

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНСТИТУТ
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. Л. Сергеев, д.т.н., профессор кафедры ГРHM,
E-mail: SergeevVL@ignd.tpu.ru

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Темы первого раздела курса [1,4,5]:

1. Эволюция системных представлений.
2. Определения понятия система.
3. Понятия, характеризующие строение, функционирование и развитие систем.
4. Классификация систем.
5. Закономерности систем (классификация).
6. Системный подход и системный анализ .

ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Направления системных исследований:

1. **Тектология** -1924 г.- А.А. Богданов (Малиновский).
2. **Теория систем**- 1930-е г.г.- Л.Фон Берталанфи, К. Боулдинг, Дж.ван Гиг, М. Месарович, В.Н.Садовский, А.И. Уемов и др.
3. **Системология** (системный подход) -1950-е г.г.- В.Т.Кулик, И.Б.Новик, Б.С. Флейшман, В.В.Дружинин и др.
4. **Системный анализ**-1960-е г.г.- Ч. Девис, С. Зигфорд, Э.Квейд, В.Кинг и др. ;
5. **Системотехника** (Sistem Engineering)-1962 г. - Г. Гуд, Р.Макол, Ф.Е.Темников.
6. **Кибернетика**- 1934 г.- Н.Винер, У.Р.Эшби, И.Берг, Л.П.Крайзмер.
7. **Синергетика**- 1960-е г.г.- И.Пригожин, И. Стенгерс, Г.Хакен.
8. **Имитационное моделирование** - 1950-е г.г.- Дж. Форрестер, А.В.Федотов.,А.А. Емельянов.
9. **Исследование операций** - 1960-е г.г.- Р. Экофф, Е.С. Венцель, Т.Саати.
10. Специальные дисциплины.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМА

1. Л. фон Берталанфи:

система – «комплекс взаимодействующих компонентов»;

система – «совокупность элементов, находящихся в определенном отношении друг с другом и со средой»

$$S \in \langle A, R \rangle, R = \{ r_i \}, A = \{ a_j \};$$

$$S \in \langle A \{ a_i \}, R \{ r_j \} \rangle, R = \{ r_i \}, A = \{ a_j \}; \quad (1)$$

$$S \in \langle A \{ a_i \}, R \{ r_j \} \rangle, R = \{ r_i \}, A = \{ a_j \}$$

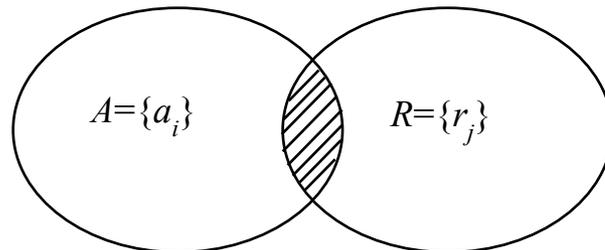


Рис. 1 – Определение системы № 3 из (1)

a_i - элементы (части, компоненты, объекты); r_j - отношения (связи)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМА

2. В Большом Российском энциклопедическом словаре система определяется переводом с греческого **συστήμα** – целое, составленное из частей, т.е. как множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство. *)

*) **БРЭС** – М.: БРЭ, 2003. – С. 1437.

3. **Ф.Е.Темников, Ф.П. Тарасенко** - («Система есть средство достижения цели» - Z).

$$S \equiv \langle A, R, Z \rangle \quad (3)$$

4. **В.Н. Сагатовский**:

система - «конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды - SR в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала - ΔT »:

$$S \equiv \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle \quad (4)$$

5. **Ю.И. Черняк**: «Система есть отражение в сознании субъекта - N (или исследователя, наблюдателя на его языке – L(N)) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания»:

$$S \equiv \langle A, R, Z, N, L(N) \rangle \quad (5)$$

N – лицо принимающее решение (ЛПР)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМА

6. **В.Н. Волкова** («Теория систем и системный анализ: учебник для вузов, 2010.- стр.25») [1]:

$$S \equiv \langle Z, Str, Tech, Cond, N \rangle \quad (6)$$

Z - совокупность или структура целей;

Str - совокупность структур, реализующий цели;

Tech - совокупность технологий (методы, средства, алгоритмы и т.п.);

Cond - условия существования системы, внешние и внутренние факторы, влияющие на ее создание и функционирование;

N - наблюдатели, ЛПР;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМА

7. В.Л. Сергеев (конструктивное определение системы необходимое для ее проектирования) : система есть организованная либо самоорганизованная целостная совокупность взаимодействующих компонентов и их свойств

$$\mathcal{B}_t \equiv \{t, W_f, W_s, G, T_y = (A_y, K_y), P_0\} \quad (7)$$

$W_f^* = \{t, Y, X, U, D^*(dt), dt \in [t_0, t], v, F\}$ - компонента (подмодель) функционального представления ;

W_s - компонента, определяющая структуру ;

G - подсистема целей (иерархия, дерево целей);

T_y - технология управления и принятия решений ;

$A_y = \{\Phi, Opt(\cdot, \cdot)^{opt}\}$ - алгоритм управления и принятия решений;

Z - множество альтернатив; Opt - критерий качества (эффективности) либо принцип оптимальности;

Φ - вектор существенных свойств системы; K^{opt} - правило выбора наилучшей альтернативы $z^0 \in Z$;

K_y - комплекс условий, обеспечивающий качество и эффективность алгоритма A_y ;

$D^*(dt) = (Y^*(dt), X^*(dt), U^*(dt))$ - информация о переменных системы и внешней среды, полученная за время $dt \in [t_0, t]$;

P_0 - предикат целостности, определяющий назначение системы, семантику ее компонент.

ПОНЯТИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ

1. Основные понятия, характеризующие строение системы:

- **элемент** (простейшая неделимая часть системы);
- **компоненты** (относительно независимые части системы со свойствами системы)
- **подсистема** (совокупности однородных, по какому либо признаку, элементов);
- **связь** (ограничение степени свободы элементов, компонентов);
- **«обратная связь»** - изучается в кибернетики и является основой адаптации систем, приспособления их к изменяющимся условиям внешней среды, саморегулирования и развития;
- **структура - строение, расположение** (отражает определенные взаимосвязи, взаиморасположение составных частей системы, ее устройство (строение));
- **цель** (идеальное устремление, заранее мыслимый результат сознательной деятельности человека, коллектива, менеджера, ЛПР , **заданный в количественных и качественных показателях**)

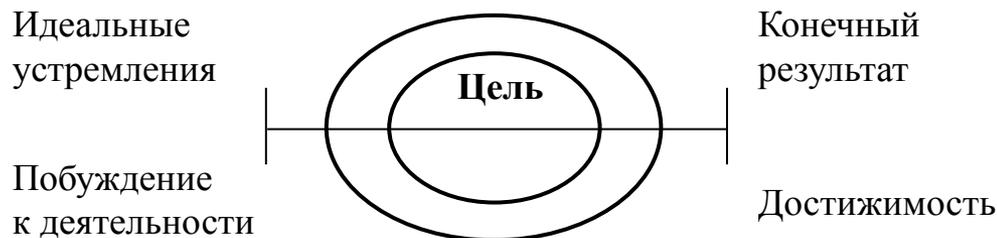


Рис. 2 – «Шкала» цели

ПОНЯТИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ

1. Основные понятия, характеризующие функционирование и развитие системы:

- **состояние** (множество существенных свойств системы в данный момент времени);
- **поведение** (способность системы переходить из одного состояния в другое);
- **равновесие** (способность системы сохранять свое состояние);
- **устойчивость** (способность системы возвращаться в состояние равновесие);
- **развитие** (переход системы на качественно новый уровень путем **получения и использования новой информации новых знаний**, изменения цели, структуры, функционирования, технологии управления и принятия решений);
- **жизненный цикл** (процесс изменения состояния системы от возникновения потребности в ней до ее «смерти» либо ликвидации).

ПОНЯТИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Жизненный цикл – пример 1

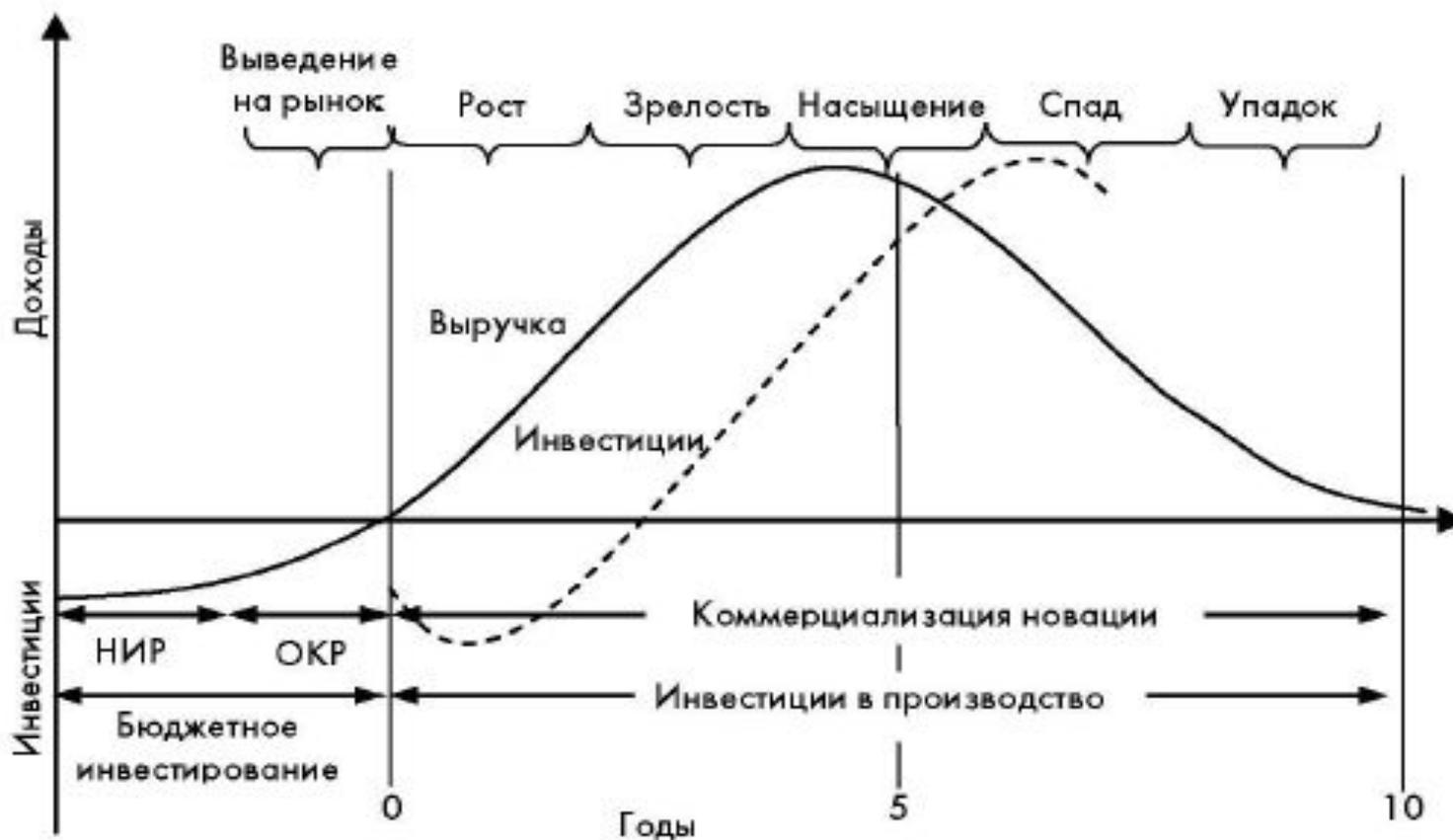


Рис. 3. Основные этапы жизненного цикла инновационного товара

ПОНЯТИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Жизненный цикл – пример 2

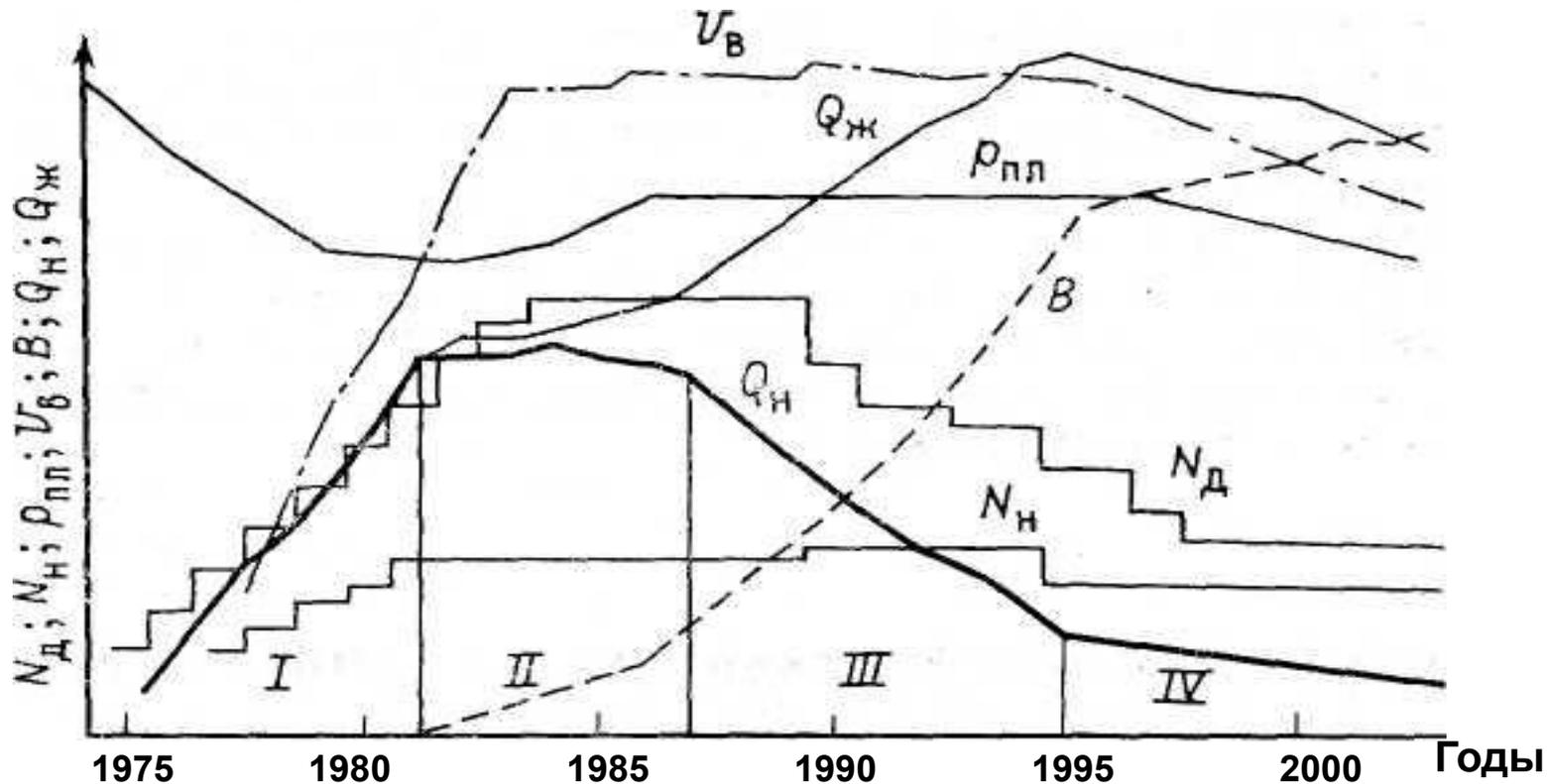


Рис. 4 . Показатели разработки нефтяного месторождения:

Q_n - добыча нефти; $Q_{ж}$ - отбор жидкости; B - обводненность продукции;
 V_v - объем закачки воды; $P_{пл}$ - пластовое давление; N_d , N_n - фонд действующих, добывающих и нагнетательных скважин;
I, II, III, IV — стадии разработки.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Предпринимались попытки классифицировать системы по следующим признакам:

- *по виду отображаемого объекта* (технические, биологические, экономические и т.п.);
- *по виду научного направления, используемого для их моделирования* (математические, физические, химические и др.);
- *по виду формализованного аппарата представления системы* (детерминированные и стохастические);
- *по сложности структуры и поведения* (простые и сложные);
- *по типу целеустремленности и взаимодействию со средой* (открытые, закрытые);
- *степени организованности* (хорошо организованные, плохо организованные - диффузные, самоорганизующиеся системы).

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Таблица 1 – Эмпирическая классификация Ст. Бира

Системы	Простые (состоящие из небольшого числа элементов)	Сложные (достаточно разветвленные, но поддающиеся описанию)	Очень сложные (не поддающиеся точному и подробному описанию)
Детерминированные (их поведение точно предсказуемое)	Оконная задвижка	Цифровая электронно-вычислительная машина	
	Проект механических мастерских	Автоматизация	
Вероятностные (нельзя дать точного детального предсказания)	Подбрасывание монеты	Хранение запасов	Экономика
	Движение медузы	Условные рефлексы	Мозг
	Статистический контроль качества продукции	Прибыль промышленного предприятия	Фирма

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Таблица 2 – Эмпирическая классификация К. Боулдинга

Типы систем	Уровень сложности	Примеры
Неживые системы	Статистические структуры (остовы)	Кристаллы
	Простые динамические структуры с заданным законом поведения	Часовой механизм
	Кибернетические системы с управляемыми циклами обратной связи	Термостат
Живые системы	Открытие системы с самосохраняемой структурой (первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое)	Клетки Гомеостат
	Живые организмы с низкой способностью воспринимать информацию	Растения
	Живые организмы с более развитой способностью воспринимать информацию, но не обладающие самосознанием	Животные
	Системы, характеризующиеся самосознанием, мышлением и нетривиальным поведением	Люди
	Социальные системы	Социальные организации
	Трансцендентные системы (системы, лежащие в настоящий момент вне нашего познания)	

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИСТЕМ

Классификация закономерностей систем:

1. Взаимодействия части и целого
 - **целостность** (эмерджентность, интегральное качество) - Л.фон Бертоланфи ;
 - прогрессирующая систематизация (стремление системы к уменьшению самостоятельности элементов т.е. к большей целостности) – А.Холл ;
 - прогрессирующая факторизация (стремление системы к состоянию со все более независимыми элементами) – А.Холл ;
 - **аддитивность** (свойства системы распадаться на независимые элементы);
 - **интегративность** (свойства сохранения целостности. Главные ее факторы неоднородность, противоречивость частей системы их стремление к объединению).
2. Иерархическая упорядоченность
 - **коммуникативность** – В.Н. Садовский, Э.Г.Юдин;
 - **иерархичность** - Л.фон Бертоланфи.
3. Осуществимость систем
 - **эквивинальность** - Л.фон Бертоланфи (характеризует предельные возможности системы) ;
 - **закон необходимого разнообразия** У.Р.Эшби;
 - **потенциальная эффективность** Б.С. Флейшмана.
4. Развитие систем
 - **историчность; целеобразование; самоорганизация.**

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИСТЕМ

1. Взаимодействия части и целого .

Целостность (эмерджентность, интегральное качество) – появление у системы новых свойств, отсутствующих у элементов.

1. Свойства системы (целого) S не являются простой суммой свойств составляющей ее элементов S_i

$$S \neq \sum_{i=1}^n S_i \quad (*)$$

2. Свойства системы (целого) S зависят от свойств составляющей ее элементов

$$S = f(s_i) \quad (**)$$

3. Объединенные в систему элементы, как правило (часто), утрачивают часть своих свойств, т.е. система как бы подавляет их. С другой стороны элементы, попавшие в систему, могут приобретать новые свойства.

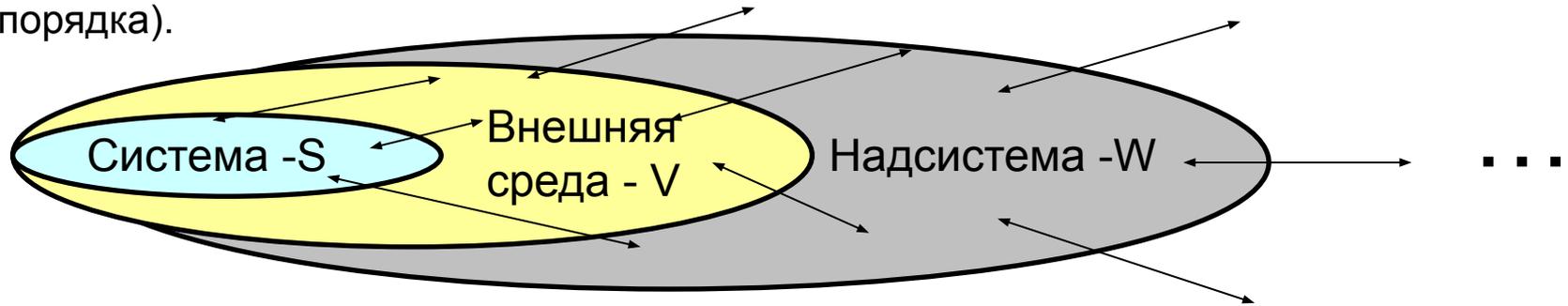
Аддитивность – крайнее свойство системы распадаться на независимые элементы проявляется когда справедливо равенство

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (***)$$

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИСТЕМ

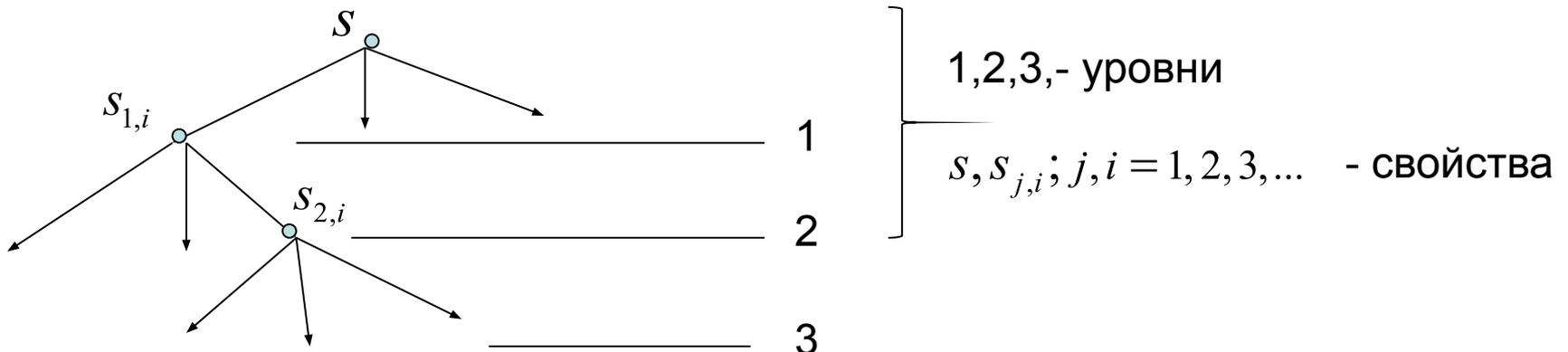
2. Иерархическая упорядоченность.

Закономерность коммуникативности – сложное единство со средой (любая исследуемая система представляет элемент системы более высокого порядка).



$S_1 = \{S, V\}$; $S_2 = \{S, V, W\}$; $S_3 = \{S, W\}$ - системы.

Иерархичность как закономерность заключается в том, что закономерность целостности проявляется на каждом уровне иерархии, где возникают новые свойства



ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИСТЕМ

3. Осуществимость систем.

1. **Закономерность эквифинальности** Л.фон Бертоланфи определил как «способность достигать не зависящего от времени состояния, которое не зависит от ее начальных условий и определяется исключительно параметрами системы». (эквифинальность дает возможность характеризовать предельные возможности системы их предельно возможными состояниями)

2. **Закон необходимого разнообразия** впервые сформулировал У.Р.Эшби «чтобы создать систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным разнообразием (сложностью), нужно чтобы сама система (знание методов решения) имела еще большее разнообразие чем разнообразие решаемой проблемы или была способна создать это разнообразие.

3. **Потенциальная эффективность (ПЭ)**. Б.С. Флейшман на основе предельных законов качеств системы (надежности, помехоустойчивости, управляемости) показал, что можно получить количественные оценки осуществимости систем, предельные оценки жизнеспособности, потенциальной эффективности.

Потребность оценках ПЭ на практике велика. Например, нужно определить, когда будут исчерпаны потенциальные возможности существующей организационной структуры, когда устареют и потребуют обновления производственные комплексы.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СИСТЕМ

4. Развитие систем :

Историчность . Время является неременной характеристикой системы, поэтому каждая система исторична, и это такая же закономерность как целостность, интегративность и др.

Закономерности целеобразования:

- **зависимость представления о цели и ее формулировки от стадии познания объекта (процесса)и времени (Л.А.Растригин) (по мере развития представления об объекте формулировку цели можно и нужно уточнять);**
- **зависимость цели от внешних и внутренних факторов;**
- **возможность и необходимость декомпозиции цели (цели распадаются на подцели, строится иерархия «деревья целей», структура цели, формируемая коллективно, помогает достичь одинакового понимания общей цели).**

Закономерность самоорганизация обеспечивает высшее качество системы характеризует ее способность противостоять энтропийным тенденциям, способность выбирать цели, адаптироваться к изменяющимся условиям, преобразуя при необходимости свою структуру.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Этапы системных исследований :

Системный подход (появился когда элементы общей теории систем использовались для практической деятельности при необходимости многоаспектных исследований объекта с разных сторон, комплексно. Понятия теории систем вводились не строго).

Системные исследования (здесь понятия теории систем используются более конструктивно: определяется класс систем, вводятся понятия структура, функция, цель и т. п. Появились системные направления: системотехника, системология и др. в который использовался развитый аппарат исследования операций).

Системный анализ (наиболее конструктивное направление системных исследований, представляет общую методологию системных исследований, выделяет этапы исследований и предлагает методику выполнения этих этапов в конкретных условиях).

Определение и направления системного анализа:

- **методология исследования целенаправленных систем** (Д. Киланд, В. Кинг.) - построение моделей связывающие цели со средствами, представляющих исследуемый объект в виде хорошо организованной системы;
- **методология последовательного разбиения изучаемого процесса на подпроцессы**, расчленения сложной проблемы на части, подпроблемы и этапы, системное управление организацией (С. Янг);
- **методология исследований развивающихся и самоорганизующихся систем** (усиление роли неформальных методов, сочетания и взаимодействия формальных и неформальных методов, использование закономерностей развития систем, открытости, взаимодействия целого и части).

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Системный анализ- это прикладное направление теории систем, которое (В.Н. Волкова, стр. 16):

1. применяется в условиях начальной неопределенности проблемной ситуации, когда проблема не может быть представлена с помощью формальных математических методов;
2. уделяет внимание процессу постановки задачи и использует не только; формальные методы, но и методики качественного анализа с использованием накопленного опыта и знаний, интуиции специалиста;
3. опирается на основные понятия теории систем и их закономерности;
4. помогает организовать процесс коллективного принятия решений, объединяя специалистов различных областей знаний.

Структура системного анализа :

1. Декомпозиция – представление системы в виде подсистем (определение цели (целей), функциональная, компонентная и структурная декомпозиция, описание системы как «черного ящика»).

2. Анализ – нахождения свойств системы и среды (этапы анализа обеспечивают детальное представление системы, требования к системе, взаимосвязи компонент, анализ предыстории, причин развития ситуации, анализ эффективности, критерии оценки и ограничения).

3. Синтез (проект решения проблемы) – разработка модели (моделирование, оценка модели по критериям адекватности, простоты и т.п.), структурный и параметрический синтез, оценка вариантов синтезируемой системы, оценка снятия проблемы.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ



Рис. 5 – Дерево функций системного анализа

2. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Темы второго раздела курса:

1. Модели систем.
2. Классификация видов моделирования.
3. Методы моделирования систем (классификация):
 - качественные методы (методы направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов – (МАИС)).
 - количественные методы.
4. Методы формализованного представления систем МФПС. Классификация МФПС.

МОДЕЛИ СИСТЕМ

Понятие «модель системы»

Теория систем – это, фактически, теория моделей систем

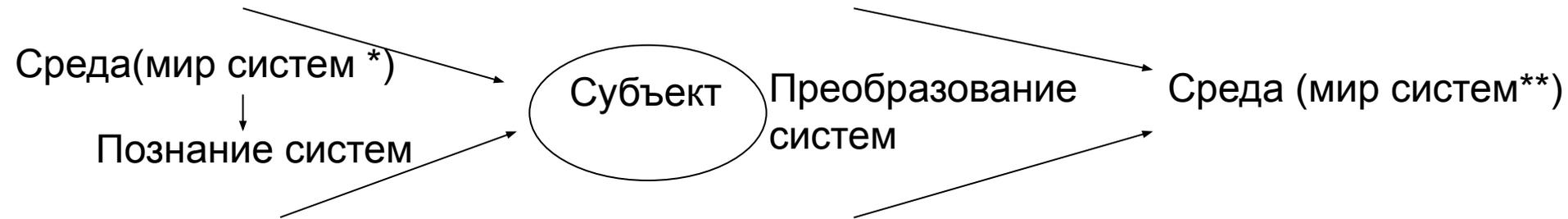


Рис. 5. Взаимодействие субъекта с миром систем

***,** - многообразие мира систем (способность субъекта создавать в процессе познания еще большее многообразие).**

Модели выполняют роль посредника между исследователем и средой, т.е. *модель – это средство осуществления любой деятельности субъекта (исследователя, ЛПР).*

Моделью называется некий объект-заместитель, который в определенных условиях, в соответствии с поставленной целью, может заменять объект-оригинал, воспроизводя интересующие субъекта свойства и характеристики оригинала, и имеющий существенное преимущество перед оригиналом (наглядность, обозримость, доступность и т.д.).

МОДЕЛИ СИСТЕМ

Особенности модели :

- 1. Приближенность модели** (приближенность отражения действительности. Причины.
 - каждая модель нужна для определенной цели;
 - недостаток информации, знаний;
 - сознательное огрубление модели ради ее упрощения).
- 2. Адекватность модели** (способность с ее помощью успешно достигать поставленную цель).
- 3. Ингерентность модели** – Ф.П. Тарасенко (согласованность модели, совместимость модели с окружающей средой, поддержание с помощью модели постоянного равновесия со средой для сохранения свойства целостности, эмерджентности) .

Культура - окружающая среда (мир моделей) пользователя, ЛПР

Необходимые атрибуты обеспечивающие свойства ингерентности:

1. интегрированная система моделей(ИСМ), многомодельная среда, объединяющая цели исследуемого объекта и внешней среды;
2. адаптация ИСМ с учетом дополнительной априорной информации, накопленного опыта и знаний !

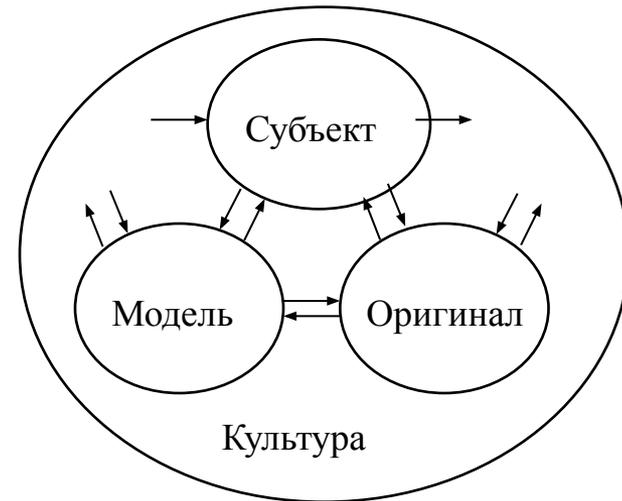


Рис. 6. Метасистема моделирования 23

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

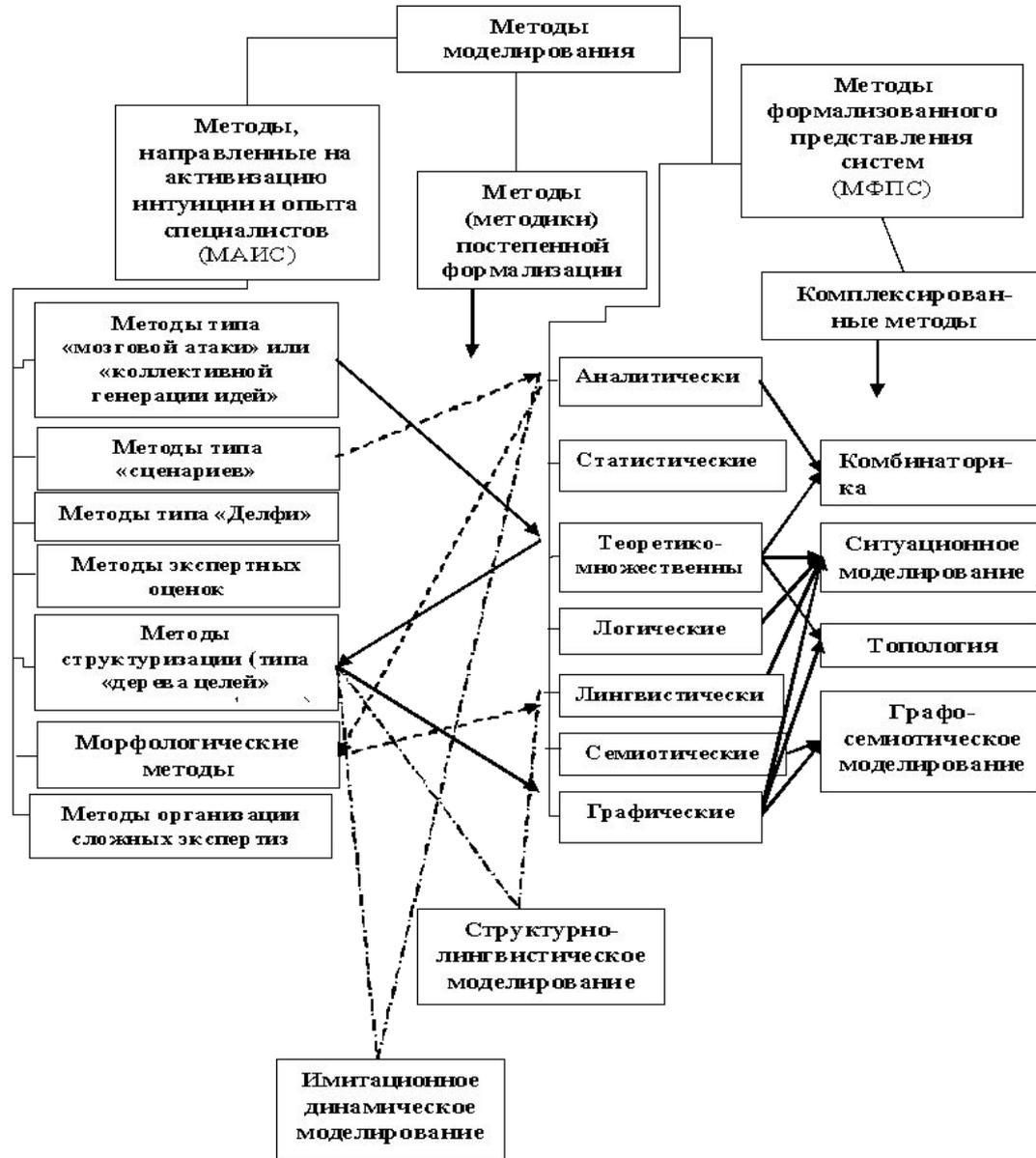


Рис.8. Классификация методов моделирования систем

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Качественные методы моделирования систем:

- **методы типа мозговой атаки** или коллективной генерации идей (основаны на гипотезе, что среди большого числа идей имеется по меньшей мере несколько хороших и полезных для решения проблемы, которые нужно выявить);
- **методы типа сценариев** (представление о проблеме, анализ проблемы, предложение по ее решению, по развитию системы изложенные в письменном виде);
- **методы экспертных оценок** (Основные этапы:
 - 1) формирование экспертных групп;
 - 2) выбор формы экспертного опроса;
 - 3) выбор подхода к оцениванию (ранжирование, нормирование, различные виды упорядочения в т.ч. методы предпочтений, попарных сравнений и т.д.);
 - 4) выбор метода обработки экспертных оценок;
 - 5) оценка согласованности мнений экспертов, достоверности экспертных оценок.
- **методы типа «Дельфи»** - предложен Л. Хелмером как альтернативная процедура при проведении мозговой атаки с *использованием обратной связи* (Основные этапы:
 - 1) раздача анкет, сбор оценок, их обобщенное представление с указанием разбора мнений;
 - 2) сообщение итогов и запрос объяснений причин индивидуального отклонения от средней или медианной оценки первой итерации;
 - 3) сообщение всех объяснений и запрос контраргументов на них;
 - 4) сообщение возражений и запрос новых оценок альтернатив, если эксперт пожелает их изменить; нахождение окончательного итога).
- **методы типа дерева целей** (идея метода предложена Черчменом и подразумевает использование иерархической структуры, полученной путем разделения общей цели на подцели).

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

- **Морфологические методы** (основная идея метода предложенного Цвикки - систематически находить наибольшее число, все «мыслимые» варианты решения проблемы или реализации системы путем комбинирования основных(выделенных исследователем) структурных элементов системы и их признаков).

Цвикки предложил ряд методов морфологического моделирования:

- **Метод систематического покрытия** (основан на выделении опорных пунктов знаний в любой исследуемой области – теоретические положения, эмпирические факты, компоненты сложной системы, открытые законы).

- **Метод отрицания и конструирования** (базируется на идее отрицания догм и компромиссных ограничениях, которые стоят на пути конструктивного прогресса. Их полезно заменить на противоположные и использовать при решении проблемы).

- **Метод морфологического ящика - ММЯ** (идея метода состоит в определении всех «мыслимых» параметров, от которых может зависеть решение проблемы и представлении их в виде таблицы – морфологического ящика. Основные этапы ММЯ:

1) формулировка поставленной проблемы;

2) определения параметров (классификационных признаков) от которых зависит решение проблемы $P^i, i = 1, n$;

3) деление параметров на их значения и представление их в виде матрицы

$$F = \begin{bmatrix} p_1^1 & p_2^1 & \dots & p_{k_1}^1 \\ p_1^2 & p_2^2 & \dots & p_{k_2}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_1^n & p_2^n & \dots & p_{k_m}^n \end{bmatrix}$$

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Метод морфологического ящика (продолжение)

3) набор значений по одному из каждой строк, например

$$\left[\begin{array}{ccc} p_1^1 & p_2^2 & p_3^n \\ p_1^2 & p_2^2 & p_3^n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ p_1^n & p_2^n & p_3^n \end{array} \right];$$

4) оценка всех имеющихся вариантов;

5) выбор наилучшего варианта решения задачи.

2. Количественные методы моделирования систем:

- аналитические (методы классической математики интегральные и дифференциальные уравнения, методы поиска экстремума функций, вариационное исчисление и т.п.);
- статистические (теория вероятностей, математическая статистика, теория массового обслуживания, методы статистических испытаний, методы статистического имитационного моделирования);
- теоретико - множественные, логические, лингвистические, семиотические (методы дискретной математики)
- графические (включая теорию графов, графическое представление информации)

МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМ (МФПС)

Классификация МФПС:

1. **Аналитические** (методы классической математики, интегральное и дифференциальное исчисление, методы поиска экстремума функции, вариационное исчисление и т.д.; методы математического программирования; методы теории игр);
2. **Статистические** (теория вероятностей, математическая статистика и направления прикладной математики, использующие стохастические представления - теорию массового обслуживания, методы статистических испытаний (основанные на методе Монте-Карло), методы выдвижения и проверки статистических гипотез А. Вальда и другие методы статистического имитационного моделирования))
3. **Теоретико- множественные, логические, лингвистические, семиотические** представления (методы дискретной математики), составляющие теоретическую основу разработки языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков;
4. **Графические** (включающие теорию графов и разного рода графические представления информации типа диаграмм, гистограмм и других графиков).

МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМ (МФПС)

1. Аналитические методы- методы отображающие свойства реальных объектов и процессов (системы S) в виде точки, совершающей какие-либо перемещения в многомерном пространстве

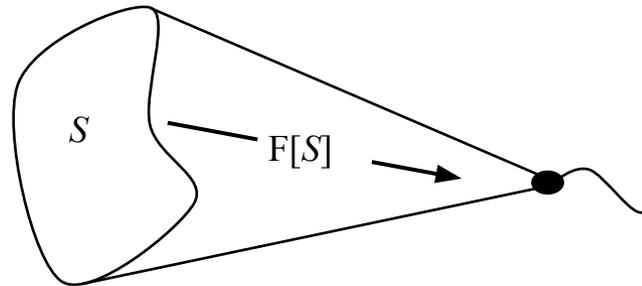


Рис.9 . – Аналитическое представление системы

2. Статистические методы. Статистическим представлением называют отображение системы с помощью случайных (стохастических) событий, процессов, которые описываются вероятностными характеристиками и статистическими закономерностями.

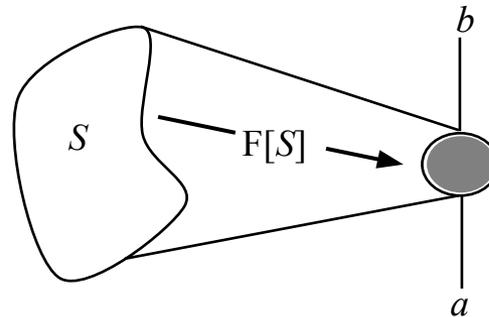


Рис. 10. – Статистическое представление системы

3. Теоретико-множественные представления. Теоретико-множественные представления базируются на понятиях множество, элементы множества, отношения на множествах, предложенных Г. Кантором. Сложную систему можно отобразить в виде совокупности разнородных множеств и отношений между ними (рис. 11).

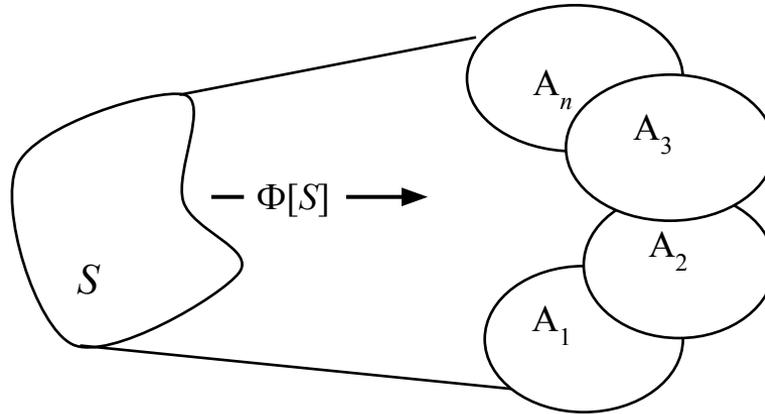


Рис.11. – Теоретико-множественное представление системы

$A_i, i = \overline{1, n}$ - подмножества, с элементами a_{ij}

Понятие системы в теоретико - множественных терминах:

$$S \subset \prod_{i \in I} A_i, \in \quad (*)$$

A_i - вес компоненты; $\times A_i$ - декартова произведения называемые объектами системы ; I - множества индексов.

Пример системы (*) с двумя объектами входным и выходным

$$S \subset X \times Y$$

МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМ (МФПС)

Математическая логика. Логические представления переводят реальную систему и отношения в ней на язык одной из алгебр логики (двухзначной, многозначной), основанных на применении алгебраических методов для выражения законов формальной логики. Наибольшее распространение получила бинарная алгебра логики Буля (булева алгебра).

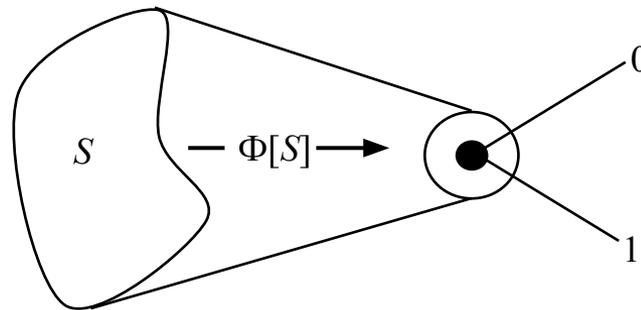


Рис. 12. – Логическое представление системы

Графические представления. К графическим представлениям (рис. 4.13) отнесены любые графики (графики Ганта, диаграммы, гистограммы все то, что позволяет наглядно представить процессы, происходящие в системах)

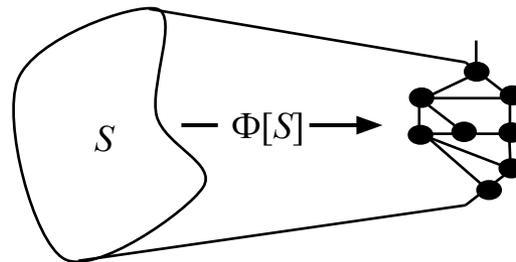


Рис.13. – Графическое (графовое) представление системы

3. КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ СИСТЕМ

Темы третьего раздела курса:

1. Основные свойства и способы представления систем.
2. Кибернетический (традиционный) подход к описанию систем (управление как процесс, системы управления, цикл и этапы управления).
3. Современный синергетический подход к описанию сложных систем.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМ

Основными свойствами систем являются:

1. Целостность.
 2. Открытость.
 3. Взаимодействие.
 4. Неоднородность. Иерархичность.
 5. Динамичность.
 6. Целеустремленность.
 7. Оптимальность.
 8. Адаптация.
 9. Самоорганизация.
-

Система может быть представлена разными способами:

1. Множественным (система рассматривается как некоторое множество объектов).
2. Иерархическим (когда выделены структурные уровни представления подсистем).
3. Целостным (рассматривается вся система в целом).
4. Функциональным (система рассматривается как некоторое множество функций для достижения определенной цели либо множества целей).
5. Процессуальным (систему можно рассматривать как совокупность некоторых состояний объекта, сменяющих друг друга во времени).

ОБЩИЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ О ХАРАКТЕРЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Для получения математической модели процесса функционирования системы охватывающий достаточно широкий класс реальных объектов в общей теории систем исходят из следующих общих предположений:

1. система функционирует во времени и в каждый момент времени система может находиться в одном из возможных состояний;
2. на вход системы могут подаваться входные сигналы;
3. система способно выдавать выходные сигналы;
4. состояние системы определяется предыдущими состояниями и выходными сигналами, поступившими в данный момент времени и ранее;
5. выходной сигнал определяется состоянием системы и входными сигналами в в данный момент времени и предыдущими моментами времени.
6. состояние системы определяется предыдущими состояниями и выходными сигналами в данный момент времени, предыдущими моментами времени.

1 - отражает динамический характер процесса функционирования системы в пространстве и времени (процесс функционирования протекает как последовательная смена состояний системы под действием внешних и внутренних причин);

2,3 – отражают взаимодействие системы с внешней средой;

4,5 - отражают реакцию системы на внутренние факторы и воздействие внешней среды, последствие и принцип физической реализуемости системы;

4,5,6 – отражают принципы физической реализуемости систем.

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ СИСТЕМ

Суть кибернетического подхода - всякое целенаправленное поведение рассматривается как управление, т.е. целенаправленного информационного процесса в системе

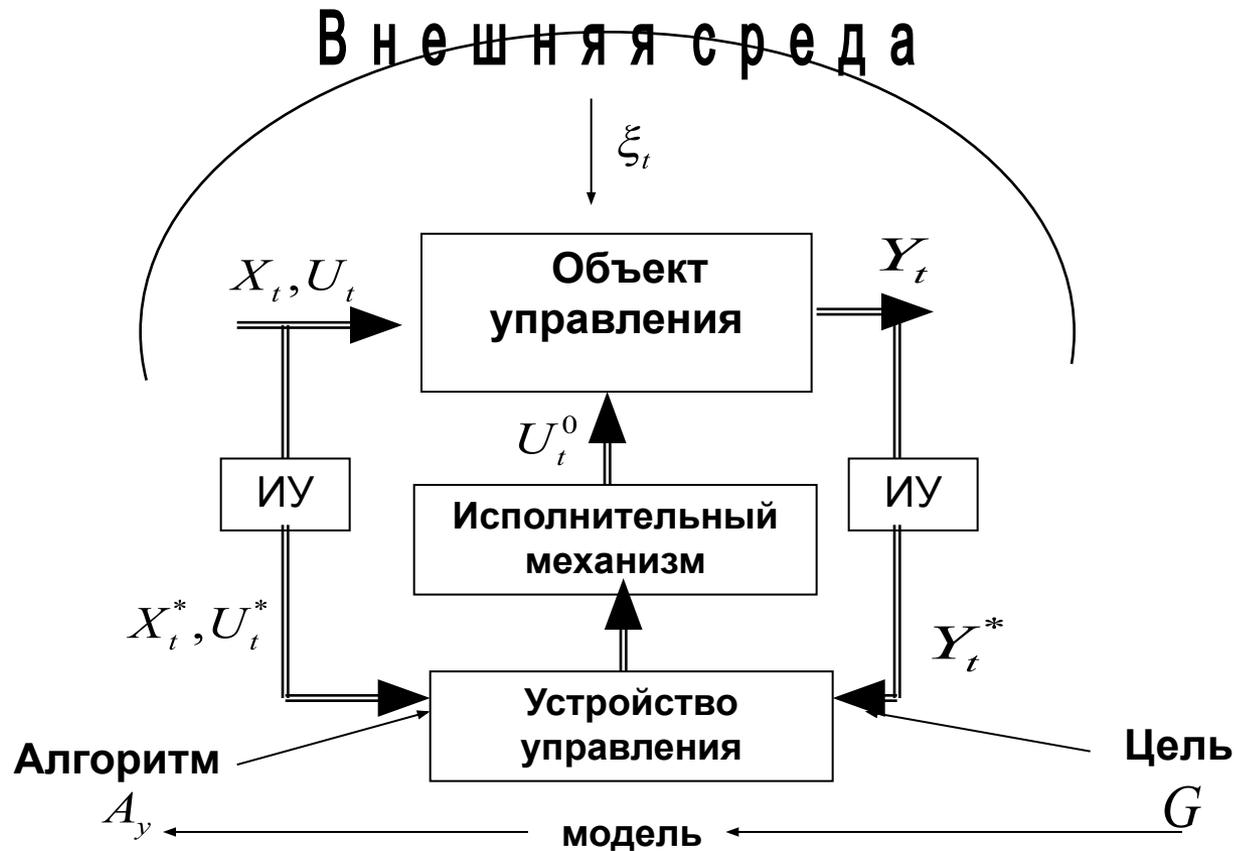


Рис. 14 . Структурная схема традиционной системы автоматического управления (САУ)

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ СИСТЕМ

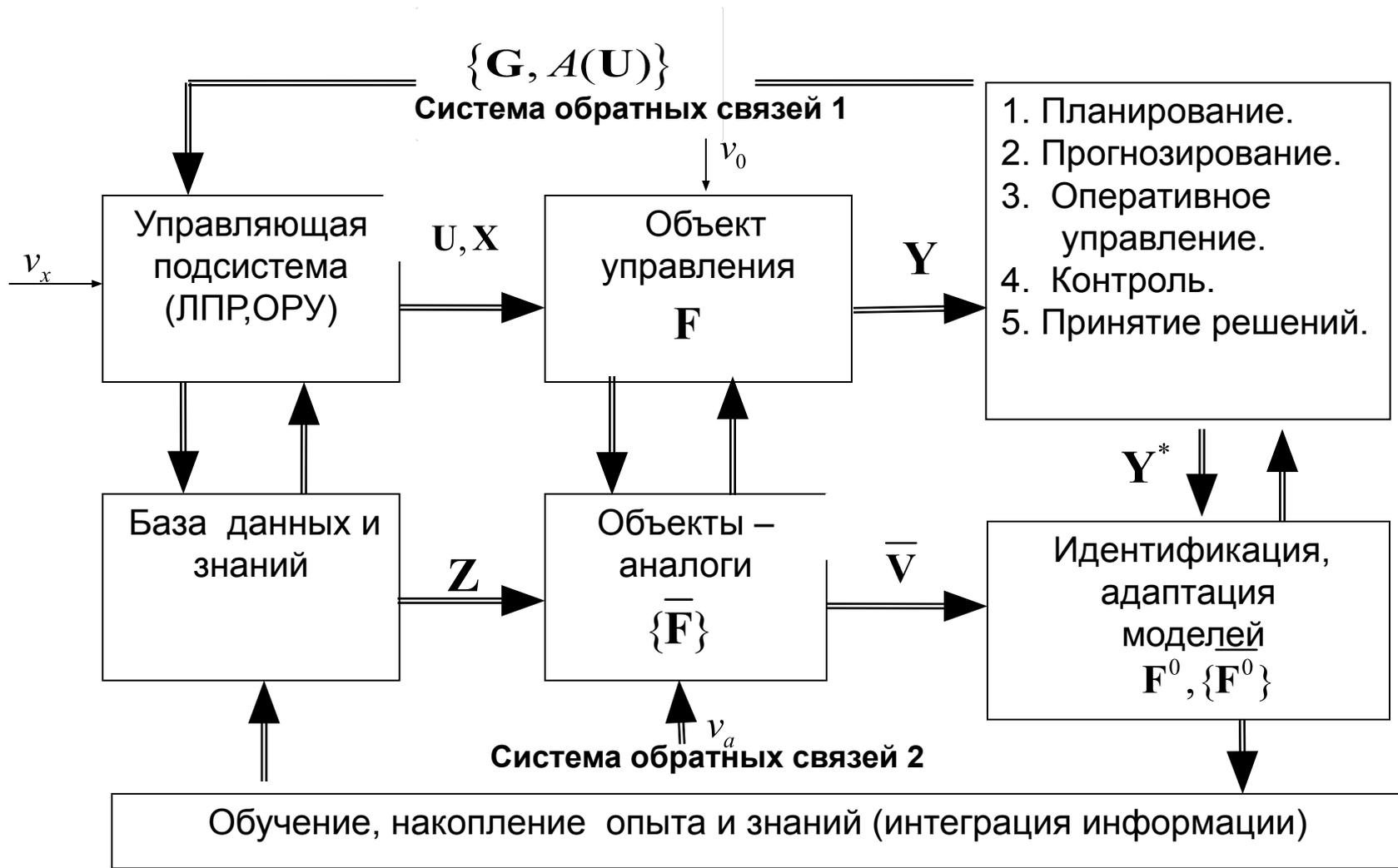


Рис. 15. Структурная схема современной автоматизированной системы управления (с двумя системами обратных связей)

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ СИСТЕМ

Атрибуты системы управления:

1. Функции и цикл управления.
2. Управляющая подсистема (субъект управления). Цель (цели) управления.
3. Объект управления и объекты аналогии.
4. Показатели качества и эффективности.
5. Критерий (принцип) оптимальности.
6. Алгоритм управления и принятия решений.
7. Процесс управления.

АТРИБУТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

1. Функции управления:

- функции создание новой информации (анализ, планирование, прогнозирование, оперативное управление, принятие решений).
- рутинные функции обработки информации (учет, контроль, хранение, поиск, отображение, тиражирование и т.д.);
- функции обмена информации (ограничение доступа, получение (сбор), передача, управление по телеграфу, телефону, текстом, системой передачи данных).

Совокупность функций управления, выполняемых в системе при изменении среды, принято называть *циклом управления*:

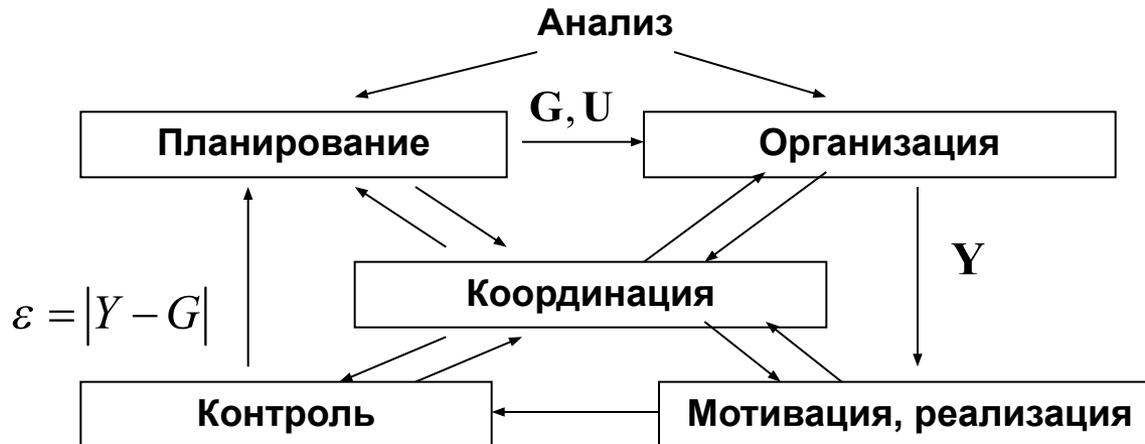


Рис.16. Структурная схема цикла управления

АТРИБУТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Управлением в современных автоматизированных системах (см. рис.17) рассматривается как процесс формирования целенаправленного поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых управляющей подсистемой и как процесс принятия решений в среде информационных технологий.

Цель - ситуация или область ситуаций, которая должна быть достигнута при функционировании системы за определенный промежуток времени - G .

2. Управляющая подсистема (ЛПР,ОРУ) и ее функции:

- анализ и интеграция информации, идентификация, целепологание;
- стратегическое управление (планирование, прогнозирование);
- оперативное управление (регулирование);
- координация;
- принятие решений;
- обучение, накопление опыта и знаний, создание новой информации.

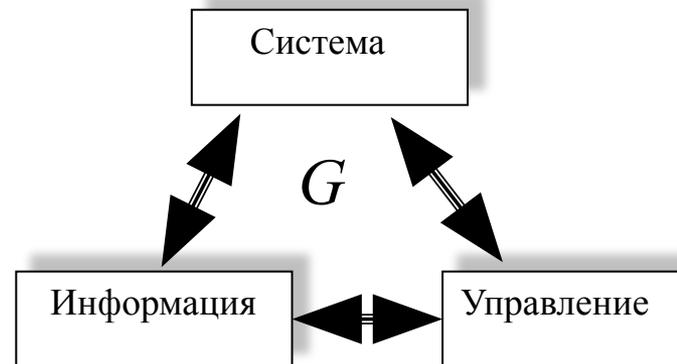


Рис. 17. Образ целенаправленного информационного процесса управления

3. Объект управления (описание в виде «черного ящика»)

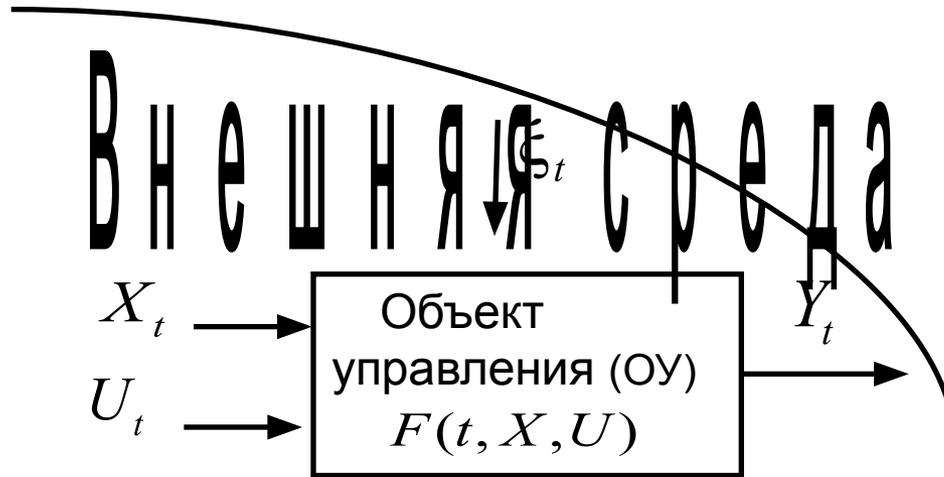


Рис. 18. Модель объекта в виде многополюсника («черного ящика»)

U_t, X_t, Y_t - входные (управляемые и наблюдаемые) и выходные переменные, процессы;

$F(t, X, U)$ - функциональная модель ОУ; (1)

ξ_t - неконтролируемые случайные воздействия, процессы.

Многообразие моделей ОУ определяется многообразием оператора F в соответствии с методами формализованного представления систем (см. слайд - классификация МФПС)

3. Объект управления (описание в пространстве состояний)

Традиционное описание системы в пространстве состояний включает пять составляющих:

1. входной сигнал как конечное множество функций времени - $X(t) = X_t$
2. выходной сигнал, представляющий собой конечное множество функций - $Y(t) = Y_t$
3. переменные состояния - $Z(t) = Z_t$
4. f_y - функционал задающий текущее состояние выходного сигнала Y_t
5. f_z - функционал задающий значение внутреннего состояния Z_t

На основе пяти составляющих формируется уравнение наблюдения и уравнение состояния системы:

$$\begin{aligned} Y_t &= f_y(t, Z, X); \\ Z_t &= f_z(Z(t_0), X(\tau), \tau \in [t_0, t]). \end{aligned} \tag{2}$$

В модели « черного ящика » (1) функционалы состояния заменены на закон функционирования объекта F .

АТТРИБУТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

3.1. Объект управления и объекты-аналоги. В процессе управления используется разнообразная информация (исходные данные, дополнительные априорные сведения, знания и опыт ЛПР, экспертные оценки и т. п.).

Удобной моделью представления дополнительных априорных данных, знаний и опыта ЛПР является понятие *объекта-аналога*, взаимодействующего с объектом управления (Сергеев В.Л. «Идентификация систем с учетом априорной информации.- НТЛ, 1999»)

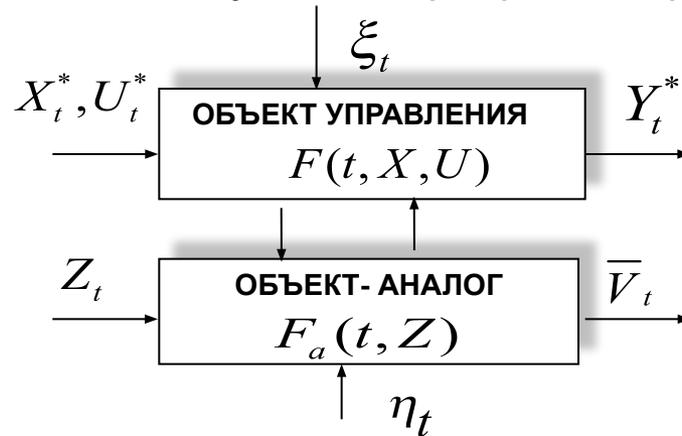


Рис. 19 . Представление объекта управления и объекта аналога

Интегрированная система моделей (ИСМ) объекта управления и объекта - аналога

$$\begin{cases} Y^*(t) = F(t, X^*, U^*, \xi), \\ \bar{V}_t = F_a(t, Z, \eta), \end{cases} \quad (3)$$

X_t^*, U_t^*, Y_t^* - исходные данные; \bar{V}_t - дополнительные априорные сведения, экспертные оценки;
 $Z = (Y, X, U)$ - входные переменные объекта аналога;

Многообразие ИСМ (1) определяется многообразием операторов F, F_a .

АТТРИБУТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

4. Показатели качества и эффективности

Показатель – характеристика отражающая качество системы (алгоритма) управления и принятия решений или целевую направленность процесса принятия решений (операции).

Характеристика - то, что отражает некоторое свойство исследуемого объекта .

Качество - совокупность существенных свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению.

4.1. Примеры показателей качества (либо эффективности) :

1. Выходные (зависимые) переменные объекта управления (объем выпускаемой продукции, ее качество, объем продаж, услуг, темп роста объема продаж и т.д.)

$$Y(t) = (y_k(t), k = \overline{1, n}). \quad (4)$$

2. Выходные переменные объектов - аналогов (емкость рынка, прогнозные значения объемов реализованной продукции, прогноз цен и т.п.)

$$\overline{V}_t = (\overline{V}_j(t), j = \overline{1, m}). \quad (5)$$

3. Функции (функционалы) от переменных объектов управления, объектов – аналогов, исходных данных и дополнительных априорных сведений (целевые функции, функции качества, эффективности, полезности, выигрыша, потерь и т.д.)

$$\Phi_k(Z) = \Phi(t, Y, X, U, D^*, \overline{V}, G), k = \overline{1, l}. \quad (6)$$

Обобщенный показатель качества системы управления представляет вектор ее существенных свойств

$$\overline{\Phi} = (\Phi_k(Z), k = \overline{1, l}). \quad (7)$$

АТТРИБУТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

4. Показатели качества и эффективности

Эффективность процесса управления и принятия решений определяется степенью его приспособленности к достижению цели – исхода операции

(эффективность проявляется только при функционировании – зависит как от свойств системы управления, так и от внешней среды)

4.3. Пример обобщенного показателя эффективности (ПЭ) - исхода операции

$$\Phi_{\text{эф}}(Z) = (\Phi_{\text{з}}(Z), \Phi_{\text{р}}(Z), \Phi_{\text{о}}(Z)), \quad (8)$$

$\Phi_{\text{з}}(Z)$ - результативность, $\Phi_{\text{р}}(Z)$ - ресурсоемкость, $\Phi_{\text{о}}(Z)$ - оперативность.

Типы показателей качества (ПК) и эффективности систем управления:

1. **Детерминированные** (ПК и ПЭ - неслучайные величины).
 2. **Вероятностные** (ПК и ПЭ - случайные величины с известными законами распределения).
 3. **Неопределенные** (ПК и ПЭ - случайные величины с неизвестными законами распределения).
-

Требования к показателям качества и эффективности:

1. **Соответствие цели** (для каждой цели должен быть показатель(показатели) эффективности).
2. **Полнота** (ПК и ПЭ должны отражать как желательные (целевые) так и нежелательные (побочные) последствия операции).
3. **Измеримость** составляющих ПК и ПЭ с помощью натурального эксперимента либо модели операции.
4. **Ясность физического смысла** (измерение с помощью доступных для восприятия количественных мер).
5. **Неизбыточность** (стремление к минимизации размерности ПК и ПЭ).
6. **Чувствительность** к изменениям значений управляемых характеристик.

5. Критерий (принцип) оптимальности

Критерий (принцип) оптимальности – обобщенный показатель качества (либо эффективности) и правило выбора наилучшей альтернативы (решения, цели, структуры модели и ее параметров, управляющих воздействий и т.п.) при заданном комплексе условий

$$K_y \quad \Phi(z^*) = \underset{z \in Z}{Opt}(\Phi_k(z), k = \overline{1, l}, K^{opt}) : K \quad (9)$$

K^{opt} - правило выбора наилучшей альтернативы, например, выбирается альтернатива доставляющая максимум (либо минимум) обобщенного показателя качества

$$\Phi = \Phi(\Phi_k(z), k = \overline{1, l})$$

$$\underset{z \in Z}{Opt}(\cdot) = \max_{z \in Z}(\cdot) [\min_{z \in Z}(\cdot)]. \quad (10)$$

Часто критерий оптимальности (7) представляется в виде:

$$z^* = \arg \max_{z \in Z}(\min(\cdot)) \quad (11)$$

z^* - решение оптимизационной задачи (10).

Запись $\arg \min_z \Phi(z)$ означает точку минимума функционала $\Phi(z)$,

$$\Phi(z^*) = \min_{z \in Z} \Phi(z)$$

АТТРИБУТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

6. Алгоритм - полное описание последовательности действий, выполнение которых приводит к достижению поставленной цели. Алгоритм является прагматической (нормативной) моделью деятельности и совершенствование любой деятельности состоит в ее алгоритмизации, т.е. в совершенствовании технологии.

Алгоритм управления (принятия решений) - совокупность альтернатив и принцип оптимальности

$$A_y = \{ \Phi, \text{Opt}(Z, K^{opt}) \} \quad (12)$$

Многообразие алгоритмов управления и принятия решений определяется:

- многообразием альтернатив Z ;
- принципом оптимальности $\text{Opt}(Z, K^{opt})$ (см. (9));
- многообразием показателей качества и эффективности Φ ;
- многообразием правил K^{opt} выбора наилучшей альтернативы Z^* .

Например, при $Z = U$ алгоритм (9) сводится к задаче оптимального управления (регулирования) по выбору наилучших знаний управляющих воздействий u^* для достижения заданных целевых показателей q^0

$$u^* = \arg \min_{u \in U} \Phi(u) = |q^0 - u| \quad (13)$$

В последние годы осознается алгоритмичность любой деятельности в области:

- управления и принятия решений;
- обучения;
- изобретательности, создания нового знания.

7. Процесса управления и его этапы:

- ➔ 1. Формулировка и выбор цели(целей) управления - $G^* \times Y_g(U, G, Opt, g)$
- ➔ 2. Определение объекта управления (ОУ) и объектов аналогов (ОА).
- ➔ 3. Синтез моделей ОУ и ОА - $F(t, X, U, AL_0), F_a(t, X, U, AL_a)$
- ➔ 4. Идентификация - $Opt F_a^* = A(D^*(X^*, U^*, Y^*), F, F_a, G_u^*,)$
- ➔ 5. Синтез управления - $U^* = A_{con}(F^*, F_a^*, G^*, U, Opt_c)$
- ➔ 6. Реализация управления.
- ➔ 7. Адаптация, коррекция (возврат к пунктам 1-5) .

-
- (**) {
- (*) {
- $A_g(X, Y, U, G, Opt)$ - алгоритм синтеза цели управления (принятия решений);
 - $Opt(D^*(X^*, U^*, Y^*), F, F_a, G^*,)$ - алгоритм идентификации моделей ;
 - $A_{con}(F^*, F_a^*, G^*, Opt)$ - алгоритм управления (регулирования).

(*) - задача дуального управления (регулирования) с идентификацией

(**) - задача стратегического и оперативного управления с идентификацией

6. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Атрибуты синергетического подхода :

1. Сложные динамические системы и модели.
2. Самоорганизация.
3. Эволюция сложных систем.
4. Бифуркация.
5. Аттрактор.

Термин синергетика (« совместное действие») или теория самоорганизации впервые ввел Герман Хакен(1978 г.) вкладывая в него два смысла:

- возникновения новых свойств у целого, состоящего из взаимодействующих объектов;
- подход, требующий для своей разработки сотрудничество специалистов из разных областей.

Синергетика - новая интегральная наука (концепция), изучающая процессы самоорганизации возникающие в открытых системах, обменивающихся с внешней средой энергией, веществом и информацией.

Синергетика - наука о том как создавать модели (и не только как их исследовать и решать) используя новые свойства систем.

АТРИБУТЫ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

1.1. Сложные системы

Основные характеристики сложной системы:

1. невозможность достоверно прогнозировать в будущем воздействие на систему непрерывно изменяющейся окружающей среды;
2. неопределенность, неполнота информации об объектах управления (невозможность прямого наблюдения ряда необходимых для управления параметров, косвенные наблюдения параметров со значительными погрешностями. Невозможность одновременной регистрации параметров, малый объем данных и т.п.)
3. многоцелевое назначение. Противоречивость целей (достижение одной цели осуществляется только за счет невыполнение других целей и т.п.).
4. многообразный набор вариантов построения и функционирования системы (множество иерархических уровней, подсистем, моделей, разнообразный набор функций, многообразие форм отношений, связей между подсистемами и т.д.).
5. невозможность построения единой адекватной математической модели, необходимой для проектирования и управления системой (необходима система моделей, воспроизводящая свойства систем и позволяющая учитывать дополнительную априорную информацию, накопленный опыт и знания).
6. большие объемы проходящей в системе информации.
7. изменение структуры и состава системы в процессе ее функционирования.
8. многоплановость в научном отношении. Необходимость привлечения разных специалистов для создания и управления системой.

1.2. Динамические системы и их модели:

- пространство состояний динамической системы.
- детерминированные системы и стохастические (вероятностные) системы.
- геометрическая интерпретация динамических систем.
- общая характеристика нефтегазовых динамических систем (нефтегазодобывающая компания как сложная обучающаяся и самоорганизующаяся динамическая система).

Представление детерминированной динамической системы в пространстве состояния

$$Z(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_m(t))$$

$$\begin{aligned} Z_t &= f_z(Z(t_0), X(\tau), U(\tau), \tau \in [t_0, t]), \\ Y_t &= f_y(t, Z, X). \end{aligned} \tag{14}$$

В каждый момент времени $t \in T$ система может находиться в одном из возможных состояний $Z(t)$.

Общее представления динамической системы в пространстве вход-выход ("X, U – Y")

$$Y = F(t, X, U). \tag{15}$$

Примеры детерминированных динамических системы:

$$\text{а) } \begin{cases} \dot{X} = BU \\ Y = CX \end{cases}, \quad \text{б) } \left. \begin{aligned} a_k \frac{d^k y}{dt^k} = b_j \frac{d^j u}{dt^j} \\ k = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \end{aligned} \right| \quad \text{в) } \begin{cases} \dot{x}_s = f_s(t, x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, \alpha), s = \overline{1, m}, \\ y_k = f_k(t, x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r, \beta), k = \overline{1, n}. \end{cases}$$

АТРИБУТЫ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Представление стохастической системы в пространстве состояний

$$Z_t = f_z(Z(t_0), X(\tau), U(\tau), \xi(\tau), \tau \in [t_0, t]), \quad (16)$$

$$Y_t = f_y(t, Z, X, \eta).$$

$\xi(t), \eta(t)$ - случайные неконтролируемые факторы (величины, переменные, процессы).

Представления стохастической динамической системы в пространстве «вход-выход»

$$Y = F(t, X, U, \xi).$$

Геометрическая интерпретация динамических систем

(17)

Пример эволюционной модели накопленной добычи нефти V_t

$$\frac{dV}{dt} = \alpha V(1 - V / V_\infty)$$

V_∞ - извлекаемые запасы

$$V_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} V_t$$



Рис. 20. График накопленной добычи нефти месторождения А

6. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

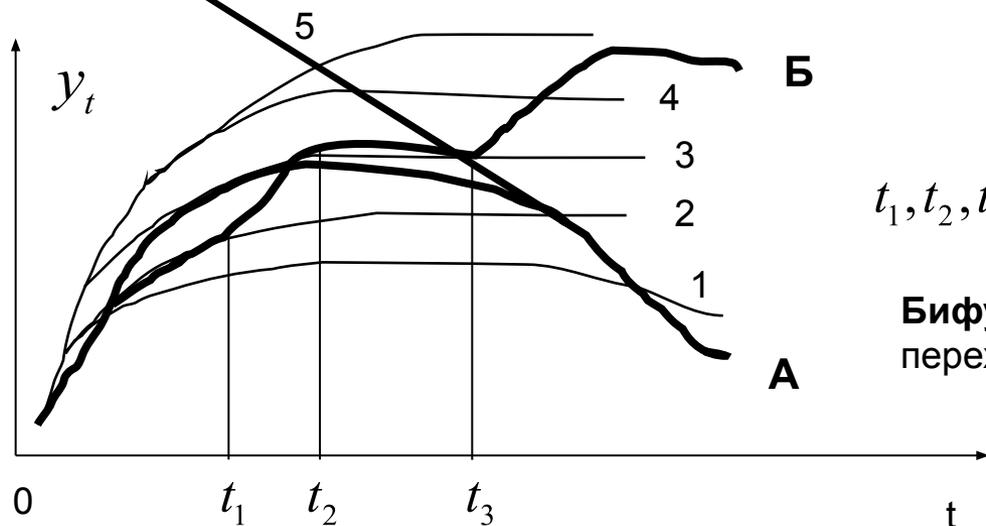
2-5. Самоорганизация, эволюция, бифуркация, аттрактор

Самоорганизация – процесс эволюции сложных систем, процесс рождения из физического хаоса некоторых устойчивых упорядоченных структур с новыми свойствами.

Различают **причинный** и **целевой** (направляемый) способ самоорганизации.

Причинный способ стихийной самоорганизации заключается в том, что упорядоченные структуры возникают спонтанно (без каких либо внешних воздействий и цели), как эффект кооперации между внутренними элементами системы в неустойчивых состояниях.

Целевой способ самоорганизации заключается в том, что рождение устойчивых упорядоченных структур – **аттракторов** обуславливается действием внешних факторов. Аттрактор системы часто трактуется как цель, что и определяет и направляет дальнейшее развитие системы.



y_t - параметр состояния системы

t_1, t_2, t_3 - точки бифуркации (моменты перехода системы в новое состояние) .

Бифуркация – потеря стабильности системы переход ее на новую траекторию.

Рис.21. Множество возможных аттракторов (1-5) и фактических траекторий развития системы (А, Б)

Основная литература

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ: учебник для вузов.-М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2010.- 679 с.
2. Коновалов В.И. Идентификация и диагностика систем.- Томск.- Изд-во ТПУ, 2006- 152 с.
3. Острейковский В.А. Теория систем: Учеб. для вузов.- М.: Высш. шк., 1997. - 240 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: Учеб.3-е изд.-Томск: Изд во НТЛ, 2001.-396 с.
5. Корилов А.М., Павлов С.Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие.- 2-е изд., доп. и перераб.- Томск: Томск гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники,2008.- 264 с.
6. Пащенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем: Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч.1.Математические основы моделирование систем.- М.:Финансы и статистика,2006.-328 с.
7. Пащенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем: Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч.2.Идентификация нелинейных систем .-М.: Финансы и статистика, 2007.- 288 с.

Вспомогательная литература

8. Месарович М., Такараха Я. Общая теория систем: математические основы. - М.: «Мир», 1978.- 312 с.
9. Анфилатов В. С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении.- М.: «Финансы и статистика», 2002.-368 с.
10. Сергеев В.Л. Идентификация систем с учетом априорной информации. – Томск: Изд-во НТЛ, 1999. – 146 с.
11. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения.- Ижевск: Ижевская республиканская типография.-2000.-368 с.
12. Зубов И.В. Методы анализа динамики управляемых систем.-М.: ФИЗМАТЛИТ,2003.-224 с.
13. Никоненко И.С., Васильев Ю.Н. Газодобывающее предприятие как сложная система.- М.:ОАО «Издательство Недра», 1998.-343 с.
14. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Моделирование процессовнефтегазодобычи. Нелнейность, неравновестность, неопределенность.- Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005.- 368 с.
15. Акимова Т.А. Теория организации. Учеб. пособие для вузов.- М.: ЮНИТИ-ДАНА,2003.-376 с.
16. Шагиев Р.Р., Дьяконова Н.А. Человеческие ресурсы нефтегазовых компаний. М.: Институт нефтегазового бизнеса, 2002 .- С. 66-76.