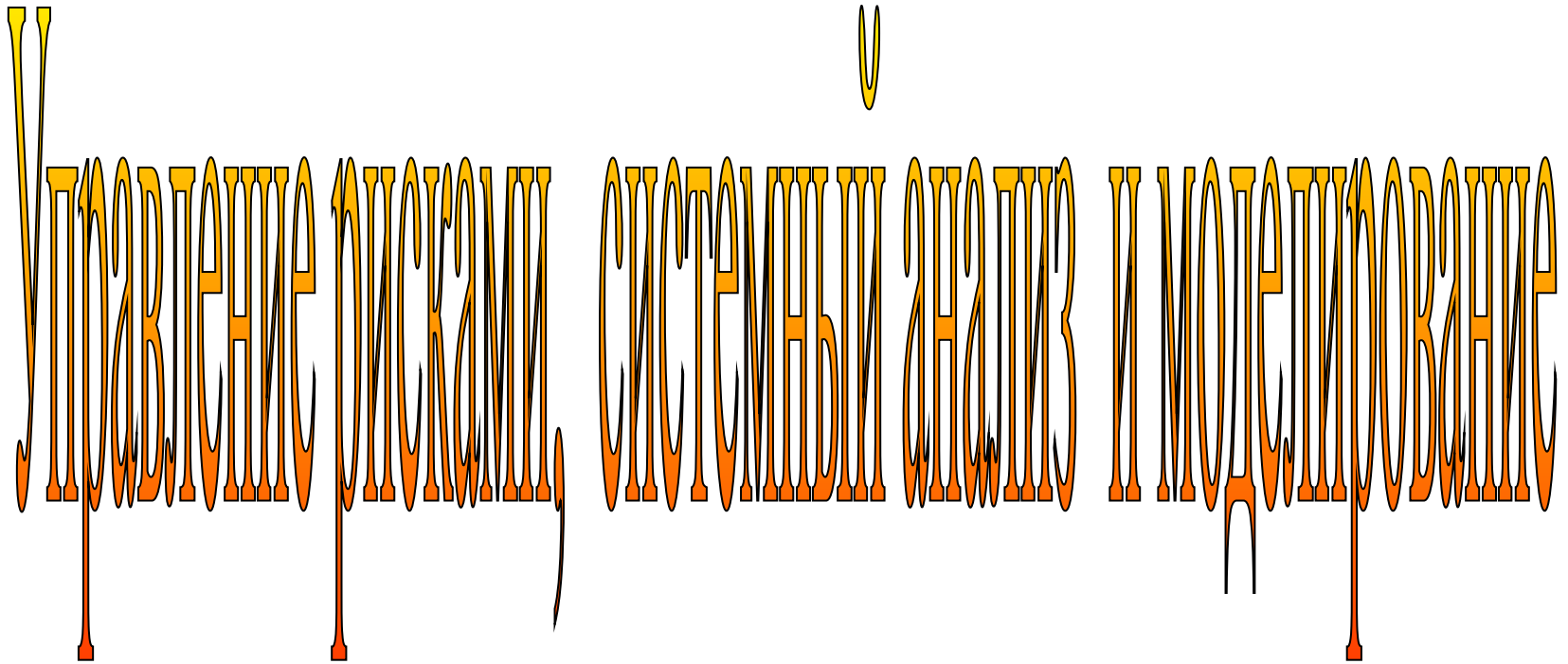


АНТЮХОВ В.И.



# Тема 1. Основы управления в организационно-технических системах

- Лекция: Системы с управлением

1. Характеристика класса систем с управлением. Построение систем с управлением

2. Аксиомы теории управления

3. Принципы и структура управления. Принцип необходимого разнообразия Эшби

4. Функции управления и их модели. Функционирование систем с управлением<sub>2</sub>

# Литература по УР,САиМ

1. Системный анализ и принятие решений: учебник. - СПб.: Изд-во СПб УГПС МЧС РФ, 2017. 352 с.
2. Системный анализ в управлении: учеб. пособ. / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
3. Л.Н.Мамаева. Управление рисками. –М.: Дашков и Ко, 2012. – 256с.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 — 2011  
Менеджмент риска. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ  
РИСКА

# Лекция: Системы с управлением

## Учебный вопрос 1.

Характеристика класса систем с управлением. Построение систем с управлением

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- Системы, которым свойственно управление называют:
  - кибернетическими;
  - управляемыми;
  - самоуправляемыми;
  - системами управления

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- Под указанными названиями, за исключением кибернетических систем, в литературе выступают также отдельные части систем, поэтому системы, которым свойственно управление, целесообразно называть **«системами с управлением»**

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- ***Предмет кибернетики:*** изучение закономерностей управления системами, в которых циркулирует информация
- ***Частные теории кибернетики:***
  - теория информации;
  - теория алгоритмов;
  - теория автоматов

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- Управление возможно только при определенном *уровне организации систем*
- Этот уровень, проявляется в ряде **черт**, которые не присущи или необязательно присущи системам других классов



# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

Черта 1. В сохранении целостности систем решающая роль принадлежит информационным связям

Черта 2. Информация, поступающая в системы и содержащаяся в них, используется для управления

Черта 3. Каждая система имеет одну или несколько целей (разнесенных по времени)

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

Черта 4. Системы способны переходить в различные состояния без нарушения целостности

Черта 5. Существует определенное множество допустимых линий поведения каждой системы, из которого производится выбор предпочтительной линии

Черта 6. Системы являются открытыми

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- Рассмотрим эти черты подробнее:

Черта 1. В сохранении целостности систем решающая роль принадлежит информационным связям

- Без регулярно осуществляемого обмена информацией системы не могут функционировать и сохранять свою целостность

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- Ослабление или потеря информационной связи между системными элементами неизбежно приводит к разрушению всех других связей и к распаду систем
- Для обмена информацией внутри себя и с внешней средой в системах имеются информационные входы и **ВЫХОДЫ**

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

Черта 2. Информация, поступающая в системы и содержащаяся в них, используется для управления

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

Черта 3. Каждая система имеет одну или несколько целей (разнесенных по времени)

- Процесс функционирования системы отличается направленностью на достижение заранее predetermined результата и выполняется путём целеполагания и целеосуществления
- Если цель неизвестна, управление становится бессмысленным

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- Черта 4. Системы способны переходить в различные состояния без нарушения целостности
- Смена состояний осуществляется в соответствии с управляющими воздействиями, причем не может совершаться мгновенно, а требует некоторого времени

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

Черта 5. Существует определённое множество допустимых линий поведения каждой системы, из которого производится выбор предпочтительной линии

- Если возможности выбора нет, управление в системе фактически отсутствует
- Для систем характерна определенная структура, отражающая контуры управления



# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

Черта 6. Системы являются  
открытыми

- Воздействия систем на среду и среды на системы могут иметь самую различную природу

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

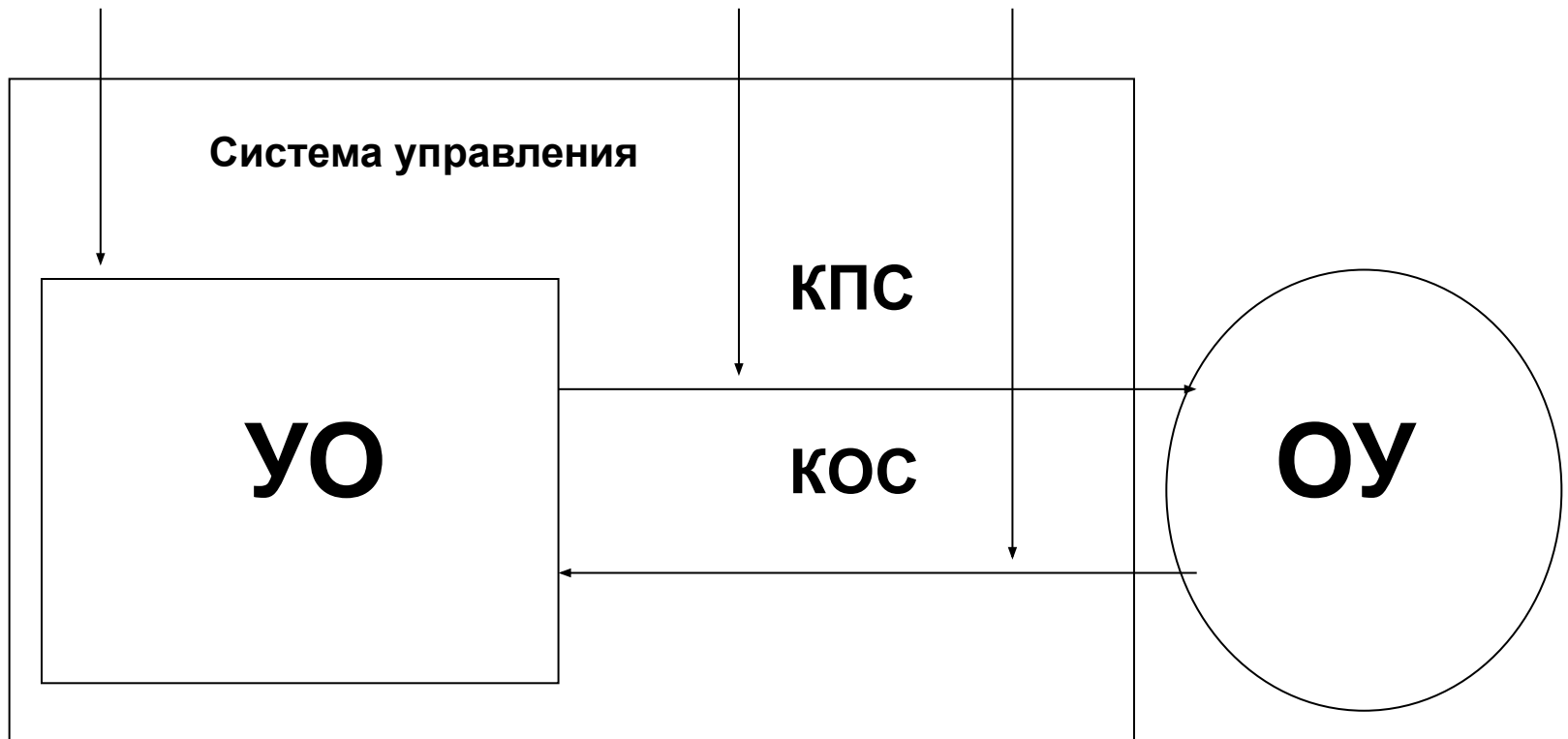
- Перечисленные черты являются общими и в совокупности дают новое качество - *качество системы с управлением*
- В класс систем с управлением входят многочисленные *естественные* и *искусственные* системы
- Все они имеют наряду с общими чертами немало специфических черт<sup>18</sup>

# Учебный вопрос 1. Характеристика класса систем с управлением

- Закономерности управления в системах изучаются кибернетикой
- Кибернетика охватывает такие частные теории, как:
  - теория информации;
  - теория алгоритмов;
  - теория автоматов

# Система с управлением

Внешняя среда



# Учебный вопрос 1. Построение систем с управлением

- Выделяют следующие принципы управления в системах с управлением:
  - децентрализованное управление;
  - централизованное управление;
  - смешанное управление

# Особенности децентрализованного управления

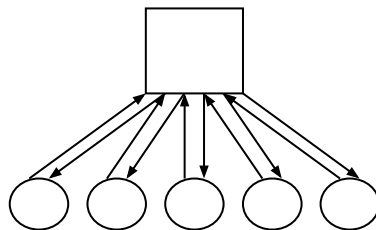
- Выработка управляющих воздействий и их реализация **при децентрализованном управлении** осуществляется отдельными подсистемами независимо друг от друга
- С кибернетической точки зрения такая система не может считаться единой системой – это совокупность систем с одноконтурным управлением

## Особенности децентрализованного управления

- ***Достоинства децентрализованного управления:***
  - УО максимально приближены к ОУ;
  - малая инерционность и высокая гибкость
- ***Недостатки децентрализованного управления:***
  - отсутствие координации и слабая согласованность управляющих воздействий (это затрудняет процесс достижения цели и приводит к большим затратам ресурсов на его реализацию)

# Особенности централизованного управления

- При **централизованном управлении** управление всеми объектами осуществляется одним управляющим устройством



- С увеличением размерности системы сложность управления возрастает
- Приращение сложности управления  $\Delta S$  пропорционально числу ОУ ( $n$ ) и приращению этого числа ( $\Delta n$ ):  $\Delta S = an\Delta n$ , где  $a$  – коэффициент пропорциональности
- Сложность управления  $S = an^2$



## Особенности централизованного управления (продолжение)

- ***Достоинства централизованного управления:***

- быстрый обмен информацией между УО и ОУ;
- информация о системе сосредоточена в одном месте

## Особенности централизованного управления (продолжение)

- ***Недостатки централизованного управления:***

- сравнительно большое время на выработку управляющих воздействий;
- громоздкость управляющих объектов;
- управление эффективно лишь при сравнительно небольшом числе ОУ;
- ухудшается надежность функционирования системы

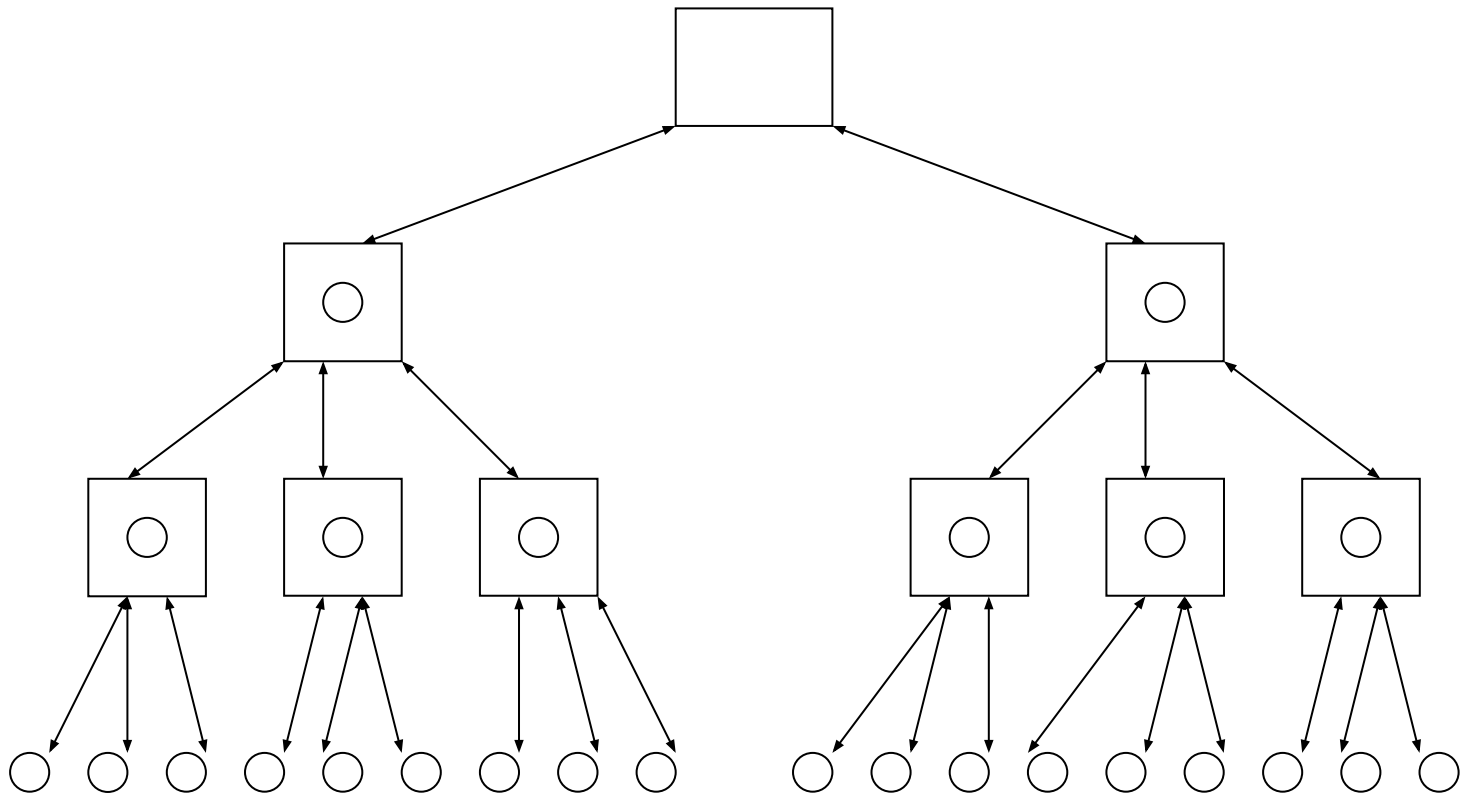
## Особенности смешанного управления

- При смешанном управлении сочетаются централизованный и децентрализованный принципы:
  - часть управляющих воздействий вырабатывается централизованно;
  - часть – децентрализованно
- Смешанное управление характерно для большинства реальных систем

## Особенности смешанного управления

- ***Достоинства и недостатки смешанного управления:***
  - присущи в той или иной мере достоинства и недостатки, свойственные децентрализованному и централизованному управлению

# Иерархическое управление



# Иерархическое управление

- Является наиболее развитой и распространенной формой смешанного управления
- В системе выделяется ряд уровней, каждый из которых включает одну или несколько подсистем со своими контурами управления
- Каждая подсистема имеет свою цель, которая увязана с целью системы более высокого уровня и, в конечном счете, с общей целью

# Иерархическое управление

- Между объектами подсистем на уровнях возможны три вида отношений:
  - **подчинения** (данный объект может воздействовать на нижестоящие объекты и менять их состояния);
  - **подчиненности** (рассматриваемый объект поддается управлению со стороны других (вышестоящих) объектов);
  - **взаимодействия** (рассматриваемый объект обменивается информацией с другими объектами)

# Иерархическое управление

- Информационные связи между объектами различных уровней – **вертикальные связи**
- Информационные связи между объектами одного уровня – **горизонтальные связи**
- Связи с подчиненными объектами – **внутренние связи**, все другие – **внешние связи**



# Иерархическое управление

- УО самого нижнего уровня получают самую подробную и конкретную информацию о состоянии ОУ
- По мере перехода к более высоким уровням информация обобщается и систематизируется
- Степень обобщения информации – отношение количества информации, поступающей на различные уровни:

$$\beta_{ij} = I_{\text{ВХ}i} / I_{\text{ВХ}j} \quad i, j = 0, m; i < j; \beta_{ij} \leq 1$$

# Иерархическое управление

- Команды управления, вырабатываемые УО высших уровней носят общий характер
- С продвижением вниз степень конкретизации и детализации команд повышается:

$$\alpha_{ij} = I_{\text{вых}j} / I_{\text{вых}i}, \quad i, j = 0, m; \quad i < j; \quad \alpha_{ij} \geq 1,$$

где  $I_{\text{вых}i}$  и  $I_{\text{вых}j}$  – количество информации, выходящей с уровней  $i$  и  $j$  соответственно


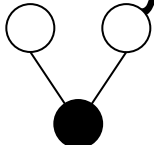
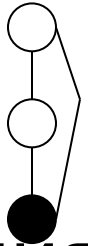
# Основные черты иерархических систем

- Последовательная вертикальная соподчиненность подсистем системы
- Приоритет действий (право вмешательства) подсистем верхнего уровня в действия нижестоящих систем
- Зависимость подсистем верхнего уровня от фактического исполнения функций подсистемами нижних уровней

# Признаки идеальной иерархической структуры (по М.Месаровичу)

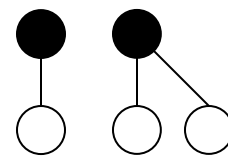
1. **Многоуровневость** (стратифицированность)
2. **Субординация внутренних связей** (элементы данного уровня связаны только с элементами ближайшего верхнего и ближайшего нижнего уровня)
3. **Ветвистость** (элемент данного уровня связан только с одним элементом верхнего уровня и с несколькими элементами нижнего уровня)
4. **Пирамидальность** (на самом верхнем уровне имеется только один элемент)
5. **Субординация верхних связей** (элементы каждого уровня могут иметь связи с внешней средой, однако они контролируются элементами ближайшего верхнего уровня, внешняя связь верхнего уровня контролируется только извне)

# Отступления от идеальной иерархической структуры в реальных системах

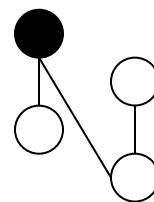
1. Элемент данного уровня связан только с одним элементом нижнего уровня (иерархия с синекурой) 
2. Элемент данного уровня связан более чем с одним элементом верхнего уровня (иерархия с расщеплением) 
3. Элемент данного уровня связан с элементом высших уровней, минуя ближайший верхний уровень (дислокация в иерархии) 

# Отступления от идеальной иерархической структуры в реальных системах (продолжение)

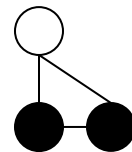
1. На самом верхнем уровне имеется несколько элементов (незавершенность иерархии)



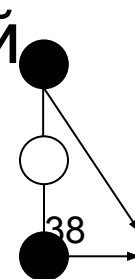
2. Элемент данного уровня связан непосредственно с элементами нескольких разных нижних уровней (неоднородность иерархии)



3. Элементы одного уровня связаны между собой (внутриуровневая зависимость)



4. Связи элементов данного уровня с внешней средой контролируются уровнем или контролируются элементами других уровней (нарушение субординации внешних связей)



# Лекция. Системы с управлением

Учебный вопрос 2.

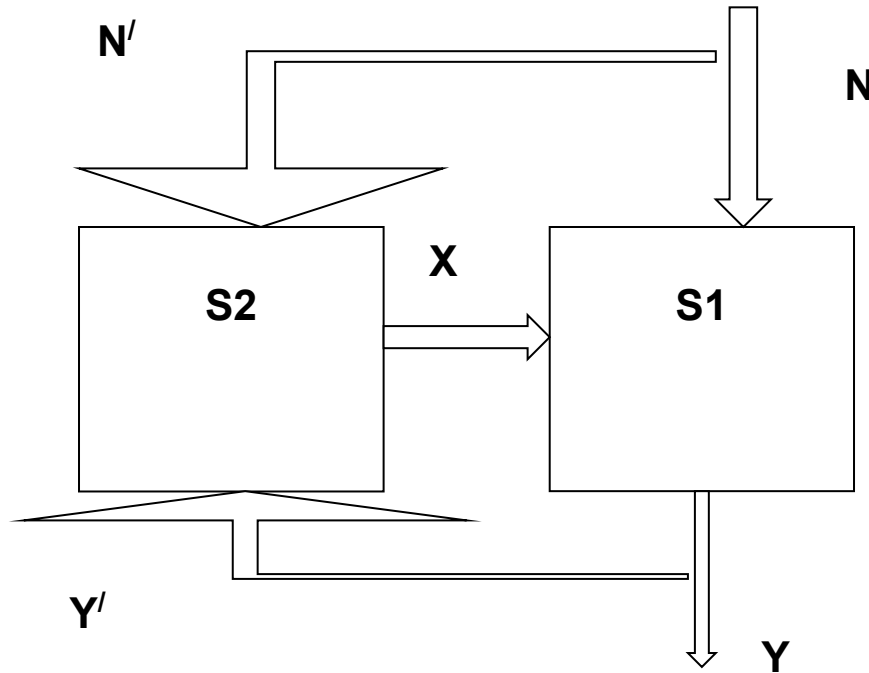
Аксиомы теории управления

# Типы систем с управлением

- В теории управления принято считать, что системы с управлением создаются для достижения конкретных целей, которые определяются в рамках других наук, занимающихся исследованием конкретных систем
- В зависимости от природы (люди или технические устройства) принято выделять три типа систем с управлением:
  - *организационные (социальные)* системы управления;
  - *технические (технологические)* системы управления;
  - *организационно-технические (комплексные)* системы управления



# Структурная схема системы с управлением



# Обозначения на структурной схеме

**S1** – объект управления;

**S2** – управляющая система;

**N** – информация о состоянии внешней среды (внешние воздействия на объект управления);

**N'** – информация о состоянии внешней среды, имеющаяся в управляющей системе;

**X** – командная информация;

**Y** – информация о состоянии объекта управления;

**Y'** – информация о состоянии объекта управления, имеющаяся в управляющей системе

# Задачи управляющей системы (S2)

- целеполагание;
  - стабилизация (поддержание заданного состояния при случайных воздействиях внешней среды);
  - выполнение программы;
  - слежение или оптимизация
- 
- Управляющая система обеспечивает:
    - либо удержание выходных характеристик системы при изменениях внешней среды в требуемых пределах;
    - либо выполнение системой действий по изменению значений её характеристик или характеристик внешней среды

# Задачи объекта управления (**S1**) и СИСТЕМЫ СВЯЗИ

- *Задача объекта управления* - реализация основной функции системы (быть её исполнительным инструментом)
- *Задача системы связи* - обеспечение обмена управляющей информацией между управляющей системой и объектом управления (является частью системы управления)

# Задачи теории управления при формальном представлении системы с управлением

- синтез структуры и параметров объекта управления, соответствующих цели (закону функционирования) создаваемой системы с управлением;
- синтез структуры и параметров управляющей системы, то есть построение структуры управления с учетом ограничений по затратам различного вида (численность управленческого персонала и др.);
- определение мест размещения центров обработки информации;
- определение массивов информации, подлежащих передаче, хранению и обработке;
- синтез структуры и параметров системы связи

Естественные условия необходимые для управления (аксиомы теории управления)

- Единых методов решения перечисленных задач для всех типов систем на настоящее время не существует
- Однако для всех типов систем с управлением признается существование ряда *аксиом и принципов управления*, знание которых позволяет квалифицированно решать задачи управления

# **Аксиомы теории управления**

# Аксиома 1.

## Наличие *наблюдаемости* объекта управления

- В теории управления объект управления считается наблюдаемым в состоянии  $\mathbf{z}(t)$  на множестве моментов времени  $T$ , при входном воздействии  $\mathbf{x}(t)$  и отсутствии возмущений, если уравнение наблюдения динамической системы, представленное в виде:

$$y^*(t) = g[t, x(t), z^*(t)],$$

где:  $y^*(t)$  – некоторая реализация выходного процесса, доступная для регистрации, имеет единственное решение  $z^*(t) = z(t) \in Z$

- Если это утверждение справедливо для любого  $z(t) \in Z$ , то объект считается ***полностью наблюдаемым***



# Аксиома 1. Наличие *наблюдаемости* объекта управления (продолжение)

- Введенное выражение  $y^*(t) = g[t, x(t), z^*(t)]$  означает, что:
  - определение любого из состояний объекта управления (то есть его наблюдаемость) реализуется только в том случае, если по результатам измерения выходных переменных  $y^*(t)$  при известных значениях входных переменных  $x(t)$  может быть получена оценка  $z^*(t)$  любой из переменных состояния  $z(t)$

# Аксиома 1. Наличие *наблюдаемости* объекта управления (продолжение)

- Задача  $y^*(t) = g[t, x(t), z^*(t)]$  в теории систем известна как ***задача наблюдения***
- В организационно-технических системах управления эта задача реализуется функцией *контроля* текущего состояния объекта управления и воздействий внешней среды
- Без этой информации управление или невозможно, или неэффективно

## Аксиома 2. Наличие управляемости объекта управления

- **Наличие управляемости** – способности объекта управления переходить в пространстве состояний  $Z$  из текущего состояния в требуемое под воздействием управляющей системы
- Под переходом в пространстве состояний  $Z$  из текущего состояния в требуемое можно понимать:
  - перемещение в физическом пространстве;
  - изменение скорости и направления движения в пространстве состояний;
  - изменение структуры или свойств объекта управления
- Если состояние объекта управления не меняется, то понятие управления теряет смысл

## Аксиома 3. Наличие *цели управления*

- Под *целью управления* понимают набор значений количественных или качественных характеристик, определяющих требуемое состояние объекта управления
- Если цель неизвестна, управление не имеет смысла, а изменение состояний превращается в бесцельное блуждание

# Аксиома 3. Наличие цели управления (продолжение)

- Цель отображается:
  - точкой, в которую надо перевести систему из существующего состояния;
  - траекторией перевода объекта управления в требуемое состояние в виде, например, аддитивной свертки:

$$\max F = \sum_{i=1}^n a_i y_i$$

с ограничениями вида:  $\sum_{i=1}^n b_i y_i \leq c,$

где:  $y_i$  –  $i$ -я характеристика;

$a_i$  – важность (вес)  $i$ -ой характеристики;

$b_i$  – расход ресурсов на поддержание  $i$ -ой характеристики в требуемом состоянии;

$c$  – общее количество ресурсов

## Аксиома 4. Свобода выбора

- Свобода выбора – это возможность выбора *управляющих воздействий (решений)* из некоторого множества допустимых альтернатив
- Чем меньше множество допустимых альтернатив, тем менее эффективно управление, так как в условиях ограничений оптимальные решения часто остаются за пределами области адекватности
- Если имеется единственная альтернатива, то управление не требуется
- Если решения не влияют на изменение состояния объекта управления, то управления не существует

## **Аксиома 5. Наличие *критерия эффективности управления***

- *Обобщенным критерием эффективности управления* считается степень достижения цели функционирования системы
- Кроме степени достижения цели качество управления можно оценивать по частным критериям:
  - степень соответствия управляющих воздействий требуемым состояниям объекта управления;
  - качество принимаемых решений;
  - точность управления
- Для оценки систем управления можно ввести требования к управлению по показателям *устойчивости, непрерывности (длительности) цикла управления, оперативности, скрытности* и др.

## Аксиома 6. Наличие *ресурсов*

- *Ресурсы могут быть:*
  - материальные;
  - финансовые;
  - трудовые;
  - информационные и т.д.)
- Ресурсы обеспечивают реализацию принятых решений
- Отсутствие ресурсов равносильно отсутствию свободы выбора
- Управление без ресурсов невозможно



# Лекция. Системы с управлением

## Учебный вопрос 3.

Принципы и структура управления. Принцип необходимого разнообразия Эшби

# Принципы построения систем с управлением

- Управление в системах может строиться по нескольким принципам:
  - децентрализованному;
  - централизованному;
  - смешанному

# Принцип децентрализованного управления

- При *децентрализованном управлении* выработка управляющих воздействий и их реализация осуществляются отдельными подсистемами независимо друг от друга
- С кибернетической точки зрения такая система не может считаться единой. Это совокупность систем с одноконтурным управлением

# Достоинства и недостатки децентрализованного управления

- ***Достоинства:***
  - управляющие объекты максимально приближены к управляемым, что существенно облегчает обмен информацией;
  - малая инерционность и высокая гибкость
- ***Недостатки:***
  - отсутствие координации управляющих воздействий;
  - слабая согласованность управляющих воздействий
- Эти недостатки затрудняют процесс достижения цели и приводят к большим затратам ресурсов на его реализацию

# Принцип централизованного управления

- Управление всеми объектами осуществляется одним управляющим объектом
- Управляющий объект получает информацию о состоянии каждого управляемого объекта и внешней среды, вырабатывает и передает каждому из них свое управляющее воздействие

# Достоинства и недостатки централизованного управления

- **Достоинства:**

- возможен быстрый обмен информацией между управляющим объектом и каждым из управляемых объектов;

- поскольку вся информация о системе сосредоточивается в одном месте, то существует принципиальная возможность выработки управляющих воздействий, обеспечивающих оптимальное функционирование системы

- **Недостатки:**

- сравнительно большое время на выработку управляющих воздействий;

- громоздкость управляющих объектов

- Централизованная система обеспечивает эффективное управление лишь при небольшом числе управляемых объектов

# Принцип централизованного управления (продолжение)

- С увеличением размерности системы сложность централизованного управления резко возрастает
- Приращение сложности управления  $\Delta s$  пропорционально числу управляемых объектов  $n$  и приращению этого числа  $\Delta n$ :

$$\Delta s = an\Delta n,$$

где:  $a$  - некоторый коэффициент пропорциональности

- Соответственно сложность управления будет определяться как

$$s = an^2$$

- Централизованное управление ухудшает надежность функционирования системы. Допущенные управляющим объектом ошибки уже не могут быть исправлены и отрицательно сказываются на всей системе

# Принцип смешанного управления

- Предполагает построение управления на сочетании централизованного и децентрализованного принципов:
  - часть управляющих воздействий вырабатывается централизованно, другая – децентрализованно
- Смешанному управлению присущи в той или иной мере все преимущества и недостатки, свойственные централизованному и децентрализованному принципам
- Смешанное управление характерно для большинства реальных систем
- Наиболее развитой и распространенной формой смешанного управления выступает иерархическое управление



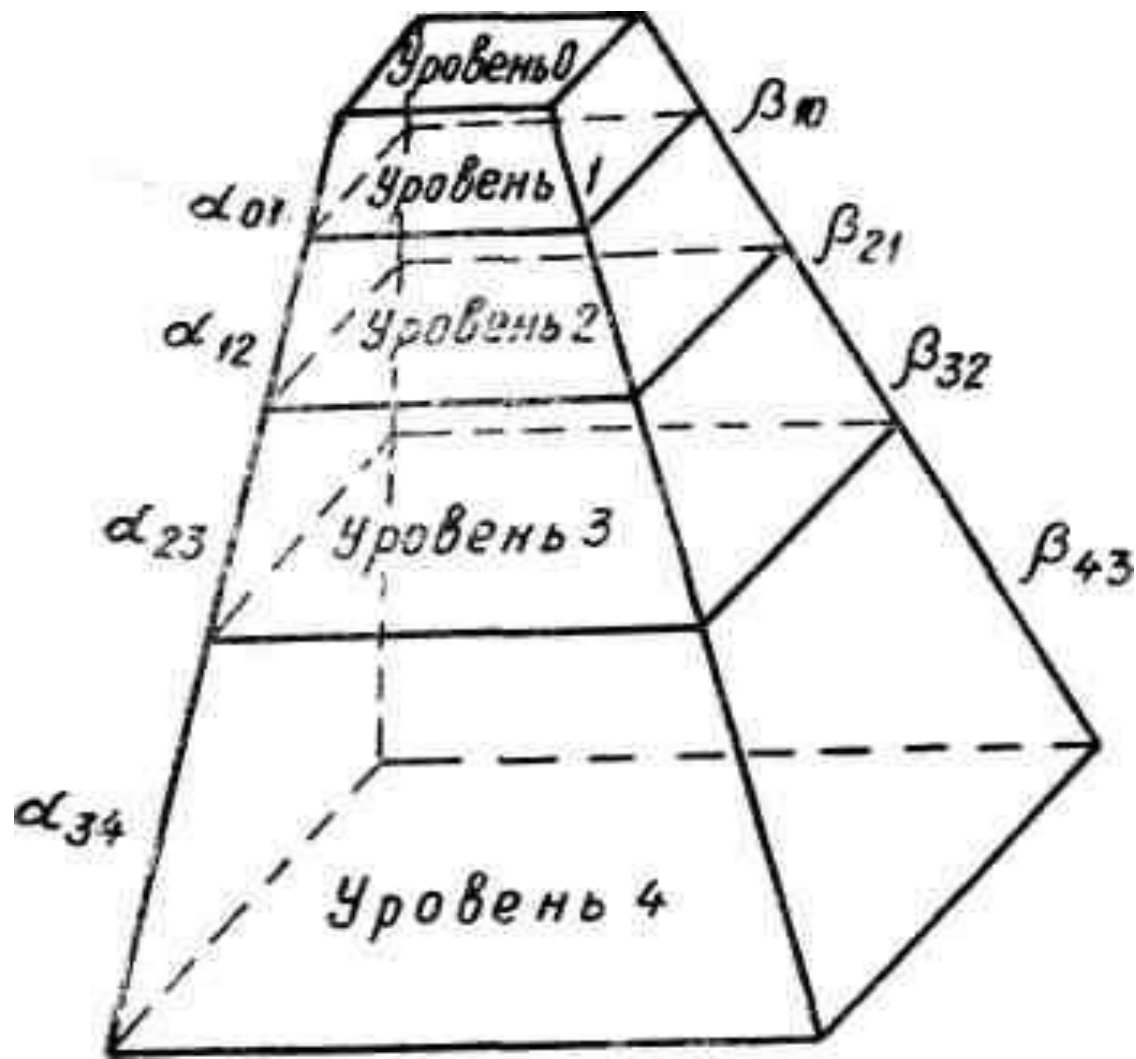
# Сущность иерархического управления

- В системе выделяется ряд уровней, каждый из которых включает одну или несколько подсистем со своими контурами управления
- Каждая подсистема имеет свою цель, которая увязана с целью системы более высокого уровня и в конечном счете с общей целью
- Между объектами подсистем на уровнях возможны три вида отношений:
  - подчинения;
  - подчиненности;
  - взаимодействия

# Сущность иерархического управления (продолжение)

- **Отношение подчинения:**
  - характеризуется тем, что данный объект может воздействовать на другие нижестоящие объекты и менять их состояния
- **Отношение подчиненности:**
  - указывает на то, что рассматриваемый объект поддается управлению со стороны других (вышестоящих) объектов. Управляющий объект на нижнем уровне выступает одновременно управляемым объектом высшего уровня
- **Отношение взаимодействия:**
  - свидетельствует о том, что рассматриваемый объект обменивается информацией с другими объектами
- Информационные связи между объектами различных уровней принято называть *вертикальными*, а между объектами одного уровня – *горизонтальными*
- Связи с подчиненными объектами классифицируются как *внутренние*, все другие - как *внешние*

# Сущность иерархического управления (продолжение)



## Сущность иерархического управления (продолжение)

- Управляющие объекты самого нижнего уровня получают самую подробную и конкретную информацию о состоянии управляемых объектов
- По мере перехода к более высоким уровням эта информация обобщается и систематизируется
- Степень обобщения информации может быть определена по отношению количества информации, поступающей на различные уровни:  $\beta_{ji} = \frac{I_{exi}}{I_{exj}}; i, j = 1, \overline{n}; i < j; \beta_{ji} \leq 1.$  68

# Сущность иерархического управления (продолжение)

- И наоборот, команды управления, вырабатываемые управляющими объектами на высших уровнях, носят общий характер. С продвижением вниз степень конкретизации и детализации команд повышается:

$$\alpha_{ij} = \frac{I_{выхj}}{I_{выхi}}$$

$i, j=0, 1, \dots, m, i < j, \alpha_{ij} \geq 1,$

где  $I_{выхi}$  и  $I_{выхj}$  - количество информации, выходящей с уровнями  $i$  и  $j$  соответственно

# Сущность иерархического управления (продолжение)

- Управление в системе с иерархической структурой основано на том, что каждая из подсистем решает некоторую частную задачу в условиях относительной самостоятельности
- Решения, выработанные всеми подсистемами какого-то уровня, координируются подсистемой, которой они подчинены
- При итеративном характере выработки решения координация решений и их корректировка могут производиться многократно

# Сущность иерархического управления (продолжение)

- К наиболее существенным чертам иерархических систем относятся:
  - последовательная вертикальная соподчиненность подсистем, составляющих данную систему;
  - приоритет действий или право вмешательства подсистем верхнего уровня в действия нижестоящих систем;
  - зависимость подсистем верхнего уровня от фактического исполнения подсистемами нижних уровней своих функций

## Сущность иерархического управления (продолжение)

- Основными характеристиками систем, построенных по иерархическому принципу, являются:
  - степень централизации;
  - норма управляемости;
  - трудоемкость управления



# Сущность иерархического управления (продолжение)

- *Степень централизации* характеризует разделение функций управления между уровнями иерархии и определяется для каждой пары смежных уровней через отношение объемов решаемых задач  $\omega$  (объемов перерабатываемой информации)

$$k_{i(i-1)} = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}, i = \overline{1, m}.$$

- Повышение степени централизации обычно отождествляется:
  - с повышением управляемости при одновременном увеличении объема перерабатываемой информации на верхних уровнях
- Понижение степени централизации отождествляется:
  - с повышением самостоятельности при одновременном увеличении объема перерабатываемой информации на нижних уровнях
- Максимальная централизация и максимальная децентрализация в сложных системах одинаково невыгодны

## Сущность иерархического управления (продолжение)

- *Норма управляемости* характеризует объем задач управления, которые могут эффективно решаться (решаются) управляющим объектом. Довольно часто в качестве первого приближения норму управляемости определяют как число управляемых объектов, приходящихся на один управляющий объект
- *Трудоемкость управления* характеризует трудозатраты на управление в заданной системе

# **Принцип необходимого разнообразия Эшби**

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Из аксиом управления следует, что управление заключается в ограничении разнообразия состояний управляемого объекта. Это означает, что энтропия объекта управления должна быть равна нулю  $H(Y) = 0$
- Иными словами, неопределенность относительно состояний объекта управления в управляющей системе должна полностью отсутствовать и объект управления должен находиться в строго определенном состоянии с вероятностью, равной единице

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Если управляемый объект характеризуется одним показателем качества  $y^l$  и может находиться в  $n$  состояниях  $y^l_1, y^l_2, \dots, y^l_n$  с вероятностями  $p(y^l_1), p(y^l_2), \dots, p(y^l_n)$ , то сообщение  $Y$  о том, в каком из состояний находится объект в системе с полной информацией, будет содержать количество информации, равное его энтропии:

$$H(Y) = - \sum_{i=1}^n p(y^l_i) \log_2 p(y^l_i).$$

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Для оценки состояний объекта, характеризуемого  $m$  показателями качества  $y_j$ , требуется провести суммирование их по  $j$ ,  $j=1, 2, \dots, m$ .
- Энтропия  $H(Y)$  является мерой первоначальной неопределенности состояния объекта управления
- Чем больше число различных состояний объекта и чем меньше отличаются друг от друга их вероятности, тем больше энтропия объекта управления
- При  $n$  равновероятных состояниях  $p_i = 1/n$  значение энтропии максимально:

$$H(Y)_{\max} = \log_2 n$$

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- С получением сведений об объекте управления неопределенность его состояния для управляющей системы уменьшается
- Количество взаимной информации в сообщениях, предназначенных для уточнения состояния (уменьшения энтропии) объекта управления, определяют как разность:

$$I(Y, Y') = H(Y) - H(Y/Y'),$$

где  $H(Y/Y')$  – условная энтропия объекта после получения сообщения  $Y'$

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Если полученное сообщение полностью характеризует состояние объекта, то оно полностью снимает неопределенность ( $H(Y/Y')=0$ ) и несет количество информации, равное  $H(Y)$



# Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Из теории информации также известно, что количество информации обладает двумя важными свойствами:
  - *положительностью* (это свойство свидетельствует о том, что количество информации всегда больше или равно нулю ( $I \geq 0$ ));
  - *симметричностью* (согласно этому свойству количество взаимной информации  $I(A, B)$ , которое содержит принятое сообщение о посланном, равно количеству взаимной информации  $I(B, A)$ , которое содержит посланное сообщение о принятом:  
$$I(A, B) = I(B, A)$$

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Указанные характеристики информации позволяют провести анализ управляющих воздействий относительно их соответствия состояниям управляемого объекта, иначе – определить пределы управления

# Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Пусть существует система с управлением, в которой решается *задача стабилизации* – поддержание заданного состояния при случайных воздействиях внешней среды
- Система описывается множеством возможных состояний объекта управления  $Y = \{y_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , и множеством возможных управляющих воздействий  $X = \{x_j\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$
- Для определения пределов управления рассмотрим три возможных варианта:
  1. Отсутствие управления
  2. Идеальное управление (управление с полной информацией)
  3. Реальное управление (управление с неполной информацией)

# Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

1. Вариант *отсутствия управления*:

- если управление отсутствует, то управляемый объект может принимать любое из состояний  $Y$  и характеризуется максимальной энтропией:

$$H(Y) = -\sum p(y_i) \log_2 p(y_i) = H(Y)_{\max}.$$

# Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

## 2. Вариант *идеального управления*:

- если управление идеальное, управляемый объект будет все время находиться в заданном состоянии с вероятностью, равной единице, и поэтому энтропия управляемого объекта равна нулю:

$$\begin{aligned} H(Y / X) &= -\{p(y_1) \log_2 p(y_1)\} + \left\{ \sum_{i=2}^n p(y_i) \log_2 p(y_i) \right\} = \\ &= -\{1 * \log_2 1 + \{0 * \sum_{i=2}^n \log_2 p(y_i)\} = -\{1 * 0\} + \{0\} = 0. \end{aligned}$$

Здесь:  $p(y_1) = 1$  - вероятность первого состояния системы при условии воздействий  $X$ , а вероятности остальных состояний

$$\sum_{i=2}^n p(y_i) = 0.$$

# Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

## 3. Вариант *реального управления*:

- при управлении в *реальных условиях* имеют место отклонения состояния управляемого объекта относительно заданного. Это определяется тем, что управляющая система в общем случае подвержена внешним воздействиям, не обладает полной информацией о состоянии среды  $N$  и объекта управления  $Y(N' \subset N \text{ и } Y' \subset Y)$ .

Это приводит к тому, что управляющие воздействия не полностью соответствуют требуемым воздействиям. В этом случае можно сделать вывод, что энтропия объекта управления в реальных условиях может изменяться в пределах:

$$0 < H(Y/X) < H(Y)_{\max}$$

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Качество управления может определяться количеством взаимной информации  $I(X, Y)$  в управляющих воздействиях  $X$  относительно состояний управляемого объекта  $Y$ , вычисляемой как разность между безусловной и условной энтропией:

$$H(Y)_{max} - H(Y/X) = I(X, Y), \quad (1)$$

что соответствует уменьшению энтропии управляемого объекта на величину, равную полученной информации

# Принцип необходимого разнообразия Эшби

- С другой стороны, количество взаимной информации  $I(X, Y)$  в управляющих воздействиях  $X$  относительно состояний управляемого объекта  $Y$  может быть выражено как разность энтропии управляющей системы  $H(X)$  и условной энтропии управляющей системы после получения сообщения о состоянии управляемого объекта  $H(X/Y)$ :

$$I(X, Y) = H(X) - H(X/Y) \quad (2)$$



## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Подставив выражение (2) в правую часть выражения (1), получим:

$$H(Y)_{max} - H(Y/X) = H(X) - H(X, Y). \quad (3)$$

- После переноса  $H(Y)_{max}$  из левой части выражения (3) в правую часть и замены знаков получим:

$$H(Y/X) = H(Y)_{max} - H(X) + H(X, Y) \quad (4)$$

# Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Выражение (4), определяющее предельные возможности управления, показывает, что для повышения качества управления, то есть уменьшения энтропии  $H(Y/X)$ , необходимо:
  - уменьшить разнообразие состояний управляемого объекта  $H(Y)$ ;
  - увеличить разнообразие управляющих воздействий  $H(X)$ , приближая его к разнообразию состояний управляемого объекта  $H(Y)$ ;
  - уменьшить неоднозначность управляющих воздействий относительно состояний объекта управления  $H(X/Y)$ , что возможно при наличии полной информации об управляемом объекте и внешней среде

## Учебный вопрос 3: Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Иными словами, *нужно стремиться к тому, чтобы на каждое возможное состояние управляемого объекта имелось свое управляющее воздействие*, чтобы существовала возможность использования управляющих воздействий в зависимости от состояния и чтобы всякий раз обеспечивался выбор того воздействия, которое соответствует состоянию объекта управления

# Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Выражение (4):

$$H(Y/X) = H(Y)_{max} - H(X) + H(X, Y)$$

отражает фундаментальный принцип кибернетики, известный как принцип необходимого разнообразия (принцип У. Росса Эшби) и формулируемый кратко так:

- *«Разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия объекта управления»*

# Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Согласно данному принципу:
  - с увеличением сложности объекта управления сложность управляющей системы должна увеличиваться;
  - при управлении нужно располагать возможно более точной и полной информацией об управляемом объекте и внешней среде

# Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Из этого принципа следует, что:
  - энтропию объекта управления (многообразии состояний регулируемых переменных) можно понизить до желаемого уровня (что и является целью регулирования), только увеличив энтропию управляющей системы (многообразии регулирующих переменных) по меньшей мере до соответствующего минимума

# Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Принцип утверждает, что:
  - производительность любого физического устройства как регулятора не превышает его производительности как канала связи
- К сожалению, условная энтропия  $H(Y/X)$  не может считаться исчерпывающей характеристикой качества управления даже в теоретическом плане. Дело в том, что значение энтропии зависит лишь от распределения вероятностей, но не от самих значений случайной величины

# Принцип необходимого разнообразия Эшби

- Между тем, довольно часто более важны сами значения случайных отклонений, а не их вероятности
- Кроме того, возможности управления ограничиваются и некоторыми другими факторами, например:
  - временем обработки информации в управляющем объекте;
  - временем передачи информации по каналам прямой и обратной связи



# **Лекция. Системы с управлением**

**Учебный вопрос 4.**

**Функции управления и их модели.  
Функционирование систем с  
управлением**

## Учебный вопрос 4. Функции управления и их модели

- При любом способе реализации процесс управления может быть представлен совокупностью функций
- Под *функцией управления* понимается устойчивая группа операций, основанная на разделении труда в управляющем объекте и соответствующая определенным стадиям управленческого цикла в различных системах

# Учебный вопрос 4. Функции управления и их модели

- Такими функциями могут выступать:
  - перспективное планирование;
  - текущее планирование;
  - оперативное управление (регулирование);
  - учет;
  - контроль и др.
- Функции планирования и оперативного управления считаются основными, остальные – вспомогательными
- Сложность той или иной функции и ее наличие определяются назначением и особенностями системы

# Учебный вопрос 4. Функции управления и их модели

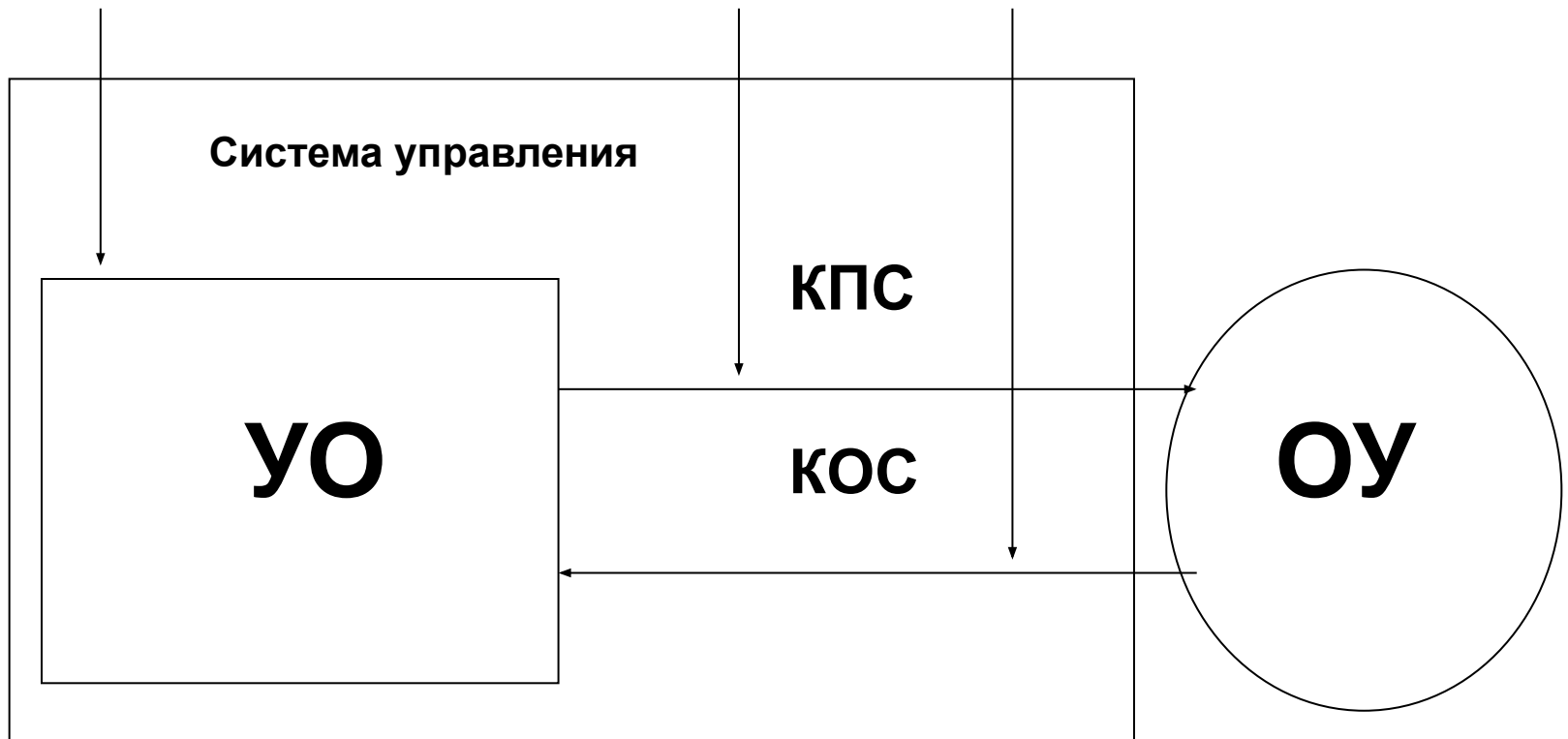
- В свою очередь каждую функцию можно разделить на задачи
- Раскрытие содержания функций и целиком управленческого процесса в значительной степени достигается с помощью классификации задач

# Сущность процесса управления с позиций кибернетики

1. Сбор информации о состоянии элемента системы, которым управляют, и внешней среды
2. Сравнительная оценка действительного и требуемого состояний системы и среды и выработка информационных воздействий для перехода в новое состояние, приближающее систему к цели
3. Доведение выработанных информационных воздействий до ОУ

# Система с управлением

Внешняя среда



- ***Алгоритм управления*** – совокупность правил, по которым информация состояния перерабатывается в командную информацию
- ***Цикл управления*** – совокупность мероприятий по управлению, выполняемых в системе при одном изменении среды

# Функции управления

- В процессе своего функционирования система с управлением реализует функции управления.
- Общими функциями для систем с управлением являются:
  - планирование;
  - учет;
  - контроль;
  - оперативное управление (регулирование).



# Функции управления

- **Планирование** состоит в том, что на основе известного состояния объекта управления и имеющихся ресурсов определяется план достижения поставленной цели
- **Учёт** - это фиксация, накопление и частичная обработка информации о состоянии объекта управления и среды

# Функции управления

- ***Контроль*** ориентирован на выявление отклонений между фактическими и плановыми значениями показателей функционирования объекта управления, выяснение причин этих отклонений и возможностей их устранения

# Функции управления

- **Оперативное управление**  
предполагает оценку выявленных при контроле отклонений и выработку корректирующих воздействий для приведения объекта управления в требуемое состояние (состояние соответствия с запланированной линией поведения)
- Перечисленные общие функции управления обладают свойством устойчивости, т.е. их состав не меняется для различных систем управления

# Атрибуты управления

- Цель управления
- Информация состояния
- Командная информация
- Алгоритм управления
- Функции управления