток  $b$ .

Спрос  $y$  является неконтролируемым фактором, о котором лишь известно то, что он может приобретать значения на промежутке  $[a, b]$  в множестве натуральных чисел  $N$ , где  $a$  и  $b$  - некоторые натуральные числа,  $a < b$ . Целью продавца является выбор такого количества товара  $x$  для продажи, которое позволит получить максимальную прибыль.

Запишем математическую модель такой операции. Пространство стратегий (контролируемых факторов)  $X$  здесь является множеством неизвестных чисел  $N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$ . Пространство  $Y$  неконтролируемых факторов будет множеством целых чисел из промежутка  $[\alpha, \beta]$ ,  $Y = [\alpha, \beta]$ . Функция эффективности стратегии  $x$  при спросе  $y$  имеет вид

$$W(x, y) = c \min(x, y) + b \min(0, y - x),$$

где первое слагаемое является прибылью, а второе - убытками.

Для решения задачи целесообразно использовать гарантированную оценку эффективности стратегий:

$$\underline{W}(x) = \min_{y \in Y} (x, y),$$

которая имеет вид

$$\underline{W}(x) = \begin{cases} cx, & \text{если } x \leq a, \\ \min(c\alpha + b(\alpha - x), cx), & \text{если } \alpha < x < \beta, \\ cx + b(\alpha - x), & \text{если } x \geq \beta. \end{cases}$$

### Пример 2

Предположим, что в предшествующей задаче спрос  $y$  является случайной величиной с известным распределением, то есть  $y$  принимает значения  $a, a+1, \dots, b$  с известными вероятностями  $p_a, p_{a+1}, \dots, p_b$ .

Тогда целесообразно употреблять среднюю оценку эффективности

$$\sum_{k=a}^{x-1} (c+b)k - xb) p_k + \sum_{k=x}^b c x p_k, \quad a < x < b.$$

$$\bar{W}(x) = EyW(x,y) = \begin{cases} (c+b)(E_y) - bx, & x \geq b. \\ cx, & x \leq a. \end{cases}$$

Пусть  $y$  является случайной величиной, распределение которой неизвестно, а известны такие ее характеристики, как математическое ожидание  $m$  и дисперсия  $D > 0$ . Тогда целесообразно употреблять оценку критерия эффективности вида  $\underline{W}(x)$ , которая получается сначала усреднением критерия  $\bar{W}(x,p) = EW(x,y)$ , что зависит от неизвестного распределения  $p = \{p_i\}_{i=a}^b$  величины  $y$ , а уже потом минимизацию  $\bar{W}(x,p)$  по всем распределениям с ожиданием  $m$  и дисперсией  $D$ :  $\underline{W}(x) = \min_p \bar{W}(x,p)$ . Определение  $\underline{W}(x)$  требует специальных знаний по теории выпуклых множеств и выпуклого анализа.

### Пример 3

Пусть фирма строит автосборочный завод как свой филиал. Для этого нужно (рисунок 10):

- A выстроить заводские корпуса;
- B завершить разработку модели нового автомобиля;
- C нанять рабочую силу;
- D смонтировать оборудование;
- E наладить модель автомобиля.

Очередность выполнения работ задана сетевым графиком:

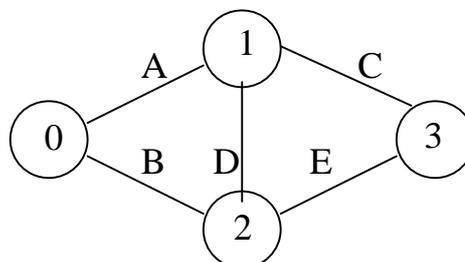


Рисунок 10 – Сетевой график

Время выполнения работ **A** и **D** известно точно:  $t_A = 2$ ,  $t_D = 1$ ;  $t_B$ ,  $t_C$ ,  $t_E$  являются независимыми случайными величинами, причём  $t_B$  и  $t_C$  приобрета-

ют значения 2,3,4 с вероятностями  $1/3$ , а  $t_E$  - значения 1, 2, 3 с вероятностями  $1/3$ . Известна также зависимость дополнительной прибыли фирмы от времени выполнения всего комплекса работ. Фирма имеет резерв, введение которого в действие ускоряет строительство завода на одну единицу времени, но потребует расходов в 20 млн. долл. Возникает вопрос: следует ли воспользоваться резервом?

Построим модель операции. Пусть  $x=0$  означает, что приняты решения не пользоваться резервом, а  $x=1$  - пользоваться. Тогда пространство стратегий  $X$  имеет вид  $X=\{0,1\}$ . Неконтролируемым случайным фактором  $y$  является время ведения всего комплекса работ, которое может приобрести значения 4,5,6,7, то есть  $y \in Y = \{4,5,6,7\}$ . По сетевому графику нетрудно подсчитать, используя элементарные формулы, распределения случайных величин:

$$P(y=4) = \frac{2}{27}, P(y=5) = \frac{8}{27},$$

$$P(y=6) = \frac{14}{27}, P(y=7) = \frac{3}{27}.$$

По условиям задачи критерием эффективности будет функция  $W(x,y)$ , которая выражает дополнительную прибыль при стратегии  $x$  и неконтролируемом факторе  $y$ . Эту функцию можно задать в виде матрицы, столбцы которой отвечают возможным значениям времени выполнения всех работ, а строки - стратегиям. Очевидно, что матрица будет иметь вид

$$W(x,y) = \begin{vmatrix} 110 & 100 & 50 & 0 \\ 100 & 90 & 80 & 30 \end{vmatrix}.$$

Используя этот результат, нетрудно вычислить средние оценки эффективности стратегий :

$$\bar{W}(0) = E_y W(0,y) = 110 \cdot 2/27 + 100 \cdot 8/27 + 50 \cdot 14/27 = 1720/27, ,$$

$$\bar{W}(1) = E_y W(1,y) = 100 \cdot 2/27 + 90 \cdot 8/27 + 80 \cdot 14/27 + 30 \cdot 3/27 = 2130/27.$$

Отсюда следует, что резерв необходимо использовать.

### 6.3 Классификация задач исследования операций

Основная задача исследования операций, состоящая стратегией в выборе лучшей из сравниваемых стратегий для общей модели исследования операций, (была рассмотрена в разделе 5.1), является слишком сложной, чтобы можно было получить конкретные результаты. Поэтому выделяют более специализированные задачи, которые являются отдельными случаями общей задачи и для которых можно создать общие методы решения.

Классификацию осуществляют по трем признакам:

- видам неконтролируемых факторов;
- критериям эффективности;
- пространству стратегий.

Простейшую группу представляют задачи с фиксированными не контролируемыми факторами, к которым принадлежат задачи обычной оптимизации. Среди них основное место занимают задачи математического программирования, которые в большинстве являются неклассическими экстремальными задачами в конечно измеряемых пространствах, к ним невозможно применить классические методы дифференциального исчисления.

Внутренняя классификация в разделе математического программирования связана с видом критерия эффективности (здесь он является критерием оптимизации в пространстве стратегий) и видом ограничений, которые описывают пространство стратегий. Если все функции, которые применяются в этих описаниях, линейные, то это - задача линейного программирования. Если результат решения задач, согласно содержанию должен быть получен целыми числами, то получаем задачу целочисленного программирования.

Если критерий и пространство стратегий описываются выпуклыми структурами, то задачи принадлежат к выпуклому программированию. Если в задаче есть изменения во времени, критерий задается через уравнение, которое описывает процесс развития операции во времени, тогда это задача динамического программирования.

При наличии неконтролируемых факторов (случайных и неопределенных), которые не являются фиксированными, возникают другие типы задач. Среди них минимаксные задачи с неопределенными факторами и гарантированными оценками эффективности, задачи из разных разделов прикладной теории вероятности, теории случайных процессов, прикладной статистики и теории игр.

К вероятностным и статистическим задачам исследования операций традиционно относят задачи массового обслуживания: теорию очередей, теорию управления запасами, теорию надежности, стохастического управления, стохастического моделирования, теорию статистических решений, статистического контроля качества, статистическую теорию прогнозирования, теорию планирования эксперимента и т.п.

В теории игр неопределенность связана с действиями двух и более заинтересованных участников операций, которые преследуют свои цели. Неопределенность также связана с внешними обстоятельствами операций, проводимых, например, природными явлениями. Участники игры могут образовывать коалиции действий, то есть действовать совместно, и коалиции интересов, иметь определенные общие интересы. В последнем случае имеем так называемые коалиционные игры, среди которых самые распространенные - кооперативные игры, где есть одна коалиция действия и несколько коалиций интересов. Если же коалицию нельзя образовать, то проводят бескоалиционные игры.

Игра, в которой имеется две стороны с полностью противоположными интересами, называется антагонистической.

К исследованию операций традиционно относят также задачи, принятие решений которых базируется на теории графов. Классификация задач исследования операций представлена на рисунке 11.



**Рисунок 11 – Классификация задач исследования операций**

## 7 Системы с управлением

Рассмотренный ранее анализ системы с помощью исследования операций, а именно приведенная схема 6 устанавливает связь между управляющей и управляемой системами. Эти обе системы можно объединить в одно понятие "системы с управлением".

**Управление** является изменением состояния объекта, системы или процесса, которое ведет к достижению определенной цели, или же управление является поддержкой системы (объекта) в некотором множестве желательных состояний при влияниях на нее разных возмущений со стороны среды.

Управление может быть функцией высокоорганизованной системы  $S_1$ , как искусственной, так и естественной, что обеспечивает сохранение структуры системы и поддержание функционирования этой системы  $S_1$  или же другой системы  $S_2$  в определенных границах. Управлением также называют влияние или действие системы  $S_2$  для достижения некоторой цели.

Для описания системы с управлением выделяют систему  $S$ , которая подлечит управлению (управляемая система) и действует на их вход, и систему, которая осуществляет управление (управляющая система  $S_k$ ) и вырабатывает это управление  $U$  (рисунок 12).

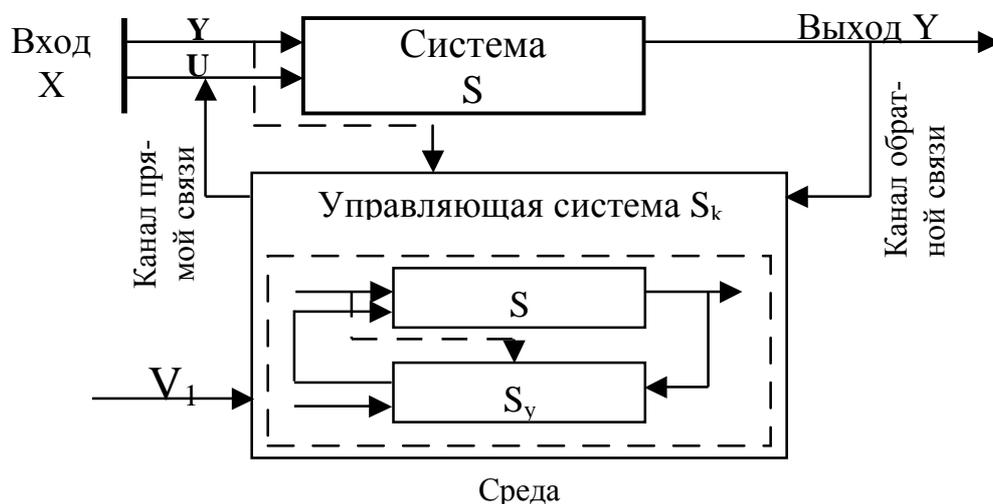


Рисунок 12 – Система с управлением

## 7.1 Анализ управляемой системы

С помощью приведенной модели (рисунок 13) управляющая система определяет, какое управление  $U$  подать на вход системы. Это изображено в управляющем блоке, где отображена, так называемая модель черного ящика.

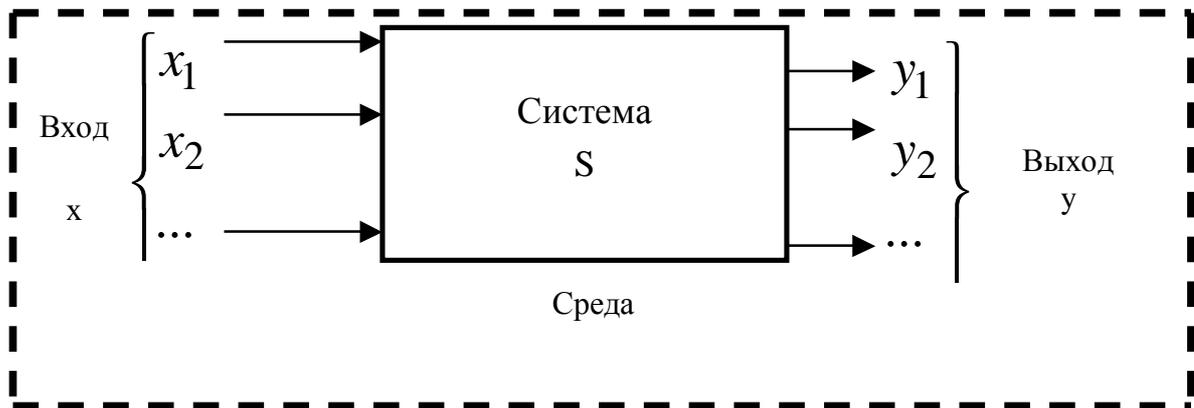
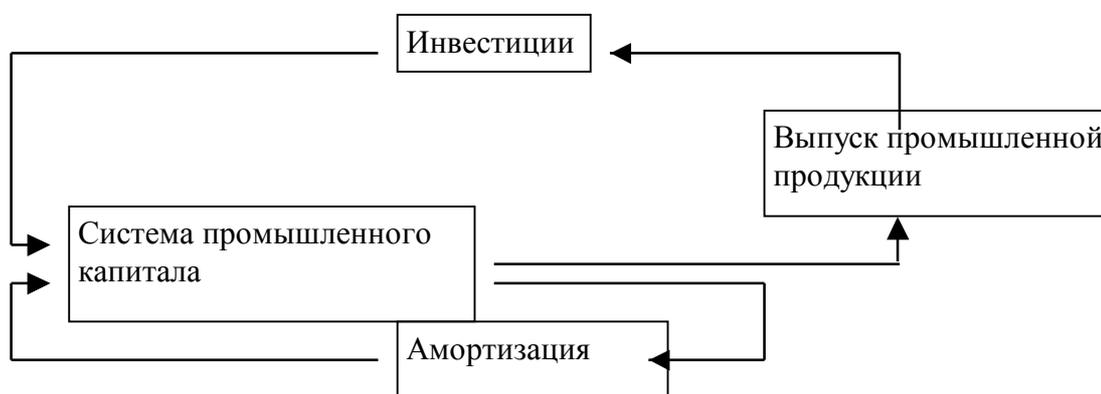


Рисунок 13- Модель управляющей системы

Методы поиска управления  $U$ , средства его осуществления выбирают в зависимости от того, что известно о системе и что учитывается при определении управления, то есть от того, какая модель системы используется и насколько она отвечает реальной системе.

Заметим, что обратная связь вообще является влиянием выхода некоторой системы на ее выход, или же в более широком понимании - влиянием результатов действия системы на характер этого действия. Принцип обратной связи при управлении является одним из главных в кибернетике и теории систем. Он используется в замкнутых системах управления, где управление формируется по отклонениям системы от определенного состояния. Если действие обратной связи направлено на уменьшение отклонения системы от состояния  $x_0$  или же на уменьшение выхода, то такая связь называется отрицательной, в другом случае говорят про дополнительную обратную связь (рисунок 14).



**Рисунок 14 – Дополнительная обратная связь**

На схеме показана дополнительная обратная связь в системе промышленного капитала, ведь и выпуск продукции, и отрицательная связь связаны с амортизацией.

Способы управления системами могут быть разными. Управляющий блок может принадлежать системе (самоуправляемая система) или же быть внешним по отношению к ней (система, управляемая извне). Кроме того, существуют системы, управление которыми раздельное и частично выполняется извне, а частично – в самой системе (системы с комбинированным управлением). Независимо от расположения управляющего блока различают программное управление, регулирование, управление по параметрам, структурную адаптацию.

1 Если траектория движения системы к цели точно известна и может быть точно определено управление  $U(t)$ , тогда управление возможно осуществить, не обращая внимания на развитие событий (так называемое программное управление), без обратной связи по априорной информации.

Примеры: работа ЭВМ по программе, развитие зародыша живого организма, работа телефона - автомата.

2 Может произойти, что процессы  $U(t)$  на неуправляемых входах системы (см. рисунок 14) будут отличаться от предполагаемым или же на систе-

му станут действовать входы, не предусмотренные ее моделью, тогда система отклоняется от нужной траектории  $y_0(t)$ . Регистрируя отклонения  $y(t)-y_0(t)$  текущей траектории  $y(t)$  системы от  $y_0(t)$ , можно выработать дополнительное к программному управлению корректирующее управление, которое довольно быстро возвращает систему на необходимую траекторию  $y_0(t)$ . Такое управление называется регулированием.

Примеры: работа оператора, регулятор Уатта.

3 В случае, если невозможно определить опорную программную траекторию или же отклонение к ней, нужное управление осуществляют, спрогнозировав текущую траекторию  $y(t)$  и определив, достигнет ли она целевой области  $Y$ . Если  $y(t)$  не попадет в  $Y$ , то надо подстраивать параметры системы таким образом, чтобы траектория достигала  $Y$  (управление по параметрам).

4 Если среди возможных комбинаций управляемых параметров системы нет такой, которая обеспечивает достижение целевой области (то есть при управлении по параметрам цель недостижима), можно, изменяя структуры системы (то есть изменяя саму систему), перейти к такой, за которой возможно достижение целевой области. Такой тип управления называется структурной адаптацией.

Если же четвертый способ в границах имеющихся ресурсов не дает успеха, необходимо модифицировать цель, внести в нее изменения, которые разрешат воспользоваться одним из приведенных типов управления.

Комбинируя типы управления системами можно получить классификацию. Управляемые извне системы делятся на такие типы:

- 1) без обратной связи;
- 2) регулируемые;
- 3) с управлением по параметрам;
- 4) со структурной адаптацией.

К самоуправляемым принадлежат системы:

- 1) с программным управлением;

- 2) с автоматическим управлением;
- 3) с параметрической адаптацией;
- 4) с структурной адаптацией (самоорганизацией).

Системы с комбинированным управлением могут быть:

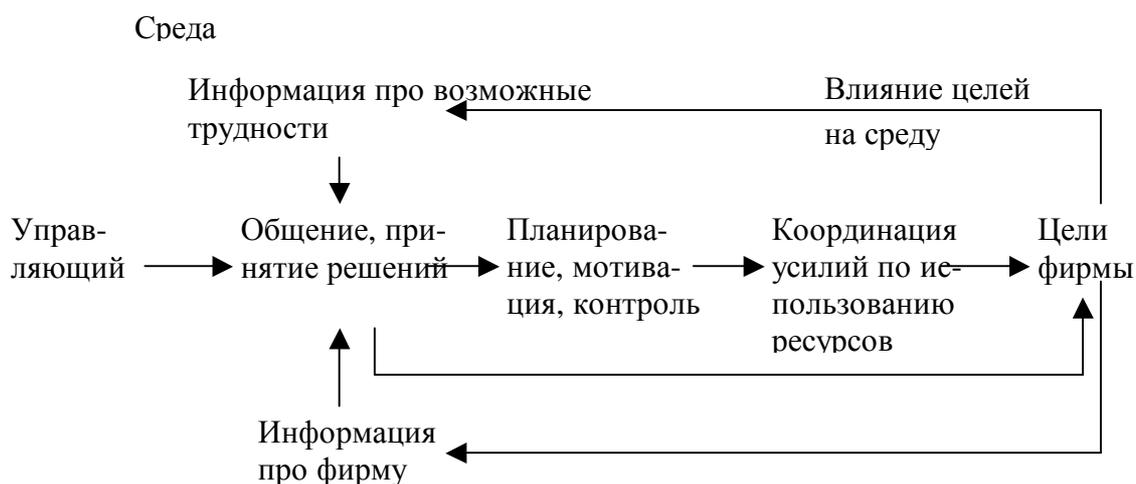
- 1) автоматическими;
- 2) полуавтоматическими;
- 3) автоматизированными;
- 3) организационными.

## **7.2 Структура и анализ управляющей системы**

Решающее влияние на развитие современной теории управления имели теория автоматического регулирования и кибернетика, которые Н. Винер сначала определил как "управление и связь в животном и машине", а потом прибавил к этому общественно-экономические системы. Важную роль в кибернетике играет закон необходимого разнообразия, по которому для уменьшения разнообразия исходных величин системы (например, для его стабилизации) разнообразие регулирующих управляющих влияний должно быть не меньше, чем разнообразие внешних возмущений. Этот закон коротко формулируется таким образом: "Только разнообразие может уничтожить другое разнообразие". Отсюда вытекает необходимость увеличения числа состояний регулирующих влияний при возрастании разнообразия состояний возбуждающих воздействий, которые действуют на объект управления. Например, в медицине известно, что не может быть универсального способа лечения больного. В зависимости от болезни, стадии развития и индивидуальных особенностей больного правильными будут те или другие диагноз, прогноз и метод лечения. В сельском хозяйстве можно использовать теоретико-игровой подход к выбору стратегии управления урожаем. Скажем, разнообразие естественных условий выращивания некоторой культуры должно быть скомпенсировано разнообразием приемов агротехники, специальными графиками по-

лизов и т.п. Вообще один из главных принципов кибернетики состоит в том, что система управления должна быть по степени разнообразия адекватна объему управления. С 60-х годов методы кибернетики и теории систем начинают использоваться в менеджменте.

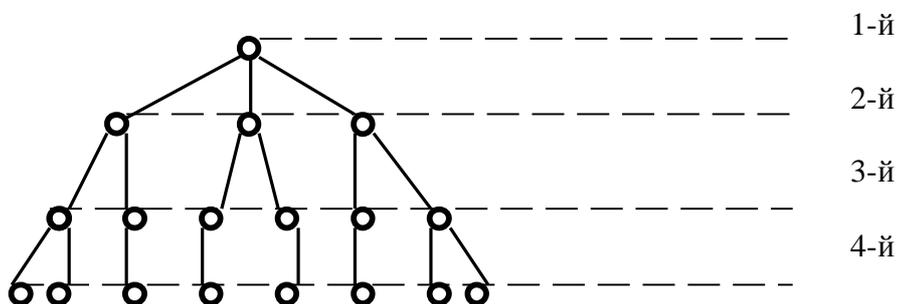
На рисунке 15 изображен общий процесс управления фирмой как открытой системой с обратными связями.



**Рисунок 15 – Общий процесс управления**

Первые три блока перед блоком с целями фирмы отображают начальный процесс управления. Обратные связи возникают в результате влияния целей на фирму благодаря информации про сильные и слабые стороны фирмы и влияния целей фирмы на среду, которая, в свою очередь, через действия конкурентов, потребителей, законов, политическую ситуацию, социально-культурные изменения влияет на принятие решений управляющего.

Приведем еще один пример системы, которая руководит, - это типичная структура системы управления современной корпорацией (рисунок 16).



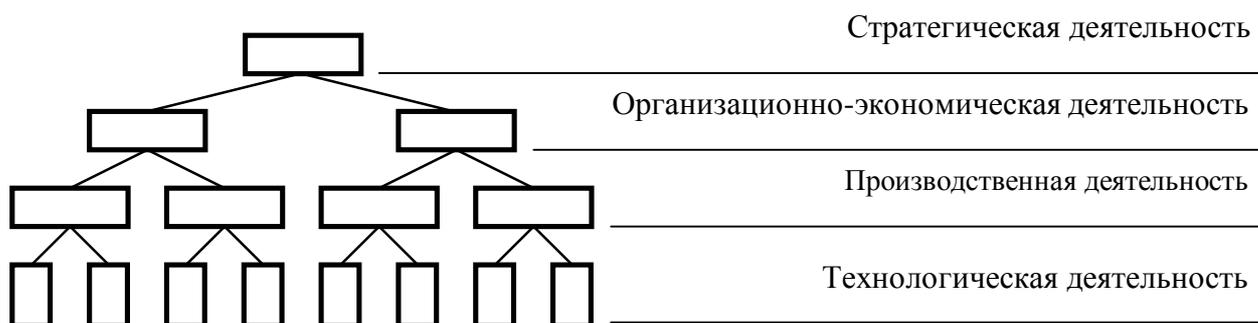
**Рисунок 16 – Система структуры управления по уровням**

На рисунке 16 изображен граф, который отвечает иерархической структуре. В нём можно выделить несколько уровней, причем высочайшему первому уровню отвечает одна вершина. Такое дерево будем называть деревом с иерархической формой.

Иерархия означает расположение частей или элементов целого в определенном порядке от высших к низшим.

Второе распространенное значение слова - это расположение служебных званий, чинов по их подчинению (иерархические всходы).

Взаимосвязь видов деятельности и функций управления представлена на аналогичной схеме (рисунок 17)



**Рисунок 17 – Взаимосвязь видов деятельности**

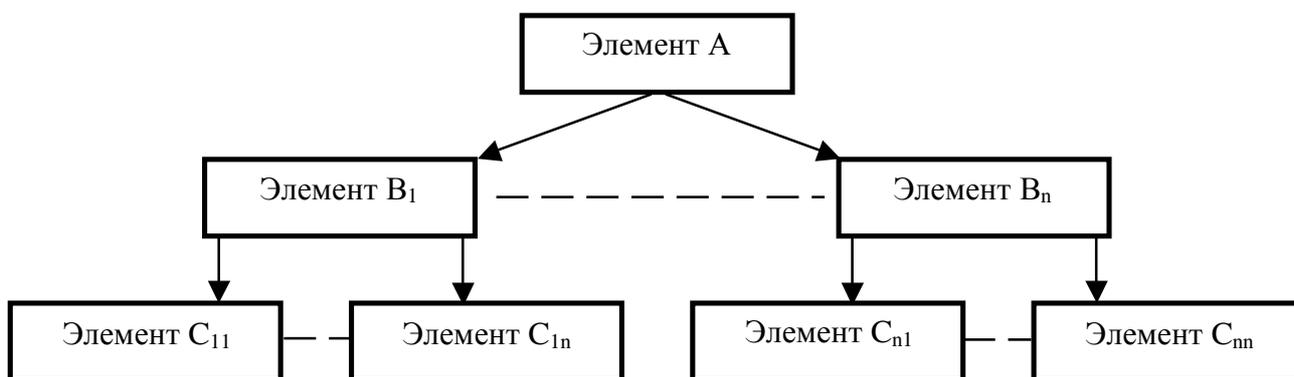
Конкретная структура аппарата управления определяется характеристиками системы (например, предприятия) и масштабами управления.

Основные функциональные подразделения аппарата управления можно свести в пять групп: техническую, экономическую, производственную, коммерческую, обслуживания. Такое функциональное распределение связано с централизацией управления и объединением отделов. Кроме функционального имеет место также линейное управление: директор, начальник цеха, мастер.

Типичные структуры управления разрабатываются на основе специфических особенностей и общности разных групп.

Среди структур можно выделить: линейную, функциональную, групповую, линейно-функциональную и матричную.

В линейной структуре каждый элемент имеет одного непосредственного руководителя (рисунок 18).



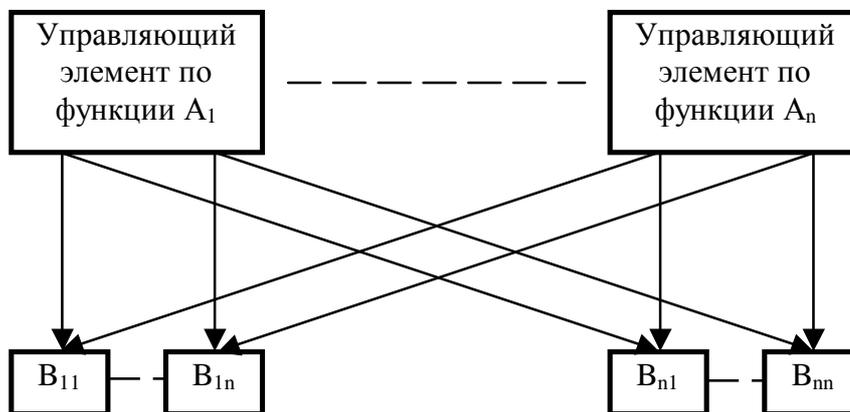
**Рисунок 18 – Линейная структура управления**

Такая структура имеет четкое распределение функций.

Недостатки:

- 1) тяжело осуществлять координацию между элементами;
- 2) высшим элементам необходимо знать функции низших элементов.

Функциональная структура (рисунок 19) предусматривает специализацию руководителей по отдельным функциям.

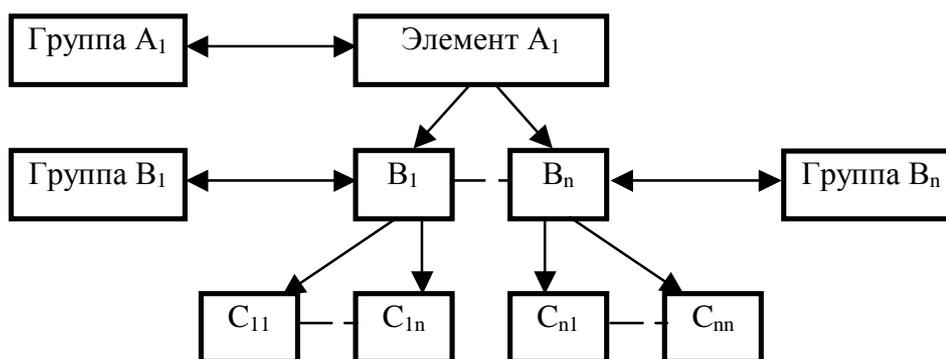


**Рисунок 19 – Функциональная структура управления**

Недостатки:

- 1) тяжело осуществлять координацию между элементами одного уровня;
- 2) осложнение структуры с ростом числа функций.

Линейно-групповая структура (рисунок 20) является развитием линейной. Каждому руководителю подчинена группа управления из квалифицированных специалистов.



**Рисунок 20 – Линейно-групповая структура управления**

Недостатки:

- 1) резкое возрастание состава групп;
- 2) управление при осложнении функций управления;

3) непосредственный руководитель становится формальной фигурой.

Линейно-функциональная базируется на преимуществах как линейной, так и функциональной системы и предусматривает функциональные связи между группами управления.

Матричная структура (рис. 21) основана на соединении управления по функциональному и предметному уровню.

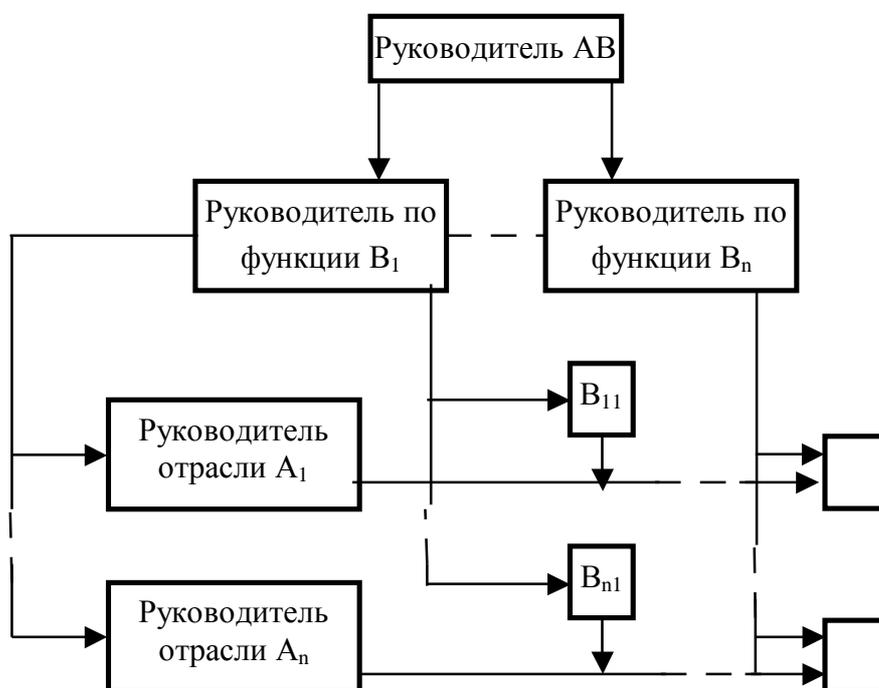


Рисунок 21 – Матричная структура управления

Недостаток - возможность дезорганизации, связанная с неопределенным подчинением элементов.

На практике очень редко встречается какая-либо из приведенных структур в чистом виде. Обычно используются комбинированные структуры управления или руководства.

## 8 Проблемы иерархического управления в сложных системах

В настоящее время не существует общего определения сложной системы (вместе с понятием "сложная система" используют термины "большая система", и "система большого масштаба"). Отнести ту или другую систему к разряду сложной или простой можно лишь условно, с учетом задач системы.

Будем считать данную систему сложной в том случае, если из-за свойств системы и в соответствии с характером задач, которые возникают при ее исследовании, необходимо принимать во внимание наличие в системе большого количества связанных и взаимодействующих между собою элементов, которые обеспечивают выполнение системой некоторой достаточно сложной функции. Для сложных систем, которые встречаются на практике, действие случайных факторов приводит к смещению средних результатов их функционирования, то есть при изучении сложных систем необходимо принимать во внимание намного больше случайных факторов.

К основным признакам сложных систем необходимо отнести следующие:

1 Наличие большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов.

2 Сложность функции, которую выполняет система и которая направлена на достижение заданной цели функционирования.

3 Возможность разбиения системы на подсистемы, цели функционирования которых подчинены общей цели функционирования всей системы.

4 Наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях действия случайных факторов.

5 Наличие управления, которое чаще всего имеет иерархическую структуру с разветвленной информационной структурой и интенсивными потоками информации.

Таким образом, вопросы исследования систем, связанные со сложной структурой управления, сводятся к выбору уровней управления, а именно: требований к линиям передачи информации и к устройствам по ее обработке. Переработать значительные объемы информации в одном центре управления зачастую бывает невозможно, поэтому решение части задач управления следует передать местным ячейкам управления. Поскольку последние не всегда располагают необходимыми сведениями, вводят вспомогательные пункты управления, которые объединяют пункты управления и несколько местных пунктов. Следовательно, переходят к иерархической системе управления с несколькими уровнями управления.

Например, функционирование предприятия представляет собой процесс взаимодействия его элементов во времени и пространстве, что обеспечивает выполнение намеченных целей в условиях внешних возмущений с учетом наложенных ограничений. При анализе процесса функционирования предприятия, в связи со сложностью его структуры, раскладывают этот процесс на части (объекты, элементы) по разным признакам. Одним из главных признаков есть вид иерархии. Для современного производства характерны следующие виды иерархии:

- временная;
- пространственная;
- функциональная;
- ситуационная;
- информационная.

Необходимо отметить, что деление любой системы на части не может быть однозначным, так как выделение границ между частями является всегда в какой-то мере субъективным. Однако выбор того или другого принципа выделения составных частей в общем случае должен удовлетворять следующим основным условиям:

- ∅ максимальная автономность;

- Ø необходимость координации их действий для достижения общей цели функционирования;
- Ø совместимость отдельных частей.

### **Временная иерархия**

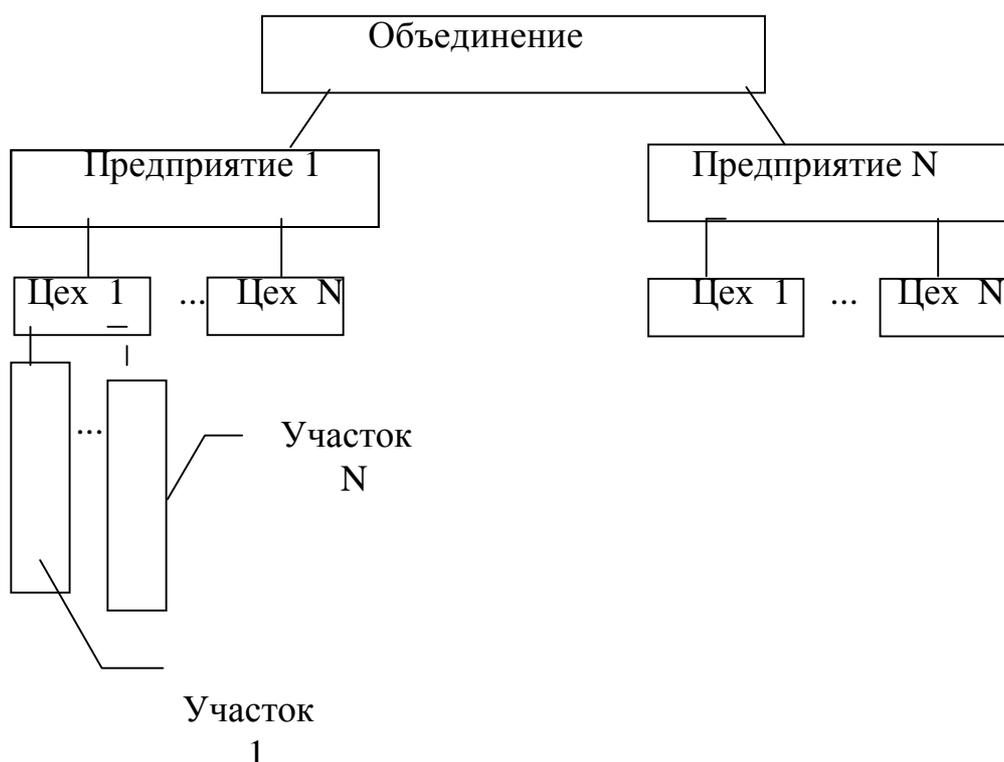
Признаком деления здесь является интервал времени от момента поступления информации о состоянии объекта управления до момента выдачи команды на управляющее действие. Чем больше интервал времени, тем выше уровень (ранг) элемента. Управление может осуществляться в реальном времени с интервалом в сутки, неделю, декаду, месяц, квартал и т.д. Причем временной интервал выбирается не произвольно, а из критериев, определяющих стойкость и эффективность функционирования всей системы. Например, управление технологическим процессом может существовать в реальном времени, а управление цехом или предприятием требует определения временного интервала. По этому виду иерархии можно выделить следующие равные управления предприятием:

- Ø долгосрочный;
- Ø квартальный;
- Ø месячный;
- Ø сменно-суточный;
- Ø реальное время.

### **Пространственная иерархия**

Признаком деления здесь есть площадь, которую занимает объект управления. Чем больше площадь объекта, тем выше его ранг. Данный признак является субъективным, так как не всегда площадь, которую занимает объект, отвечает его значимости. И этот вид иерархии можно использовать в

случае аналогичных параметров элементов одного уровня (например, сравнение элементов внутри одного предприятия или сравнение предприятий с аналогичными видами деятельности: промышленные, торговые одного уровня). Пространственная иерархия, характерная для промышленного производства представлена на рисунке 22.

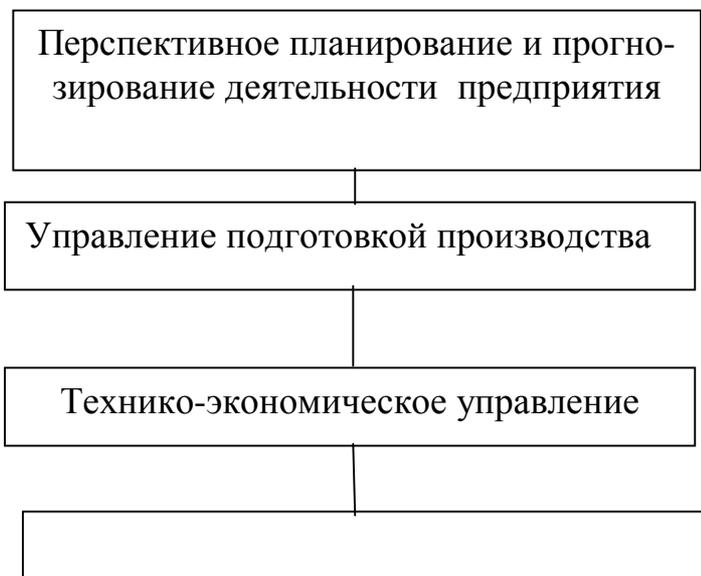


**Рисунок 22 – Пространственная иерархия**

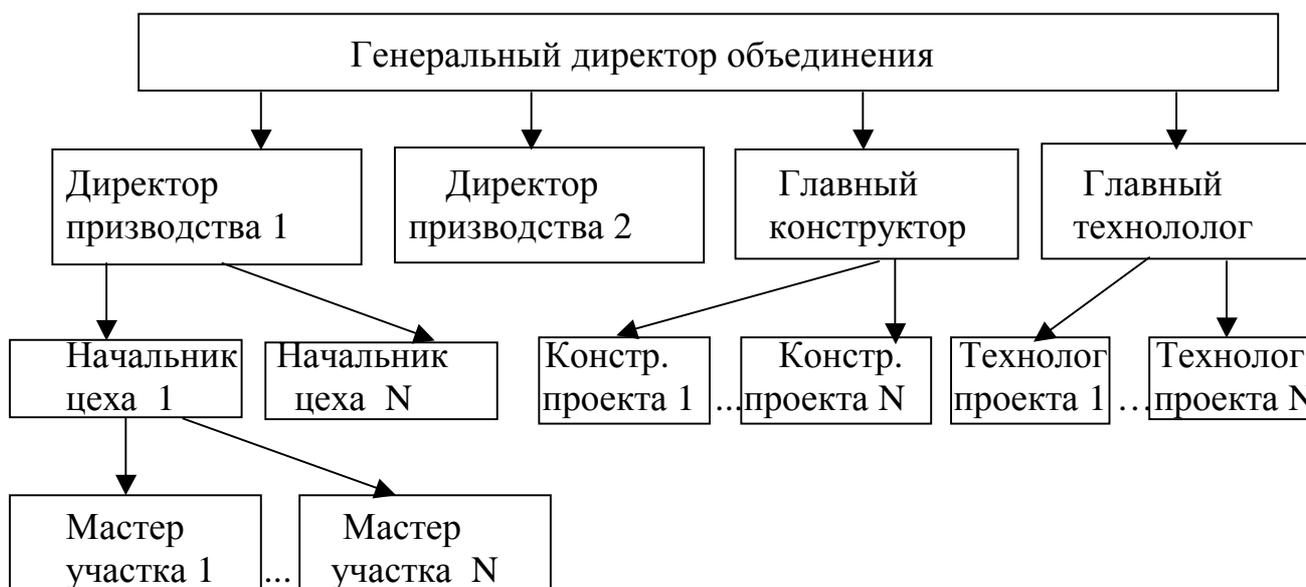
### **Функциональная иерархия**

В её основе лежит функциональная зависимость (подчинённость) элементов системы. Такое деление тоже является субъективным, так как и в этом случае важно выделить границы между элементами системы. Функциональную иерархию можно разделить на две группы:

- в зависимости от материальных ресурсов (рисунок 23);
- по административной подчиненности (рисунок 24).



**Рисунок 23 - Функциональная иерархия предприятия, основанная на управлении движением материальных потоков**



**Рисунок 24 - Фрагменты функциональной иерархии по признаку административной подчинённости**

## **Ситуационная иерархия**

Распределение по уровням в данном случае происходит в зависимости от эффекта, который вызвала та или иная ситуация, например от убытков, которые появились в результате аварии или поломки оборудования. Чем сложнее ситуация, тем выше ранг элемента, который должен взять ситуацию под контроль.

## **Информационная иерархия**

В настоящее время этот вид иерархии является очень существенным, в связи с важностью информации для управления. В основе деления на уровни лежит оперативность и обновляемость информации. Именно по этим характеристикам прослеживается иерархия информации по уровням управления предприятием.

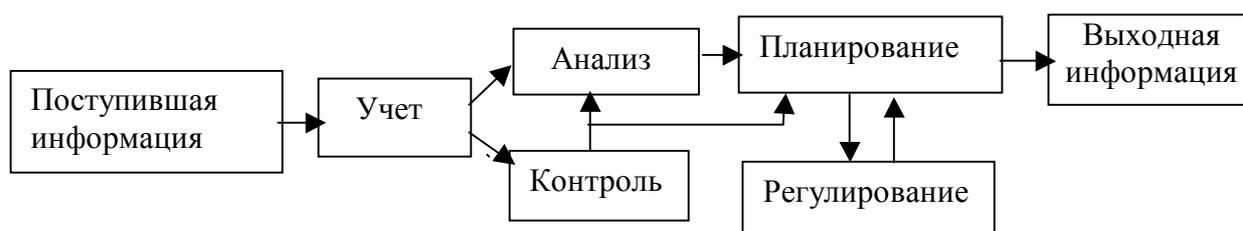
На первом уровне сохраняется и обновляется информация, которая необходима для ежедневной деятельности, то есть для оперативного управления. Следующий уровень составляет информация более обобщённая и которая используется не так часто. Информация группируется по функциональным областям и используется для поддержки принятия решения по управлению производством. На верхнем уровне хранится и обрабатывается стратегическая информация для долгосрочного планирования. Для неё характерны высокий уровень обобщённости, неповторяемость, непредсказуемость и редкость использования.

Иерархический подход к процессу управления предприятием даёт возможность проводить автоматизацию последовательно на различных уровнях, используя накопленный опыт и существующие разработки.

Таким образом, разные управления различаются периодичностью и сроками принимаемых управленческих решений, реализуемыми функциями, обобщённостью, обновляемостью и оперативностью использования информации. Формирование конкретной структуры управления с учётом всех ви-

дов иерархии определяется спецификой предприятия, его функциональными, информационными и целевыми особенностями. Для процесса управления производством характерны: временная, пространственная, функциональная и информационная иерархии, которые необходимо учитывать при разработке структуры управления, при внедрении автоматизированного управления.

В общем виде функциональная модель управления производством представлена на рисунке 25.



**Рисунок 25 – Модель управления производством**

Учёт информации об объекте управления состоит в регистрации, классификации и идентификации. На основе различных математических моделей и критериев оптимальности анализируют состояние объекта управления. Конечная модель планируемого состояния объекта управления формируется в виде плана. Отклонения от плана корректируют путём сравнения учётной и плановой информации, нового анализа и планирования.

Используя иерархический подход, систему управления предприятием можно представить в виде отдельных подсистем (участков, элементов), которые находятся в определённой информационно-функциональной и временной связи подчинённости. В таблице 2 представлены основные уровни управления для предприятий дискретного типа и их краткие характеристики.

Значительные объёмы используемой информации требуют внимания и организации баз данных с использованием ЭВМ.

Использование многоуровневого подхода построения системы управления предприятием даёт возможность учитывать для каждого уровня спе-

циализацию управления, внедрить независимую автоматизацию, использовать типовые проектные решения, провести модификацию.

Но вместе с этим необходимо решить ряд сложных проблем: обеспечить координацию взаимодействия между уровнями, установить цели и критерии функционирования для каждого уровня, определить приоритет, а также возможность вмешательства верхних уровней в отношении нижних уровней.

Таблица 2

Уровень управления	Объект управления	Временной интервал управления	Функция управления
Рабочее место (1)	Отдельные станки, агрегаты, технологичные установки, роботы-манипуляторы	Реальное время	Контроль, регулирование
Участок (2)	Комплексы агрегатов, технологичных машин, роботов, транспортных систем, склады заготовок	Реальное время, смена, декада	Технологическая деятельность
Цех (3)	Технологические участки	Смена, декада, месяц, квартал	Производственная, организационно-экономическая и стратегическая деятельность
Предприятие (4)	Цехи основного и вспомогательного производства, службы заводоуправления	Месяц, квартал, год, пятилетка	_____

В заключение следует отметить, что стремление отыскать общие принципы, применяемые как к понятиям, так и к конкретным системам, представляет собой одно из самых многообещающих направлений науки о системах. Это направление может не только устранить разрыв между точными и общественными науками, но и между техникой и экономикой.

Вопросы системного анализа рассматриваются в многочисленных работах, основные из которых приведены в списке литературы.

## Литература

- 1 Хубка В. Теория технических систем/ Пер. с нем.- М.: Мир, 1987.- 208с.
- 2 Системні методи в економіці, менеджменті та бізнесі: Навч.посібник/ О.І. Пономаренко, В.О. Пономаренко. К.: Либідь, 1995.- 240с.
- 3 Автоматизированное управление современным производством/ В.Я. Советов, В.В. Цехановский. – Л.: Машиностроение, 1988. – 168с.
- 4 Моделирование систем: Лабораторный практикум: Учебн.пособие для вузов/ В.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш.шк., 1989. – 80с.
- 5 Колесников Л.А. Основы теории системного подхода. – К.: Наук.думка, 1988. – 176с.
- 6 Мороз А.И. Курс теории систем. – М.: Высш.шк., 1987. – 304с.
- 7 Фатхутдинов Р.А. Производственный менеджмент: Учебник для вузов. – М.: Банки и биржи: ЮНИТИ, 1997.- 447с.
- 8 Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 432с.
- 9 Общая теория систем/ Пер. с англ. –М.: Мир, 1966.- 187с.
- 10 Теоретические основы САПР: Учебн.для вузов / В.А. Корячко, В.М.Курейчик, И.П. Коренков. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 400 с.
- 11 Воробьев Н.Н. Теория игр. Лекции для экономистов-кибернетиков.- Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. - 160 с.
- 12 Сложные системы: Учеб. пособие для вузов/ А.С. Шаракшанэ, И.Г.Железнов, В.А. Ивницкий. - М.: Высш.шк., 1977.- 247 с.

## Учебное издание

Конспект лекций по дисциплине  
«Основы теории систем и системного анализа»  
(для студентов дневной и заочной форм обучения  
специальности «Менеджмент»)

Составители: Е.Г. Водолазская,  
Н.В.Водолазская

Редактор Нелли Александровна Хахина

Подписано в печать Формат 60x84/16.

Ризогр. печать Усл.печ.л. Уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Заказ №

---

ДГМА. 84313, Краматорск, ул. Шкадинова, 72