
ТЕОРИЯ СИСТЕМ

лектор

доцент кафедры АСУ

к.т.н. Цыкунова С. Ю.

Предмет теории систем

■ Теория систем - научная и методологическая концепция исследования объектов, представляющих собой системы

ИЗУЧАЕТ

Различные классы
систем

Основные принципы
и закономерности
поведения систем

Процессы
функционирования
и развития систем

Структура курса

```
graph TD; A[Структура курса] --> B[Введение]; A --> C[1 часть]; A --> D[2 часть]; A --> E[Заключение];
```

Введение

Предпосылки и история развития ТС.
Задачи и направления ТС

1 часть

Основные понятия ТС.
Виды систем.
Закономерности и принципы функционирования систем

2 часть

Модели и методы описания, анализа и синтеза систем различных классов

Заключение

Современные направления и перспективы развития теории систем

Введение:

предпосылки возникновения ТС



История развития ТС – I этап

Философия: Н.Кузанский 15 в., Г. Лейбниц 17 в

Тектология А.Богданов 20-е гг. 20 в

Физиология: В.Бехтерев, Бернштейн, П.Анохин

Психология: Пиаже, Выгодский

Лингвистика: де Соссюр и т.п.

Формирование
системно-
организационного
мышления

Идея о наличии общих
закономерностей при взаимодействии
физических, биологических и
социальных факторов

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ
СИСТЕМ
К.Л.фон Берталанфи,
1937г семинар
Чикагский университет

История развития ТС-II этап

Социология: Аганбегян, Афанасьев, Левада, Бакли.

Экономика: Афанасьев, **К.Боулдинг**

Биохимия: Энгельгардт В.А.

Биология: **Берталанфи**,

Математика, психология – **Р.Жерар, А. Рапопорт**, Л.Заде, У.Р.Эшби



1954г. Общество исследований в области ОТС

1956г. Ежегодник «General systems» под ред.Берталанфи и Рапопорта

1959г. Центр системных исследований США Кейсовский ун-т

С 1963г. Институты и центры системных исследований в Японии, США, СССР, Польше, Болгарии и специальные издания «Mathematical Systems Theory», IEEE Transaction on system Science and Cybernetics

1969г. Книга С.Оптнера «Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем» СССР

С 1969г. Ежегодник «Системные исследования» СССР

ОТС и другие науки о системах

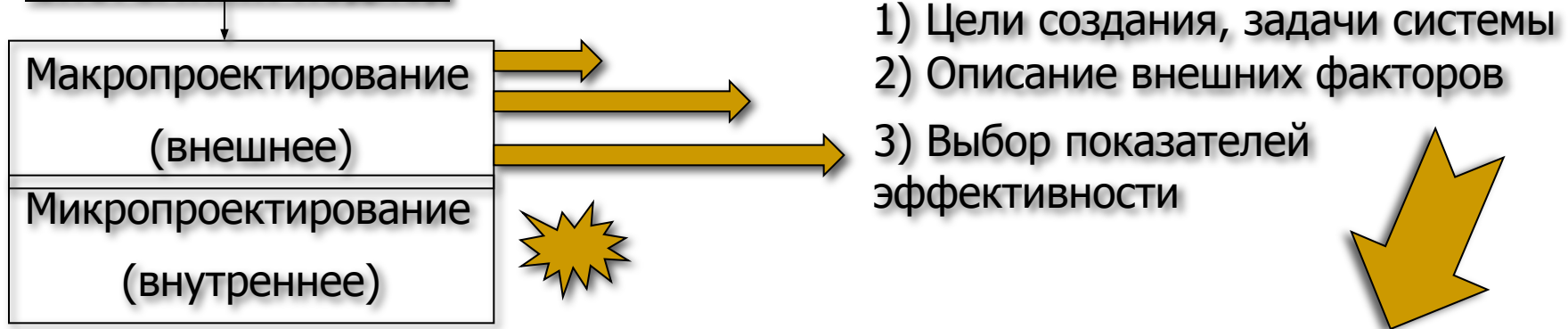
- Исследование операций - научный метод выработки количественно обоснованных рекомендаций по принятию решений.
- Кибернетика, базирующаяся на принципе обратной связи.
- Теория информации, вводящая понятие информации как некоторого измеряемого количества и развивающая принципы передачи информации.
- Теория игр, анализирующая в рамках особого математического аппарата рациональную конкуренцию двух или более противодействующих сил с целью достижения максимального выигрыша и минимального проигрыша.
- Теория принятия решений, анализирующая рациональные выборы внутри человеческих организаций.
- Топология Топология, включающая неметрические области, такие, как теория сетей Топология, включающая неметрические области, такие, как теория сетей и теория графов.
- Факторный анализ, то есть процедуры выделения факторов в многопеременных явлениях в социологии и других научных областях.

Математический аппарат

- Теория множеств
- Комбинаторный анализ
- Математическая логика
- Теория алгоритмов
- ТАУ
- Теория информации
- ТВ и МС
- Теория надежности
- ЭВМ и операционные системы
- Функциональный анализ

Задачи теории систем

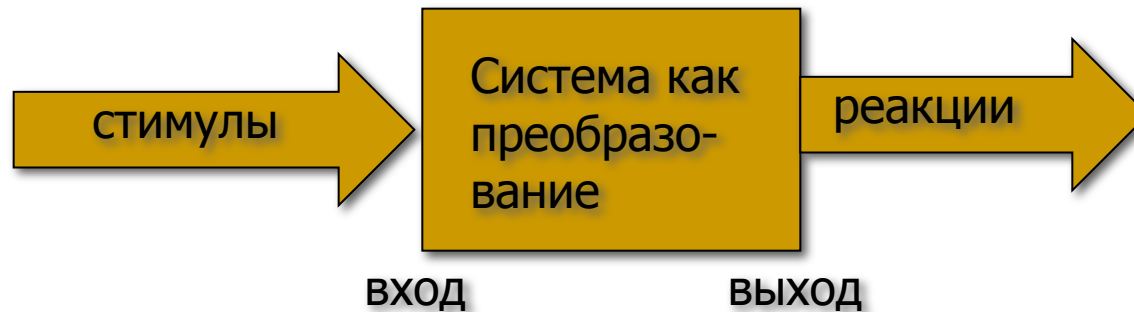
Системный подход



- **определение общей структуры системы**
- **организация взаимодействия между подсистемами и элементами**
- **учет влияния факторов внешней среды**
- **оптимизация структуры системы**
- **выбор оптимальных алгоритмов функционирования системы**

Введение: направления развития теории систем

- феноменологический подход



Причинно-
следственный или
терминальный

??????????????????

?

- разработка теории сложных целенаправленных систем

Современный этап в теории сложных целенаправленных систем

В 1994г. проф. Лофти Заде (основоположник теории нечетких множеств) – ввел термин «мягкие вычисления» или soft computing (МВ)

МВ – новое направление, включающее методы вычислительной математики, которые нацелены на приспособление ко «всеобъемлющей **неточности** реального мира» и являются более эффективными, чем традиционные.

- Нечеткая логика и теория нечетких множеств
- Нейронные сети, эволюционные алгоритмы
- Вероятностные вычисления с включением хаотических систем
- Теория обучения и сети доверия

Исходная модель для МВ – **человеческое мышление**

Определения системы

- *К.Л.фон Берталанфи:* «совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и средой»
- *А.Холл:* «множество предметов вместе со связями между предметами и между их признаками»
- *М.Месарович и Я.Такахара* «формальная взаимосвязь между наблюдаемыми признаками и свойствами»
- *Ф.Е.Темников* «система есть организованное множество»
- *А.И.Уёмов* «множество вещей, свойств и отношений»
- *Филосовский словарь* «совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях между собой определенным образом и образующих некоторое целостное единство»
- ...
- **Рабочее определение:**
«Система – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и с внешней средой, образующих определенную целостность и единство с точки зрения решаемых задач»

Понятия, характеризующие статику (строение) системы

- **Элемент** – простейшая, неделимая относительно решаемой задачи (или цели исследования) часть системы
- **Подсистема** – часть системы более крупная, чем элемент, но более детальная, чем система в целом. Функции подсистем м.б. относительно независимыми, но цели подсистем ВСЕГДА направлены на достижение общей глобальной цели системы
- **Структура** (structure- структура, расположение, порядок) - обобщенная характеристика системных свойств, фиксирующих элементы, отношения и связи в наиболее абстрактной форме. Отражает наиболее существенные взаимоотношения между элементами и подсистемами, которые не меняются при изменениях в системе.

Представление структур: графически, матрицы, теоретико-множественное описание, языки моделирования структур.

Иерархия – упорядоченность элементов по степени важности. Уровни иерархии: страты, слои, эшелоны

Понятия, характеризующие статику и динамику системы

- **Связь** – обеспечивает возникновение и сохранение структуры и целостности системы в процессе функционирования и развития.



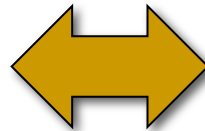
- **Упорядоченность** – фиксация наличия в системе определенного порядка элементов, отношений и связей в строении и функционировании.
- **Организация** – фиксирует не только упорядоченность, но и специфические для каждой системы взаимоотношения между ее частями, подсистемами и уровнями.

Понятия, характеризующие динамику (функционирование) системы

- **Состояние** (срез, фотография системы) – множество существенных свойств системы в данный момент времени.
- **Поведение** – способность системы переходить из одного состояния в другое.

Процесс функционирования:

известны закономерности переходов из одного состояния в другое во времени (технические объекты)



Поведение:

закономерности неизвестны (люди, животные, организации)

- **Внешняя среда** – множество элементов, не входящих в состав системы, но влияющих на ее поведение.
- **Модель** – описание системы, отражающее определенную группу ее свойств с точки зрения решаемой задачи

Понятия, характеризующие динамику (функционирование) системы

- **Равновесие** – способность системы в отсутствие внешних воздействий сохранять свое состояние сколь угодно долго.
- **Устойчивость** – способность возвращаться в состояние равновесия после того, как система была из него выведена внешними воздействиями (шарик в ямке и шарик на горке).
- **Эквифинальность** – характеризует предельные возможности и понятия равновесия и устойчивости в открытых системах (определенного уровня сложности).
- Берталанфи: **Э** – способность открытой системы достигать не зависящего от времени состояния, которое определяется только лишь параметрами системы и не зависит от исходных, полностью детерминированных условий. Напр.: биологические системы
- В организационных системах исп. термин «целенаправленность»

Понятия, характеризующие динамику (функционирование) системы

- **Развитие** – процесс, направленный на изменение системы с целью ее усовершенствования («увеличения»).
- Примеры:
- 1. Увеличение сложности системы (введение различной избыточности, увеличение функциональности)
- 2. Улучшение адаптируемости системы
- 3. Увеличение масштабов явления (развитие катастрофы, цунами...)
- 4. Социальный прогресс
- 5. Колич.рост экономики и кач.улучшение ее структуры
- Закономерности развития:
- - неравномерность и гетерохронность (асинхронность фаз развития)
- - неустойчивость (есть кризисы развития-спираль)
- - сензитивность (разная чувствительность к внешним воздействиям)
- - кумулятивность
- - дивергентность-конвергентность (чередование увеличения и свертываемости разнообразия в процессе развития)

Классификация систем

Характер взаимоотношений со средой	Открытые Замкнутые (закрытые)
По виду научного направления	Математические, физические, химические, философские, экономические и т.п.
По степени организованности	Хорошо организованные Плохо организованные (диффузные) Самоорганизующиеся
По отношению к времени	Статические Динамические
По степени сложности	Простые Сложные
По происхождению	Естественные Искусственные Виртуальные, Смешанные

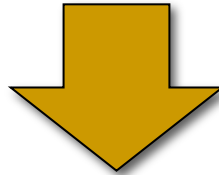
Классификация систем

По виду отображаемого объекта	Технические, биологические, социальные, экологические и т.п.
По причинной обусловленности	Детерминированные Стохастические
Степень подчиненности	Простые (каждый с каждым) Иерархические (существует соподчиненность)
По способу управления системой	Управляемые извне Управляемые изнутри С комбинированным управлением
По типу описания функционирования системы	типа <i>“Черный ящик”</i> типа <i>“Белый (прозрачный) ящик</i> <i>не параметризованные</i> <i>параметризованные</i>

Хорошо организованные системы

СВОЙСТВА:

- Определяются **все элементы** и их **взаимосвязи**
- Известны все **правила объединения** элементов в подсистемы
- Определены связи между **частями системы** и **целями системы**



МЕТОДЫ:

Возможно представление системы **математической моделью** (критерий эффективности или критерий функционирования системы)

- Для решения используются **аналитические** методы **формального представления** систем

ПРИМЕРЫ:

- солнечная система (движение планет вокруг солнца);
 - планетарная модель атома;
 - работа электрических, механических и электронных устройств и т.п.
- (не учитывается действие случайных факторов, как несущественных с тчк. зрения цели исследования систем)

Плохо организованные (диффузные) СИСТЕМЫ

СВОЙСТВА:

- стохастичность поведения (действие случ.факторов - определяющее);
- нестационарность параметров и процессов;
- **НЕВОЗМОЖНО** определить **все** элементы и связи;



МЕТОДЫ:

Проводится **выборочное исследование** характеристик системы и полученные закономерности распространяются на **всю систему** в целом с некоторой **доверительной вероятностью**.

- Используются вероятностные методы формального представления систем, имитационное моделирование и т.п.

ПРИМЕРЫ:

- Системы массового обслуживания;
- Документальные потоки в системах управления;
- Численность штатов в фирмах и т.п.

Самоорганизующиеся системы

СВОЙСТВА:

- все свойства диффузных систем +
- непредсказуемость поведения;
- способность адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды;
- способность изменять структуру при взаимодействии со средой с сохранением целостности;
- способность формировать возможные варианты поведения и выбирать наилучший

МЕТОДЫ:

Комбинированные методы системного анализа(формального представления + экспертные оценки + дерева целей)

ПРИМЕРЫ:

- Биологические организации;
- Коллективное поведение людей;
- Организация управления на предприятии, в отрасли, в государстве и т.п.

Простые и сложные системы

Признаки сложных систем:

- большое количество разнородных элементов
- большое количество разнородных связей
- членение на функциональные подсистемы
- функциональная избыточность
- иерархическая структура системы управления (для техн. и орг.систем)
- наличие человека в структуре управления (для техн. и орг.систем)

Особые свойства сложных систем:

- Непредсказуемость
- Уникальность
- Негентропийность (целенаправленность) – отрицательная энтропия

ПРИМЕРЫ (сложные системы различной природы):

1. «Чисто физические» термодинамические неравновесные необратимые системы (вулкан, солнце);
2. Технические системы (производство);
3. Биологические системы (клетка, живое существо, экосистема)
4. Общественные системы различного уровня (человек, отрасль промышленности, экономика страны)

Общие свойства и закономерности систем

- Целостность и единство
- Интегративность
- Коммуникативность
- Иерархичность
- Историчность
- Закон необходимого разнообразия

Целостность и единство, интегративность

Целостность (эмерджентность, системность) - в системе возникают новые интегративные качества и свойства, отличные от свойств элементов, из которых она состоит (синергия элементов и связей).

- **Синергия** (sinergeia - совместное действие, сотрудничество) – взаимодействие двух и более элементов всегда дает больший эффект
- Синергетика - направление, изучающее закономерности самоорганизующихся систем, начало 70-х годов нем. физик Г.Хакен

Внешняя и внутренняя целостность (условно) - обусловлена связями между элементами и наличием внешней среды:

внешняя – при взаимодействии со средой, отделяет систему от среды,

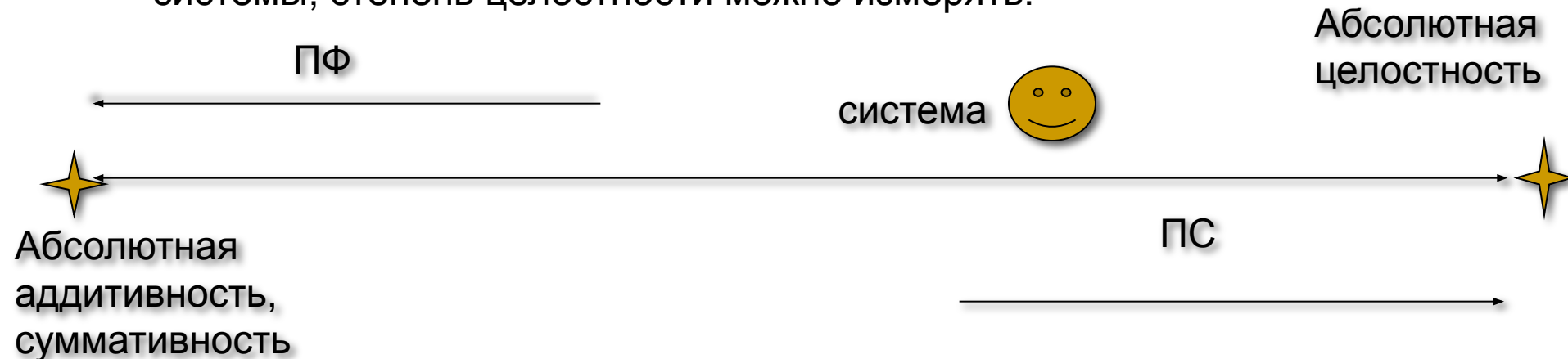
внутренняя (интегративность) – характеризует причины формирования и сохранения целостности, обусловленные неоднородностью и противоречивостью элементов и связей системы

Проявление целостности:

- 1) свойства системы не есть простая сумма свойств ее элементов
- 2) изменение свойств в одной части системы вызывает изменение свойств других частей и системы в целом (**единство**)

Закономерности измерения целостности

- При переходе из одного состояния в другое меняется целостность системы, степень целостности можно измерять:



- **ПФ – прогрессирующая факторизация** – стремление системы к состоянию с все более независимыми элементами;
- **ПС – прогрессирующая систематизация** – стремление системы к уменьшению самостоятельности элементов, т.е. к большей целостности

Коммуникативность

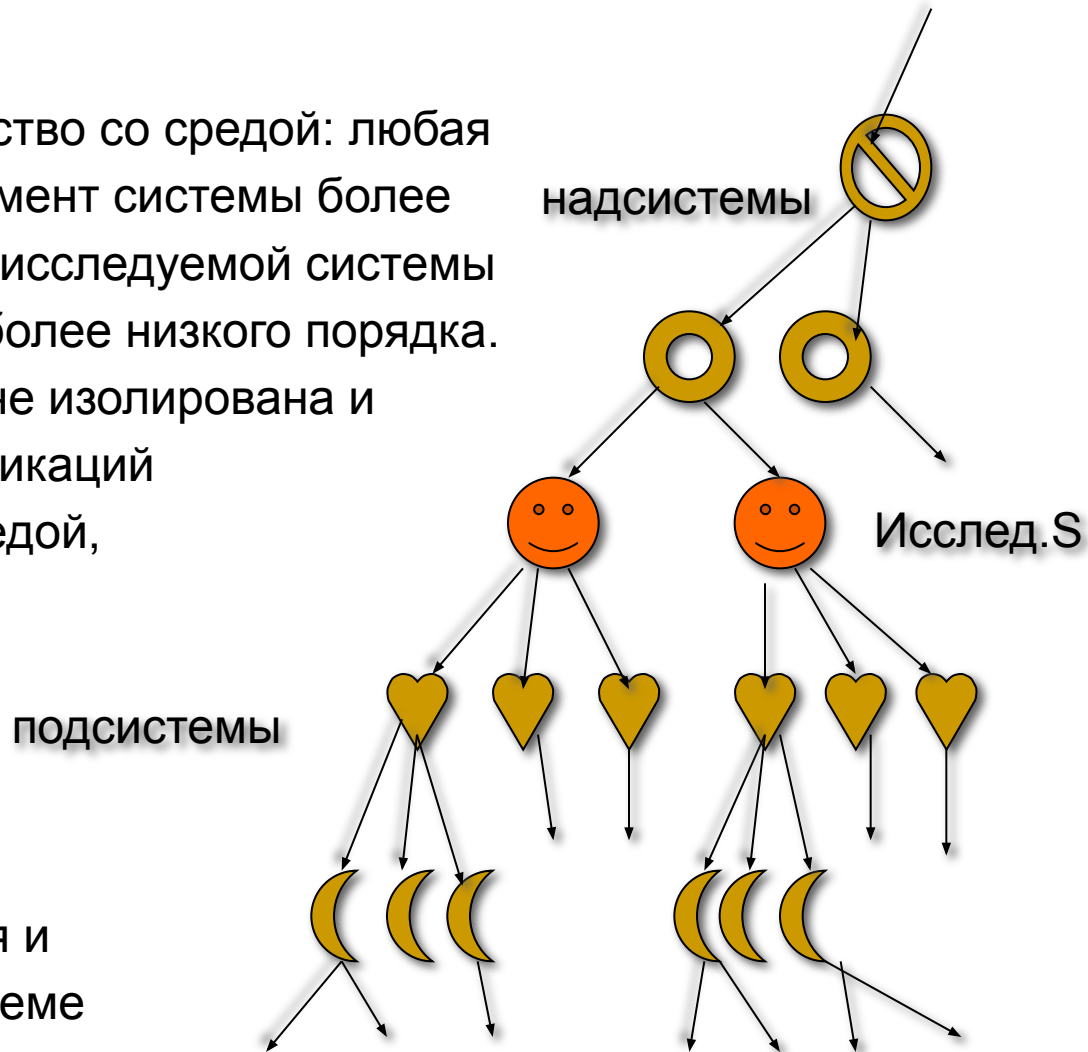
- Садовский В.Н., Юдин Э.Г. :

система образует особое единство со средой: любая исследуемая система есть элемент системы более высокого порядка, а элементы исследуемой системы представляют собой системы более низкого порядка.

Коммуникативность: система не изолирована и связана множествами коммуникаций со сложной, неоднородной средой, Содержит всегда:

- **надсистемы,**
- **подсистемы**
- **системы своего уровня**

Надсистема задает требования и ограничения исследуемой системе

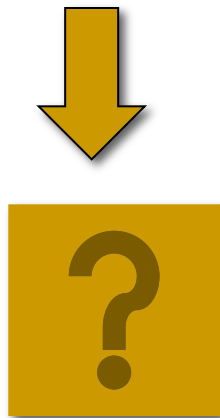


Иерархичность

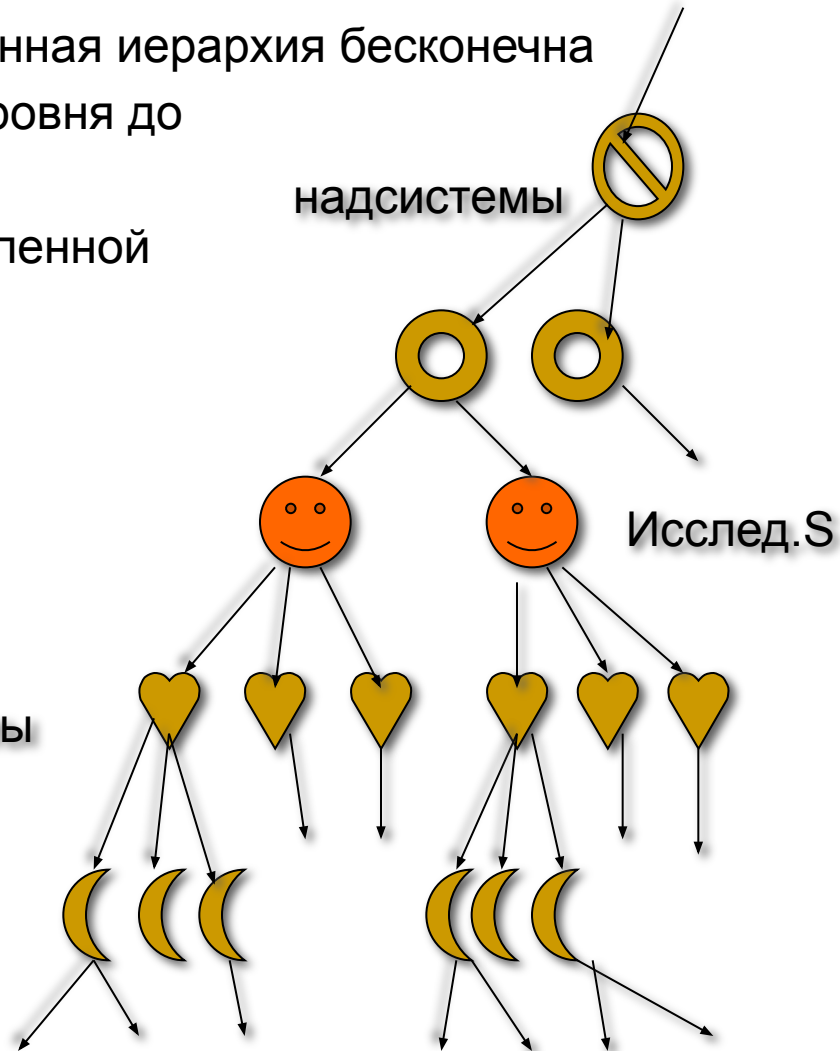
- Из коммуникативности → построенная иерархия бесконечна вверх и вниз (от атомно -молекулярного уровня до космоса и человеческого общества), т.е. построение всего мира и любой выделенной из него системы **иерархично**.

Сущность иерархичности:

на каждом уровне построенной иерархии проявляется свойство целостности!



подсистемы

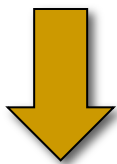


Иерархичность

- Из коммуникативности → построенная иерархия бесконечна вверх и вниз (от атомно -молекулярного уровня до космоса и человеческого общества), т.е. построение всего мира и любой выделенной из него системы **иерархично**.

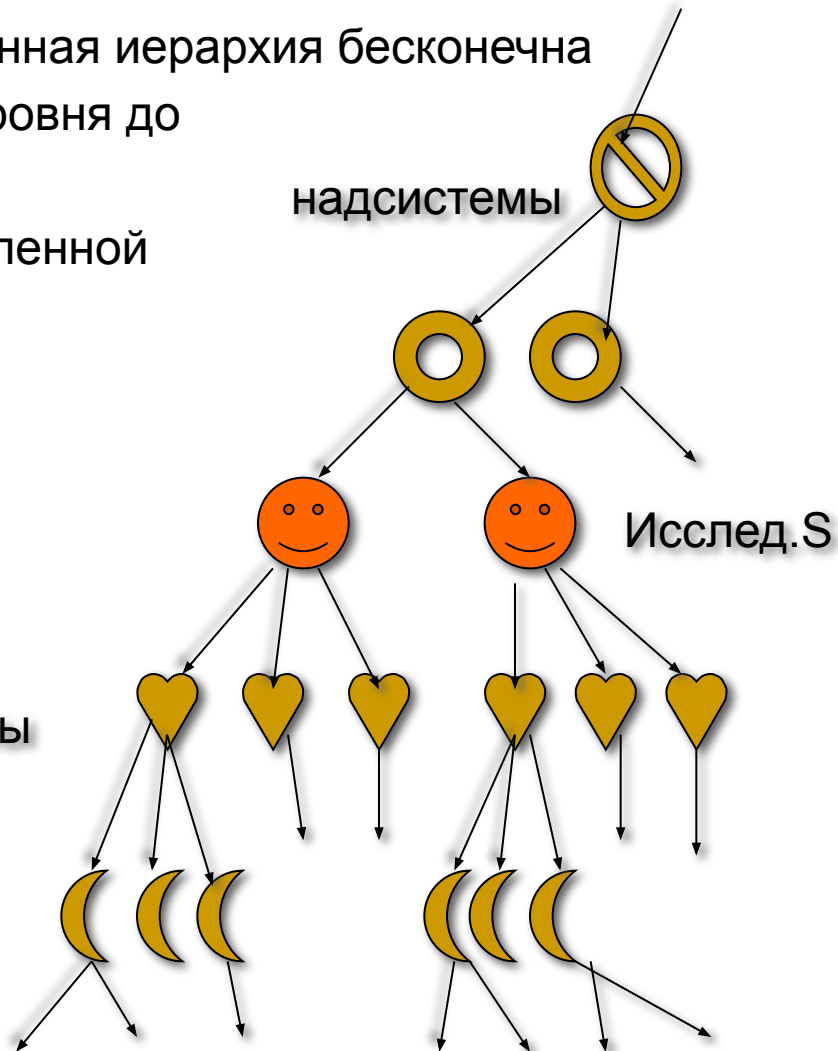
Сущность иерархичности:

на каждом уровне построенной иерархии проявляется свойство целостности!



**БЕСКОНЕЧНОЕ
МНОГООБРАЗИЕ
ВСЕГО
СУЩЕСТВУЮЩЕГО**

подсистемы



Закон необходимого разнообразия

- У.Р.Эшби «Введение в кибернетику» 1956г. - один из важнейших законов управления:
«Разнообразие исходов [ситуации], если оно минимально, может быть еще более уменьшено лишь за счет соответствующего увеличения разнообразия, которым располагает регулятор» т.е. желательно иметь разнообразие возможных действий управляющего не ниже разнообразия вероятных действий управляемой им системы.

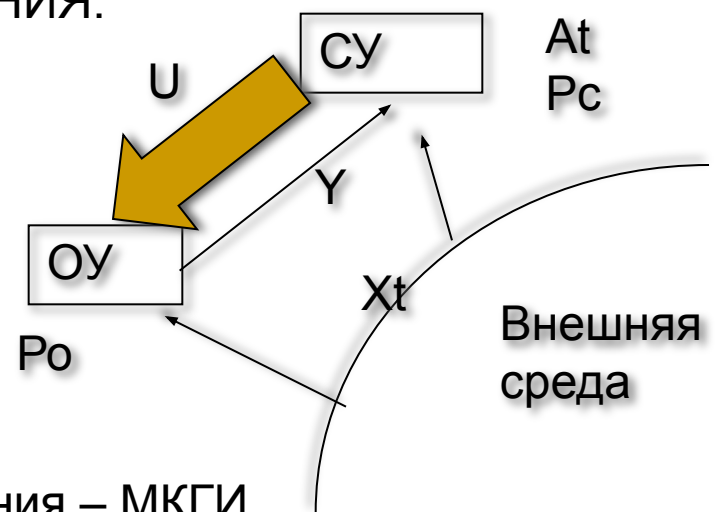
ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ:

- 1) Бытовые приборы
- 2) Игра в шахматы
- 3) Организация управления (рис.)
- 4) Технические системы

5) Перед принятием любого решения важно иметь как можно больше разнообразной информации о ситуации...

Преимущества коллективного управления – МКГИ

Рис.



Закон необходимого разнообразия

В равной мере используется и при создании искусственных систем (технических)

Формулировка:

Чтобы создать систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным, известным разнообразием нужно (желательно), чтобы сама система имела еще большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, либо была способна сама создать в себе это разнообразие.

- Системы искусственного интеллекта - помощь специалисту при принятии решений (в силу ограниченного разнообразия)

Историчность

- 1944г. И. Хоффмайстер, Философский смысл:
«что-то произошедшее, что, тем не менее, и в дальнейшем не потеряло свое значение, несмотря на то, что ушло в прошлое»
- ТС: все системы функционируют во времени, на настоящее прошлое оказывает влияние, т.е. любая система исторична.

Основа закономерности – внутр. противоречия между компонентами S.

Биологические и общественные системы: периоды зарождения, становления, развития, упадка и гибели очевидны.

Технические и организационные системы – определение периодов - затруднительно, но исключительно важно:

Все ТС – техногенные системы _____ необходимо оптимальное управление развитием ТС с целью определить приближение того или иного периода. Например:

При проектировании сложной ТС (этап зарождения) необходимо предусмотреть средства для развития системы, средства для предотвращения (или хотя бы предсказания) старения и износа (упадка) или момента отказа, разрушения (гибели) системы или ее элементов.

Теория надежности и теория риска _____ прогноз и количественные временные характеристики периодов

Закономерности целеобразования в сложных системах

- 1. Представление о цели и формулировка цели зависит от стадии познания объекта
- 2. Цель зависит от внутренних и внешних факторов
- 3. Задача формирования общей (глобальной) цели системы можно свести к задаче структуризации цели
- 4. Способ представления структуры цели зависит от стадии познания объекта
- 5. В структуре целей проявляется закономерность целостности

Системные направления

- Системный подход – направление, где элементы ОТС впервые использовались для практических приложений.
 - «+» Исследования проводились комплексно, с разных сторон одновременно (а не отдельно физические, химические и др. св-ва)
 - «+» Определялись взаимоотношения объекта со средой
- Но:
 - «-» понятия ТС вводились не строго
 - «-» исследуемый объект не классифицировался как система
 - «-» не учитывались закономерности класса при конкретных условиях
- Системные исследования – более конструктивное направление, вводится понятие структуры; системы классифицируются и каждый класс наделяется особыми свойствами и закономерностям. Но не вырабатывается общей методологии исследования систем.
- Системный анализ - наиболее конструктивное современное направление, определяющее методологию исследования сложных целенаправленных систем (Д.Киланд, В.Кинг).

Системный анализ

Квейд Э. – синоним термина «анализ систем».

Янг С. – синоним «системные исследования».

Др.источники: «приложение системных концепций к функциям управления, связанным с планированием»...

Но кроме вопросов классификации и структуризации систем в отличие от работ по СИ и СП, работы по СА содержат или затрагивают:

- - вопросы целеобразования и формализации представления целей;
- - методологию проведения исследований;
- - выделяются этапы исследований;
- - предлагается методика выполнения этих этапов в конкретных условиях.
- 1948г. – термин СА в исследованиях RAND Corporation (военные задачи)
- 1969г. в отечественной литературе (Книга Оптнера С. «Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем»)
- Сегодня – усиление внимания к неформализованным методам, методам нечетких множеств, комбинирование формализованных и неформализованных подходов при проведении системного анализа

Этапы системного анализа

1. Формирование вариантов представления системы

- 1.1. Формулирование целей, постановка задачи
- 1.2. Структуризация - выделение системы из среды, (т.е. следует определить, на что нам хватит ресурсов, а что уже является входами внешней среды), выделение отдельных элементов и связей между ними и внешней средой в соответствии с поставленными целями.
- 1.3. Выбор подхода к представлению вариантов (выбираем методы представления, моделирования)
- 1.4. Формирование варианта (вариантов) представления системы (синтез моделей системы, т.е. структурная идентификация объекта исследования)

2. Выбор наилучшего варианта (улучшение системы)

- 2. 1. Выбор подхода к оценке вариантов (выбираем методы исследования)
- 2.2. Выбор критериев оценки и ограничений
- 2.3. Проведение оценки (параметрическая идентификация ОИ)
- 2.4. Обработка результатов оценки
- 2.5. Анализ полученных результатов и выбор наилучшего варианта (или корректировка единственного варианта)