ТЕОРИЯ СИСТЕМ

Список литературы

Основная литература:

- Основы теории систем и системного анализа: Учебное пособие / М.П. Силич , В.А. Силич. - Томск: изд-во ТУСУР, 2013 -342 с. (http://edu.tusur.ru)

Дополнительная литература:

- Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: Учеб. пособие. – 3-е изд. – Томск: изд-во НТЛ, 2001. – 396 с.

Методические материалы:

- Общая теория систем: Методические указания к практическим занятиям и лабораторным работам / Силич М. П. - 2018. 41 с. (https://edu.tusur.ru/).
- Общая теория систем: Методические указания к организации самостоятельной работы / Силич М. П. - 2018. 27 с. (https://edu.tusur.ru/).

Рейтинг

Максимальные баллы по видам работ:

- тесты и контрольные 35 баллов
- практические занятия 35 баллов

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки и зачет:

- 5 (отлично) $\geq$ 90 % от максимальной суммы баллов
- 4 (хорошо) от 75% до 89% от максимальной суммы баллов
- 3 (удовл-но) от 60% до 74% от максимальной суммы баллов
- 2 (неудовл-но) < 60 % от максимальной суммы баллов

Введение

Основные направления системных исследований

Кибернетика исследует закономерности уп… лк… ма…

Исследование операций использует методы оптимизации для решения прикладных задач

Исследование операций
Р. Акоф,
М. Сасиени

Тектология – «всеобщая организационная наука».

Системотехника предлагает методы создания, использования и совершенствования сложных технических комплексов (систем «человек – машина»)

Кибернетика
…р,
…и

Тект…
А. Богданов

Биолог Л. фон Берталанфи выдвинул идею построения общей теории систем, приложимой к системам любой природы

Теория систем
Л. Берталанфи,
М. Месарович

Системотехника
Ф. Темников,
Г. Гуд, Р. Макол

Системология рассматривает онтологические, семиотические и лингвистические аспекты системного подхода

…ика
…кин,
…н

Системная философия
Э.Ласло,
В. Сагатовский

Философия сыграла большую роль в …

…
в центре внимания которой находятся явления самоорганизации в живой и неживой природе

Системный анализ
С Оптнер,
Ю. Черняк

В центре внимания системного анализа являются методы ликвидации сложных проблем в условиях неполноты информации и ограниченности ресурсов

Раздел 1. Основы теории систем

Тема 1.1. Строение систем

Тема 1.2. Функционирование систем

Тема 1.3. Модели систем

Дескриптивное определение системы

Система состоит из **частей**

Части находятся во **взаимосвязи,**

что обеспечивает **целостность** системы

и обусловливает **свойства** системы

Примеры определений:

Система - «комплекс взаимодействующих компонентов» (Л. фон Берталанфи)

«Система есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое» (Тарасенко Ф.П.)

Система - «множество объектов, на котором реализуется определенное отношение с фиксированными свойствами» (Уемов А.И.)

«система есть совокупность объектов, свойство которой определяется отношением между этими объектами» ([Основы системного подхода])

Конструктивное определение системы

Систему выделяет **субъект** (исследователь)

для определенных **целей**(задач) исследования

Примеры определений:

«система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания» (Черняк Ю.И.)

«система есть конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала» ([Основы системного подхода])

«системой является то, что мы хотим рассматривать как систему» (Дж. Клир)

«система есть средство достижения цели» (Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко)

«система – это средство решения проблемы» (С. Оптнер)

Формализованное определение системы

Определение системы, как *совокупности взаимосвязанных элементов:*

$$S \underset{def}{\equiv} < V, R >$$

V – множество элементов,
R – множество отношений между элементами

Если система состоит из элементов различной природы:

$$S \underset{def}{\equiv} < V_1, V_2, \ldots, V_n, R >$$

V_i – множество однородных элементов некоторого вида

Система как функция выходных объектов от входов:

$$S : X \to Y$$

X - множество входных объектов,
Y - множество выходных результатов

Дополнительно введено множество *свойств:*

$$S \underset{def}{\equiv} < V_1, V_2, \ldots, V_n, Q, R >$$
$$Q = Q_s \cup Q_v$$

Q_s – множество свойств системы,
Q_v – множество свойств элементов

Конструктивное определение системы

$$S \underset{def}{\equiv} < V_1, V_2, \ldots, V_n, Q, R, N, Z >$$

N - наблюдатель
Z - цель

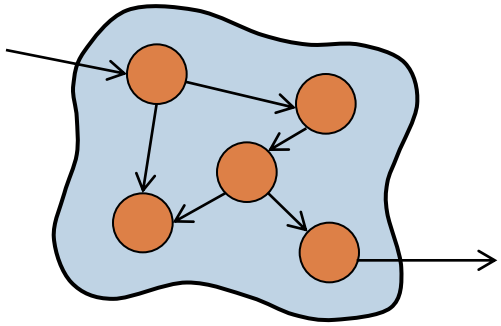
Расширенное определение:

$$S \underset{def}{\equiv} < V_1, V_2, \ldots, V_n, Q, R, N, Z, Sr, \Delta T >$$

Sr - окружающая среда системы
ΔT - время существования системы

Свойства систем

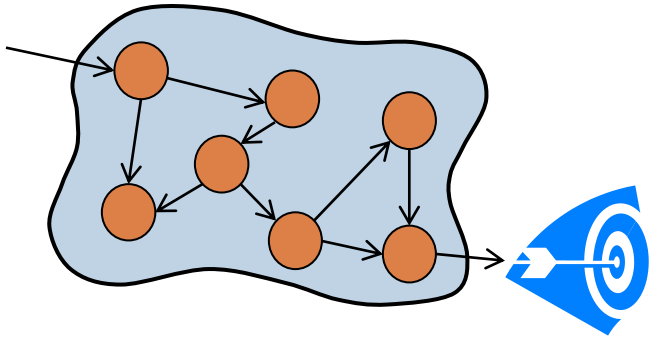
1. ***Целостность***. Система выступает, как нечто единое, обладающее общими свойствами и поведением.



2. ***Делимость***. В системе всегда можно выделить составные части.

3. ***Коммуникативность***. Элементы, образующие систему, взаимодействуют друг с другом и со средой.

4. ***Динамичность***. В результате внешних и внутренних взаимодействий, система подвержена постоянным изменениям.

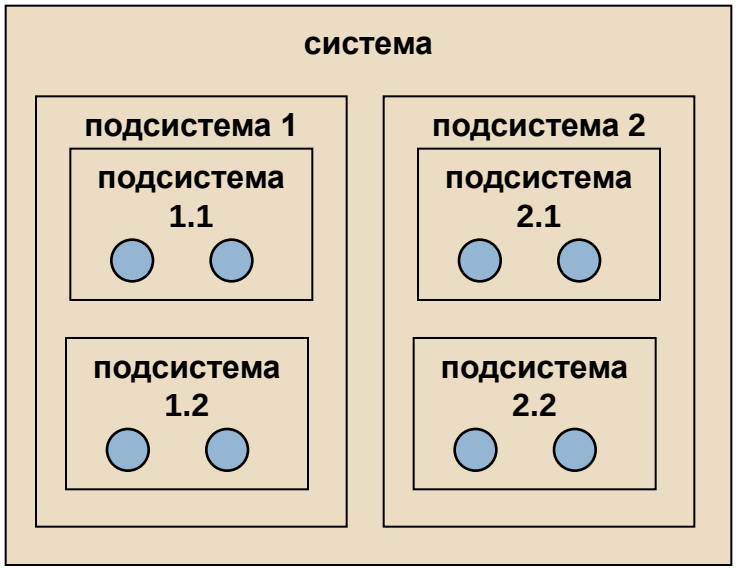


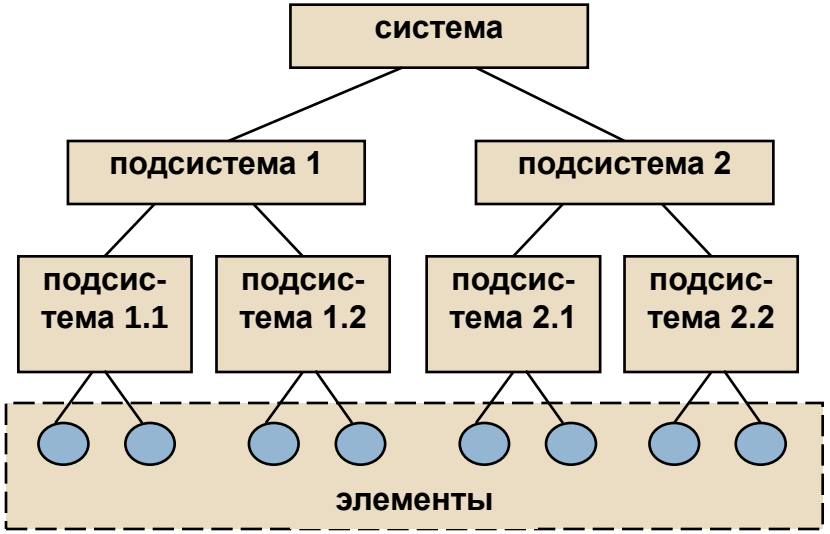
5. ***Развитие***. Открытые системы способны не только стабильно функционировать, но и усложнять свою структуру, развиваться.

6. ***Целеустремленность***. Динамика системы отражает целенаправленность системы. Именно цель определяет и структуру, и функцию системы.

Иерархичность

Элементы – части системы, которые мы рассматриваем, как неделимые.
Подсистемы – части системы, состоящие более чем из одного элемента





Принцип иерархичности: любой компонент системы (и сама система) выступает как часть системы более высокого уровня и одновременно как система для компонент низшего уровня.

Эмерджентность

Свойства – это то, что позволяет отличать объекты друг от друга.
Сущность – свойство объекта, от которого зависят все его другие свойства.
Явление – форма обнаружения сущности, отражающая внешние свойства.

Эмерджентность (синергия) – появление у системы при объединении составляющих ее частей в целое принципиально ***новых качеств***, не имеющихся у отдельных частей

$$Q_s \neq \sum_{i=1}^{n} q_i$$

Q_s– свойства системы,
q_i – свойства *i*-го элемента

Целое – больше, чем сумма

Пример мануфактуры по производству булавок:
1 рабочий - не более 20 булавок в день.
мануфактура из 10 работников - 48000 булавок в день.

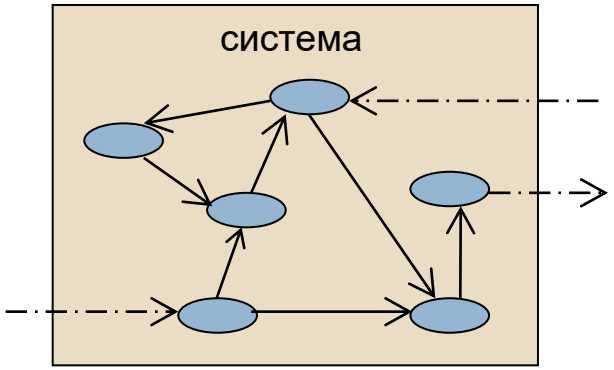
Условия появления эмерджентности:

- функциональная специфичность элементов и подсистем;
- ***принцип взаимодействия***: единство обеспечивается взаимодействием частей

Структура

Отношение – соотнесение объектов друг с другом, установление различия или тождества в определенном смысле.
Связь (зависимость) – это такое отношение между объектами, когда изменениям одного из них соответствует изменения другого

Совокупность внутренних взаимосвязей составляет ***структуру*** системы



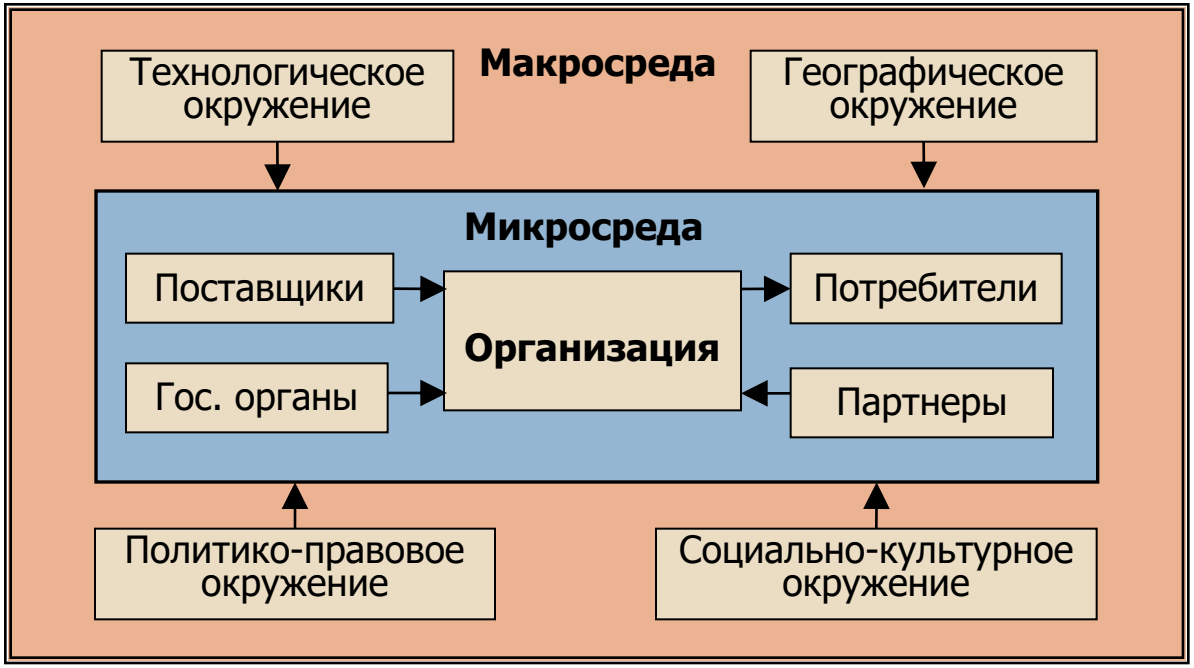
Структура = структурные элементы + связи (информационные, вещественные, энергетические)

Свойство системы как целого проявляется во взаимодействии со средой, но само это свойство возникает лишь благодаря взаимодействию частей.

Целостность системы основана на том, что суммарная мощность ***внутренних*** связей ***превосходит*** суммарную мощность ***внешних*** связей

Окружающая среда

Среда есть совокупность всех внешних объектов, изменение свойств которых влияет на систему, а также тех внешних объектов, чьи свойства меняются в результате поведения системы



Микросреда — объекты, непосредственно связанные с системой материальными или информационными потоками

Макросреду составляют объекты, оказывающие опосредованное влияние через более или менее длинные цепочки причинно-следственных связей

Классификация систем по происхождению

Естественные – системы, существующие в живой и неживой природе, возникшие без участия человека.

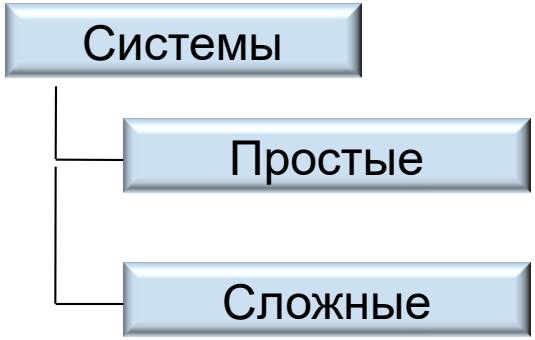
Искусственные – системы, созданные человеком

Материальные системы состоят из физических объектов, собранных человеком в систему

Абстрактные - системы представлений, созданные средствами мышления (модели)

Смешанные — системы, представляющие собой объединения природных и искусственных объектов: эргономические системы («человек – машина»), организационные системы (включающие людей, а также технические устройства).

Классификация систем по сложности



Два подхода к определению сложности:

1. Сложность связана с уровнем знаний о системе

«Сложной называется система, в модели которой не хватает информации для эффективного управления» Ф.П. Тарасенко

2. Сложность связывается с особенностями самой системы:

- *многомерность* (большое число подсистем, связей);
- *многообразие природы* подсистем и связей;
- *многообразие структур* (структур подсистем и системы);
- *многокритериальность* (разнообразие целей).

Понятия «большая» и «сложная» система – разные.
Большую систему отличает только *размерность*, сложную систему отличает *многообразие* (видов элементов, связей, структур, целей)

Классификация систем по степени изолированности

Закрытые – изолированные системы, не взаимодействующие со средой.

В них наблюдается возрастание энтропии, т.к. состояние равновесия характеризуется максимальной энтропией и минимальным использованием свободной энергии. Закрытые системы имеют тенденцию к разрушению структуры, к иссяканию.

Открытые – системы, взаимодействующие со средой, обменивающиеся с ней материей, энергией, информацией.

В открытых системах приток энергии предотвращает энтропию и позволяет достигать устойчивого состояния, не сопровождающегося разрушением структуры. При этом использование свободной энергии может быть направлено даже в сторону усложнения системы.

Классификация систем по характеру функционирования

Стабильные –структура и функции практически не изменяются в течение всего периода существования.

Качество их функционирования со временем только ухудшается.

Развивающиеся –структура и функции с течением времени претерпевают существенные изменения.

Качество функционирования со временем может повышаться

Адаптивные (самостабилизирующиеся) – в них происходят процессы адаптации,

Самоорганизующиеся – происходит развитие.

Условия для адаптации и развития:
- открытость системы,
- наличие активных элементов.

Другие классификации

По степени организованности:

- *хорошо организованные*, поведение которых можно описать в виде детерминированных зависимостей,
- *плохо организованные* (*диффузные*), характеризуемые стохастичностью поведения, нестабильностью отдельных параметров

По способу задания целей:

- системы, для которых *цели задаются извне.* Как правило, это стабильные системы, неспособные к каким-либо активным изменениям;
- системы, в которых *цели формируются внутри системы*. К ним относятся развивающиеся системы, т.к. они способны к выбору своего поведения в соответствии с внутренне присущей (имманентной) целью.

По способам управления:

1. *Самоуправляемые* системы, *управляемые извне, с комбинированным управлением*.
2. Системы *с программным управлением* (без обратной связи) и *регулируемые* (с обратной связью).
3. Системы *с управлением по параметрам* и *с управлением по структуре* .

Самостоятельное изучение темы 1.1:
[Силич В.А., Силич М.П. Теория систем и системный анализ, 2011. – 276 с., **п. 1.1, 1.2, 1.5**]

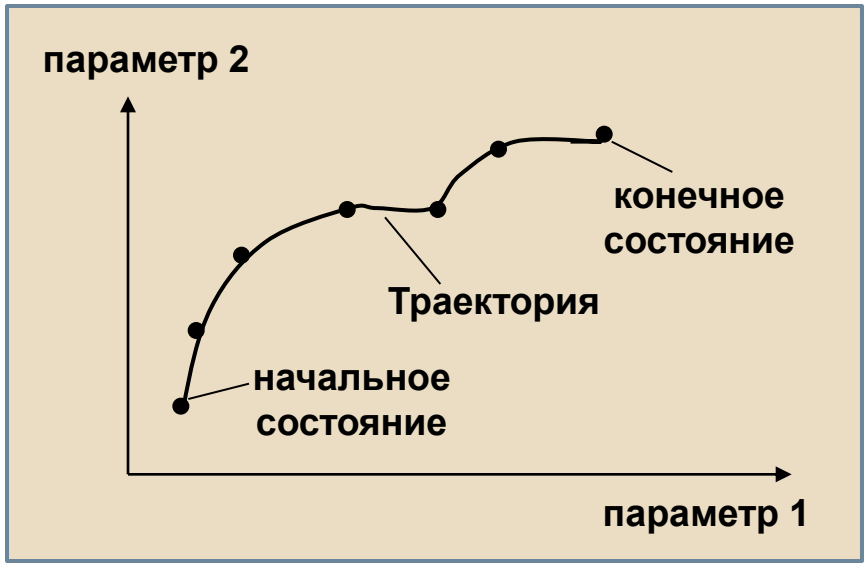
Динамичность

Поведение (функционирование) – совокупность действий, изменений системы, ее реакция на внешние воздействия (изменение, развитие, рост).

Поведение проявляется в изменении с течением времени состояний системы.

Состояние — это множество одновременно существующих свойств системы.

Событие — это переход в новое состояние



Пространство состояний

Параметры – координаты пространства состояний

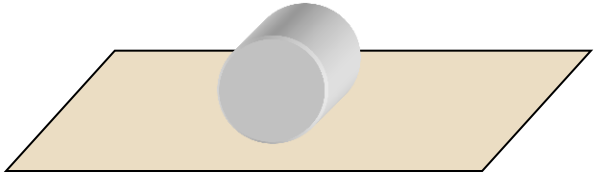
Состояние – точка в пространстве состояний

Функционирование – траектория движения в пространстве состояний

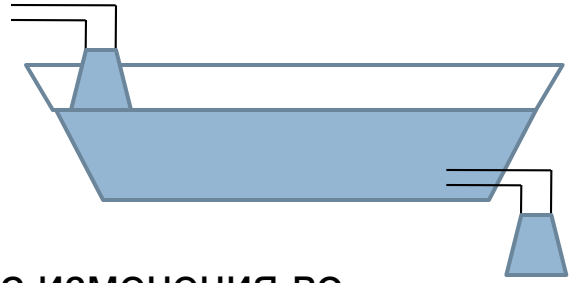
Состояния равновесия и перехода

Равновесие - способность системы в отсутствии внешних возмущающих воздействий (или при постоянных воздействиях) сохранять свое состояние сколь угодно долго

Статическое равновесие – состояние покоя



Динамическое равновесие обусловливается действием факторов, вызывающих в среднем равные и противоположные следствия



Под ***переходным процессом*** понимается процесс изменения во времени параметров системы, имеющий место при переходе ее из одного равновесного состояния в другое

Устойчивость – способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была из этого состояния выведена под влиянием возмущающих воздействий

Адаптация и развитие

Открытые системы способны к *саморегулированию*, т. е. способны приспосабливаться к изменениям внешней среды.

Два уровня саморегулирования:

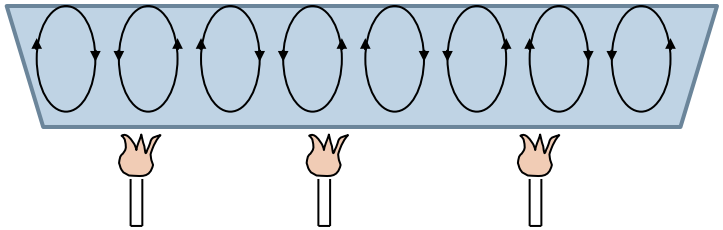
самостабилизация (адаптация) – способность системы в ответ на поток возмущений из внешней среды вырабатывать соответствующие корректирующие действия, возвращающие систему в устойчивое состояние динамического баланса с внешней средой;

самоорганизация (развитие) – способность системы в ответ на поток возмущений из внешней среды реорганизовать свою внутреннюю структуру (эволюционировать)

Способность систем к самостабилизации – *закон самосохранения*, способность систем к самоорганизации – *закон развития*.

Примеры самоорганизации

Самоорганизация проявляется в самопроизвольном усложнении формы, в появлении из хаоса упорядоченных структур



Ячейки Бенара

В сосуде с жидкостью, подогреваемом снизу, самопроизвольно образуются конвективные вихревые течения, которые образуют **регулярную** структуру

Примеры самоорганизации:

образование перистых облаков,

образование геологических структур,

усложнение формы зародыша живого организма при его развитии.

Эквифинальность

Развивающиеся системы имеют некоторый **предел**, определяемый ее структурой и свойствами

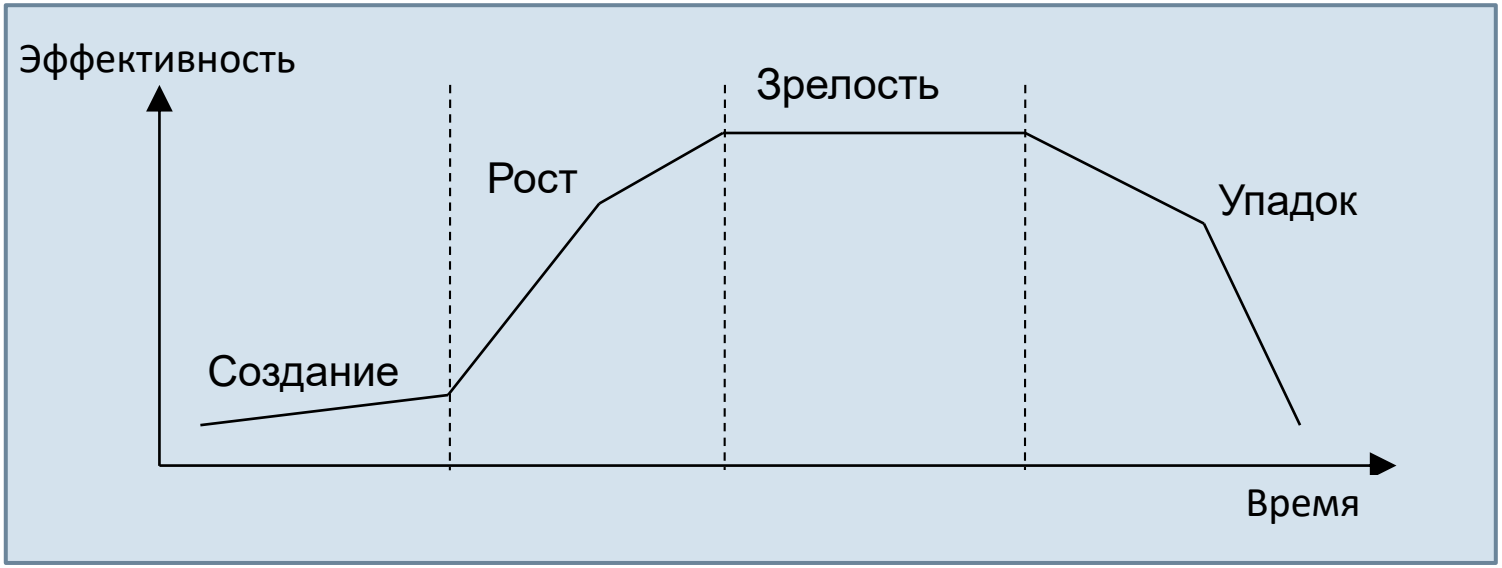
В ***закрытых детерминированных*** системах достижение предельного состояния обусловлено временем и начальными условиями

Открытые системы характеризуются тем, что стремление к предельным состояниям и достижение этих состояний не определяется начальными условиями

Эквифинальность – «способность в отличие от состояния равновесия в закрытых системах, полностью детерминированных начальными условиями, … достигать не зависящего от времени состояния, которое не зависит от начальных условий»
(Л. Фон Берталанфи)

Историчность

Последовательность этапов от возникновения до распада системы называется ***жизненным циклом***.



Этапы жизненного цикла следуют в строгой последовательности и характеризуются определенными ***предсказуемыми*** состояниями

Прохождение системами определенных стадий развития называется **закономерностью историчности**.

Примеры жизненных циклов

Жизненный цикл информационных систем:

- анализ требований,
- проектирование,
- реализация,
- компоновка,
- тестирование,
- эксплуатация и сопровождение

Жизненный цикл товара:

- исследования и разработки,
- внедрение на рынок,
- расширение рынка,
- зрелость, насыщение рынка,
- вытеснение с рынка и реализация остатков готовой продукции

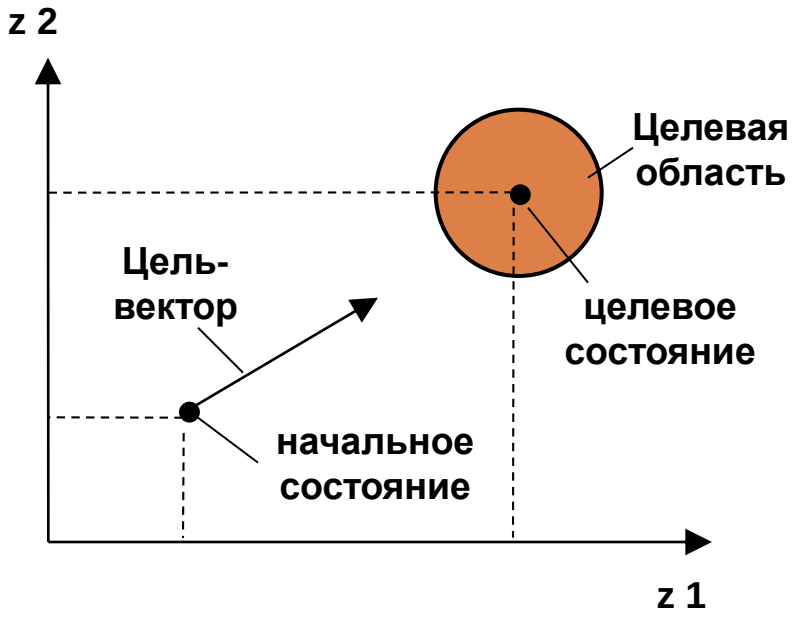
Жизненный цикл организации:

- становление (этап предпринимательства)
- рост (этап коллегиальности)
- зрелость (этап формализации деятельности),
- упадок (этап спада)

Целенаправленность

Цель – желаемый результат деятельности системы (модель желаемого будущего)

Объективные цели реализует природа, *субъективные цели* ставит человек. *Имманентные* цели – внутренне присущей системе.



Цель может быть задана в пространстве состояний как:

желаемое состояние – точка

(«увеличить объем выпуска продукции до 100 тыс. шт. в месяц»);

диапазон состояний – область

(«сократить срок изготовления продукта на 25-30%»);

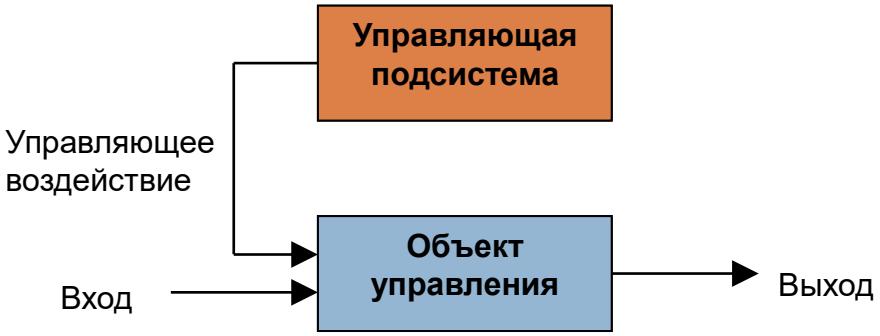
желаемое направление – вектор

(«максимизировать прибыль»).

Управление

Управление — воздействие на объект для достижения заданной цели.

Кибернетическая схема функционирования системы с управлением:



В ***управляемой*** подсистеме происходит некоторый процесс преобразования входов в выходы.

Управляющая подсистема формирует ***управляющие воздействия***, которые поступают на вход объекта управления.

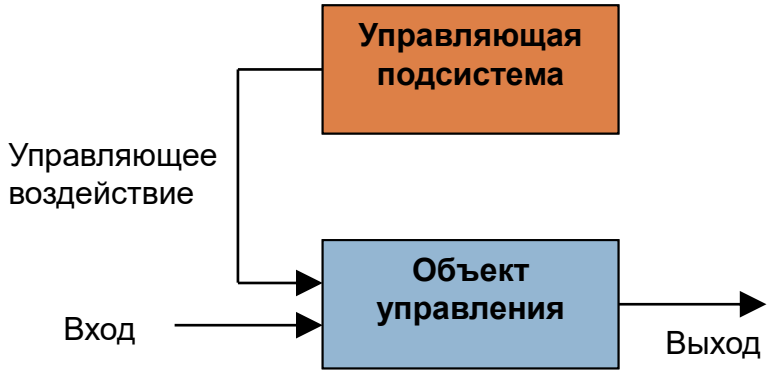
Управляющие воздействия удерживают объект управления на траектории, приводящей систему в целевое состояние.
Примеры воздействий: для механических систем - при помощи рычагов, тяг; для организма - посредством нервных импульсов, для организационных систем – через передачу приказов распоряжений от руководителей исполнителям

Управляемость — это способность системы определенным образом реагировать на сигналы управления или на управленческое воздействие.

Разомкнутые и замкнутые системы

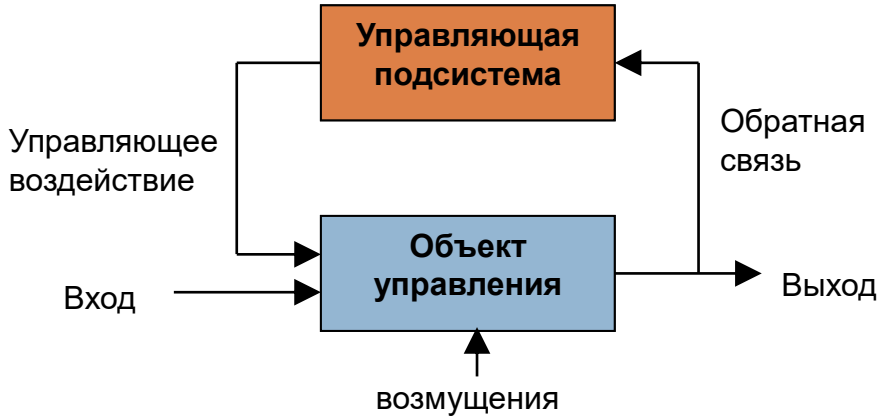
Разомкнутые (программные) — системы, управляемые по заданной программе без ее подстройки в соответствии с получаемым результатом.

Пример – несложные технические устройства (влияние возмущающих воздействий невелико).



Замкнутые (регулируемые) — системы, способные воспринимать информацию о результатах своей деятельности и использовать ее для корректировки управления.

Передача информации с выхода системы на ее вход называется ***обратной связью***



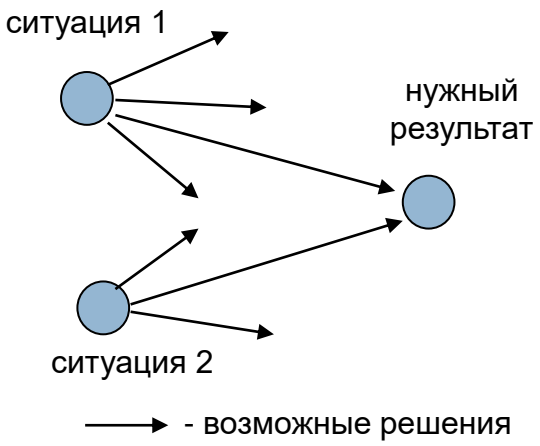
Принцип обратной связи: управление сложной системой может осуществляться только при условии получения информации о результатах реализации предыдущих управляющих воздействий

Закон необходимого разнообразия

Выбор управляющего воздействия зависит от проблемы (ситуации). При наличии случайных возмущений имеется разнообразие проблем

Принятие решения, адекватного ситуации, снижает разнообразие проблем

Неопределенность управления – разница между разнообразием проблем V_D и разнообразием решений V_R: $V_D - V_R$



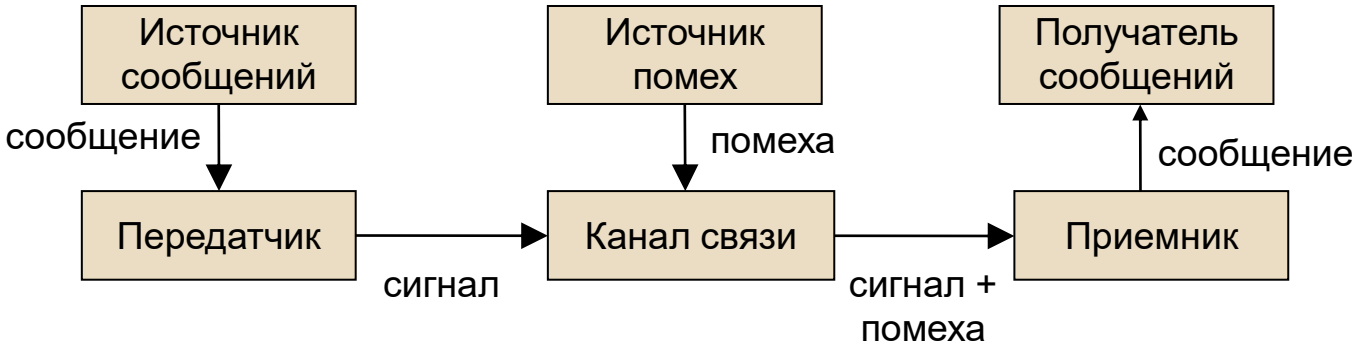
Закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби:

Для того чтобы создать систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным *разнообразием*, нужно, чтобы система имела еще большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, или была способна создать в себе это разнообразие.

Для управления сложной системой, в которой протекают сложные разнообразные процессы, система управления должна обладать не меньшей сложностью.

Информация

Информация в широком смысле – это *отражение* одного объекта на другой, т.е. когда состояние одного объекта находится *в соответствии* с состоянием другого.



Информация от источника (речь, изображение) преобразуется с помощью *передатчика* в *сигнал* (материальный носитель информации - колебания тока, радиоволны).

Сигнал передается по *каналам связи* (электрическим, радиоканалам) *приемнику*.

Приемник обеспечивает обратное преобразование сигналов в сообщения. Специальные соглашения - *код* - позволяют получателю понимать смысл информации.

При передаче сигнала по каналу связи к полезным сигналам примешиваются *помехи* (шумы) от различных источников.

Количество информации

Кибернетический подход: информация оценивается с точки зрения ее полезности для управления.
В случае недетерминированного поведения управляемого объекта и среды получение информации интерпретируется как **изменение неопределенности** в результате приема сообщения

Количественной мерой степени неопределенности является ***энтропия***:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i$$

$H(A)$ – энтропия случайного объекта A, принимающего множество возможных состояний $A_1, \ldots A_n$ с соответствующими вероятностями $p_1, \ldots p_n$

Количество информации о некотором случайном объекте определяется как разность априорной (до получения информации) и апостериорной (после получения информации) энтропий этого объекта:

$$I(X,Y) = H(X) - H(X \mid Y)$$

$H(X)$ – энтропия до получения информации,
$H(X \mid Y)$ – энтропия после получения информации

Самостоятельное изучение темы 1.2:
[Силич В.А., Силич М.П. Теория систем и системный анализ, 2011. – 276 с., **п. 1.3, 1.4**]

Понятие модели

Модель представляет искусственный, созданный человеком объект любой природы (умозрительный или материально реализованный), который замещает или воспроизводит исследуемый объект.

Процесс построения, изучения и применения моделей называется ***моделированием***

Модель позволяет в более наглядной, «выпуклой», структурированной форме представить знания. Это *способ существования знаний.*

Принцип моделирования: замещение исходного объекта аналогом позволяет выделить скрытую от наблюдения сущность оригинала.

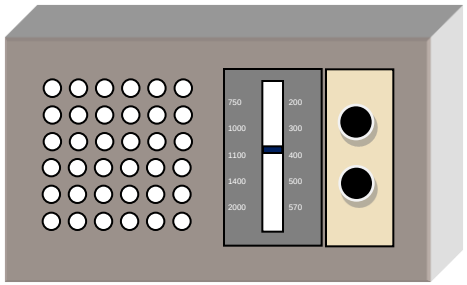
Модель - ***упрощенный, приближенный*** образ, который отражает наиболее существенные (с точки зрения цели моделирования) свойства оригинала.

Соответствие модели оригиналу называется ***адекватностью*** модели.

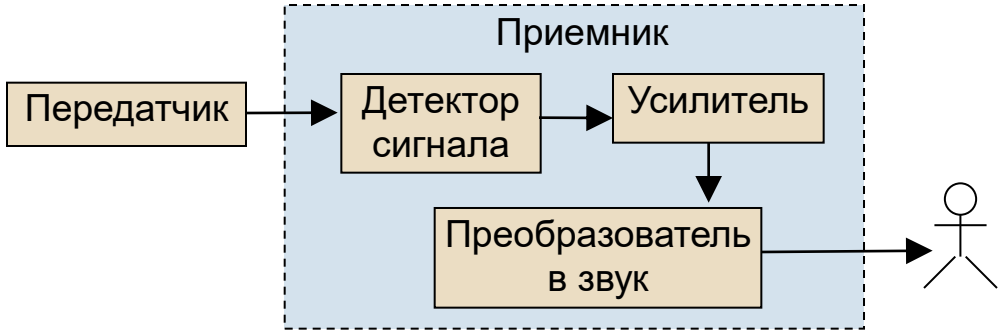
Адекватность включает требования полноты и точности (правильности). Требования должны выполняться в той мере, которая *достаточна для достижения цели*

Множественность моделей

Для одного и того же объекта может быть построено множество различных моделей, отвечающих различным целям



модель внешнего вида радиоприемника



структурная схема радиоприемника

Виды подобия: *прямое* (макет, фотография), *косвенное* (подобие по аналогии), *условное* (на основе соглашений)

Процесс моделирования имеет свойство *динамичности*: модели развиваются, уточняются, переходят одна в другую

Классификация моделей

Познавательные (*объяснительные, «как есть», "As is"*) модели отражают уже существующие объекты

Нормативные (*прагматические, «как должно быть», "To be"*) модели отражают объекты, которые должны быть осуществлены

Статические модели не учитывают временной фактор

Динамические модели отражают изменения объекта, происходящие с течением времени

Динамическая модель сама может быть статична или находиться в динамике (имитационная модель)

Материальные модели построены из реальных объектов. Примеры: макеты, манекены, чучела.

Абстрактные модели - это идеальные конструкции, выполненные средствами мышления, сознания. Примеры: схемы, чертежи, диаграммы, формулы

Классификация моделей

Декларативные модели отражают свойства, структуры, состояния объектов

Процедурные модели отражают процедурное, операционное знание

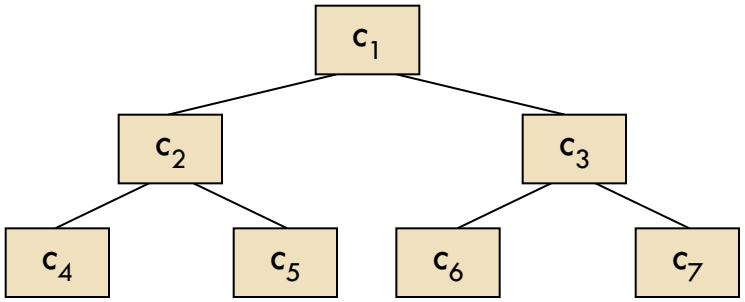
Детерминированные модели отражают процессы и явления, не подверженные случайностям

Стохастические – отражают случайные процессы, описываемые вероятностными характеристиками и статистическими закономерностями

Формализованные модели могут не иметь смысловой интерпретации

В *содержательных* моделях сохраняется семантика моделируемого объекта

Языки описания моделей

Язык	Модель дерева целей
естественный	«Глобальная цель с кодом *«ц один»* содержит две подцели – «*ц два*» и «*ц три*», в свою очередь, подцель «*ц два*» содержит подцели «*ц четыре*» и «*ц пять*» , а подцель «*ц три*» – подцели «*ц шесть*» «*ц семь*»»
графический	
теории множеств	Множество целей $C = \{c_i\},\ i = \overline{1,7}$ Отношение доминирования: $R_{\succ} \subset C \times C$

$$c_1 R_{\succ} c_2,\ c_1 R_{\succ} c_3,\ c_2 R_{\succ} c_4,\ c_2 R_{\succ} c_5,\ c_3 R_{\succ} c_6,\ c_3 R_{\succ} c_7$$

Языки описания моделей

Язык — Модель дерева целей

математический

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } i-\text{тая цель содержит } j-\text{тую} \\ 0, \text{ если } i-\text{тая цель не содержит } j-\text{тую} \end{cases}$$

логический

$$P(c_1, c_2) \,\&\, P(c_1, c_3) \,\&\, P(c_2, c_4) \,\&\, P(c_2, c_5) \,\&\, P(c_3, c_6) \,\&\, P(c_3, c_7) \equiv И,$$

где $P(c_i, c_j)$ - предикат, означающий, что цель c_i содержит подцель c_j

произвольный семиотический

$c_1 (c_2 (c_4 , c_5), c_3 (c_6 , c_7))$,
где $c_{i1} (c_{i2}, \ldots c_{in})$ – означает, что цель c_{i1} содержит подцели $c_{i2}, \ldots c_{in}$.

Модель «черного ящика»

Эта модель рассматривает систему как единое целое, о структуре которого в модели нет информации

Параметр	I квартал	II квартал	III квартал
Объем производства	240	300	270
Численность персонала	3	3	3
Производительность	80	100	90
Затраты, тыс руб.	65	60	60
Затраты на ед. продукции	0,27	0,2	0,22
Эффективность	средняя	высокая	средняя

Два аспекта использования модели:

1. В модели фиксируются входные и выходные связи системы с окружающей средой.

Дополнительно входы и выходы могут быть описаны с помощью параметров.

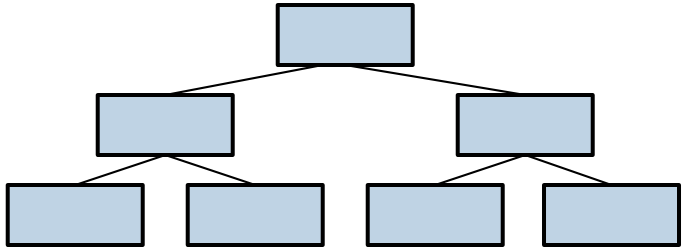
2. В модели фиксируются целостные свойства системы в виде качественных и количественных параметров.

В случае, если в модели отражаются зависимости между параметрами, то это «серый» («полупрозрачный») или «белый» («прозрачный») ящик

Модель состава

В модели фиксируется состав компонент системы – подсистем и элементов.

В силу свойства иерархичности систем модель состава неизбежно принимает ***иерархический*** вид.



Два основных способа построения модели состава:

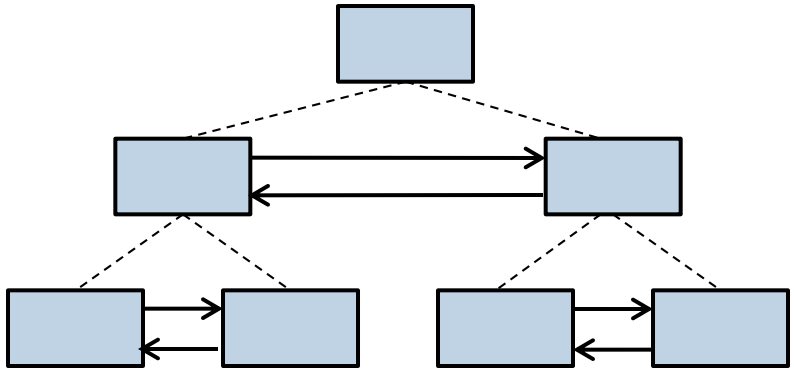
декомпозиция — последовательное расчленение системы на все более мелкие части;

композиция — последовательное объединение частей системы во все более крупные подсистемы.

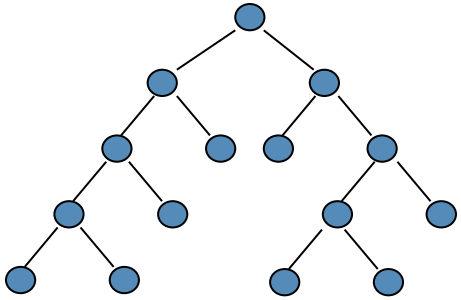
Это связано с такими способами познания, как анализ и синтез.
Анализ (разложение сложного на более простые компоненты) не позволяет судить о системе, как о целом. Поэтому необходим и обратный процесс – *синтез*.
Сочетание синтетического и аналитического мышления – один из основных принципов системного подхода.

Модель структуры

Модель структуры строится на основе модели состава системы.
В ней фиксируются ***отношения*** между подсистемами (элементами) системы:
- материальные (информационные) потоки,
- пространственные, временные отношения,
- причинно-следственные связи и др.

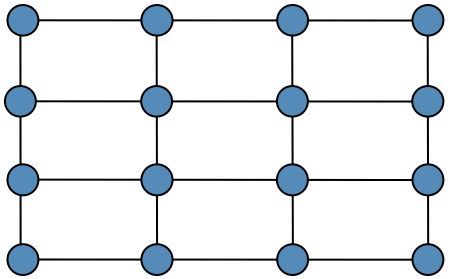


Модели структуры изображают в виде **графов**.
Примеры графов некоторых типовых структур :

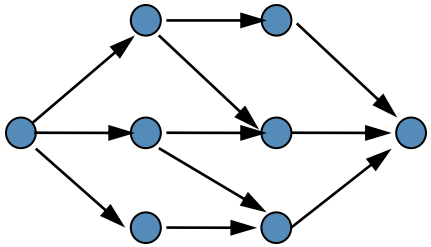


Древовидные структуры используются:
- для модели на основе отношения «целое-часть»;
- классификаций (отношения типа «общее-частное»);
- деревьев целей (отношения «цель-средство»);
- схем организационного управления (отношения власти/ подчинения).

Модель структуры

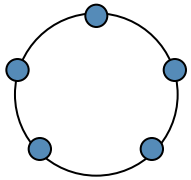


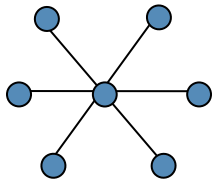
Матричные схемы используются для систем, элементы которых связаны двумя типами связей.
Связи одного типа – в виде вертикальных линий,
связи другого типа – в виде горизонтальных линий.
Примеры: матричные оргструктуры, связи в БД

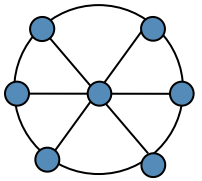


Сетевые структуры чаще всего используются для моделирования процессов.
Пример – сетевой график работ.

В виде сетей различной конфигурации представляют структуры коммуникаций.
Типовые внутригрупповые коммуникационные сети:







Самостоятельное изучение темы 1.3:
[Силич В.А., Силич М.П. Теория систем и системный анализ, 2011. – 276 с., **п. 2.1, 2.2**]