

**Научно-популярная лекция
для молодежи**

Окружающий мир – мир сложных систем

Моргунов Евгений Павлович

Сибирский государственный аэрокосмический
университет им. акад. М. Ф. Решетнева

Email: emorgunov@mail.ru

Версия презентации 1.0

Лекция подготовлена при поддержке
гранта Красноярского краевого фонда науки 4PL26 за 2007 г.



Что такое система?

- Система – комплекс взаимодействующих компонентов (Л. фон Берталанфи)
- Система – совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом (Л. фон Берталанфи)
- Система – любая сущность, концептуальная или физическая, которая состоит из взаимодействующих частей (Р. Акофф)
- Система – любой комплекс динамически связанных элементов (С. Бир)



Что такое система?

- Система есть средство решения проблемы (С. Оптнер)
- Система – организованное множество (Ф. Е. Темников)
- Система – конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определённой целью в рамках определённого временного интервала (В. Н. Сагатовский)
- Система – отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания (Ю. И. Черняк)



Терминологическое уточнение

- Ряд авторов предлагают различать *понятие* системы и саму систему, которая является *объективной реальностью*



Элемент системы

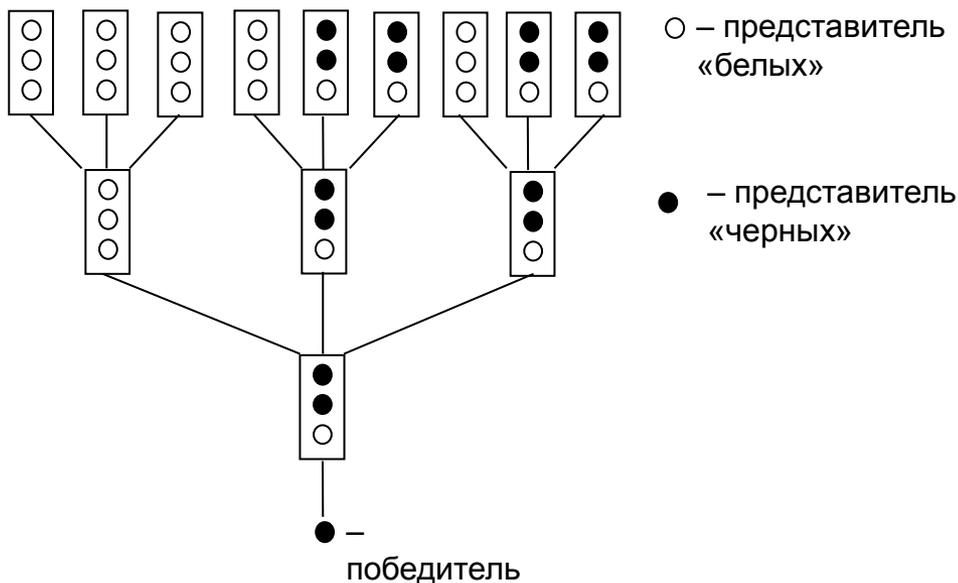
- Элемент – это часть системы, которая является пределом ее деления, расчленения
- Элементы определяются с учетом специфики решаемой задачи
- С точки зрения большой организации или предприятия отдельный человек является элементом. Но для врача или биолога человек сам представляет сложнейшую систему, состоящую из ряда подсистем и множества элементов, объединенных множеством связей



Структура системы

- Структура — совокупность наиболее существенных элементов и связей системы
- В качестве примеров можно привести свойства таких минералов как алмаз и графит, которые состоят из атомов углерода, но имеют различную структуру. Еще одним примером может служить параллельное и последовательное соединение проводников в электротехнике

Процедура голосования



Имеется
2 коалиции:
«черные»
(8 голосов)
и «белые»
(19 голосов)

Можно структурировать процессы и процедуры



Родоначальники теории систем

- австрийский биолог Людвиг фон Берталанфи написал свои основополагающие работы в 40-х гг. XX века
- за двадцать лет до этого русский ученый А. А. Богданов (Малиновский) предложил новую теорию, которую он называл «тектологией», или «организационной наукой»



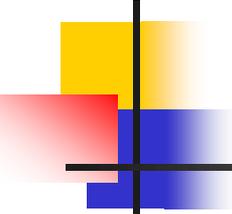
Кибернетика

- Кибернетика – наука об управлении. Управление – это воздействие на систему для достижения поставленной цели
- Основатель – американский математик Норберт Винер (40-е – 50-е гг. XX века)
- Американский ученый, который также был биологом по образованию, У. Росс Эшби сформулировал закон «необходимого разнообразия»
- Под разнообразием понимается сложность системы, разнообразие возможных ее состояний, разнообразие методов решения проблем



Закон «необходимого разнообразия»

- Суть этого закона в том, что сложная система, создаваемая для решения какой-то проблемы, должна иметь большее разнообразие, чем решаемая проблема

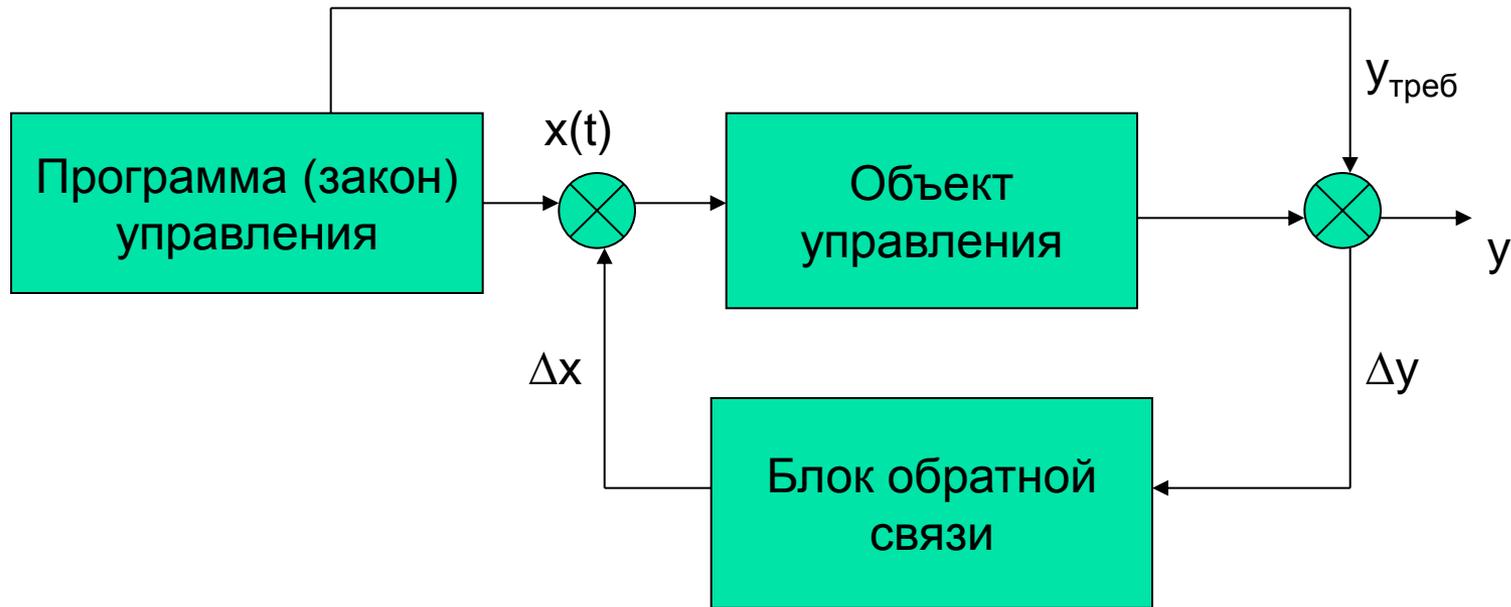


Закон «необходимого разнообразия» в политической жизни

Английский кибернетик С. Бир считает методами уменьшения разнообразия

- формирование партий, представляющих крупные блоки разнообразия по всей стране
- избрание представителей от крупных блоков разнообразия из разных регионов, частей страны
- разделение времени, во-первых, на сроки пребывания на высших официальных постах, во-вторых, на сроки проведения выборов

Обратная связь



- $x(t)$ – управляющее воздействие; $u_{\text{треб}}$ – требуемое значение выходного сигнала; Δy – отклонение значения выходного сигнала от требуемого уровня; Δx – изменение величины управляющего воздействия; y – фактический результат



Виды обратной связи

- **Положительная**

Ее назначение заключается в том, чтобы обеспечивать сохранение тенденции изменения того или иного выходного параметра

- **Отрицательная**

Направлена на противодействие таким изменениям, то есть на сохранение, стабилизацию требуемого значения выходного параметра

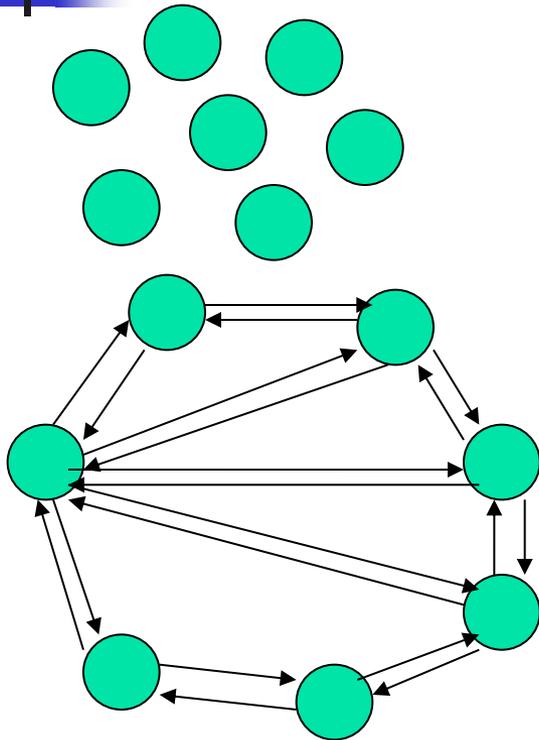


Системность мира

Нужно перестать поступать так, словно природа делится на дисциплины, как в университетах

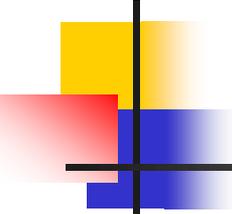
(Р. Акофф)

Сложные системы



Стрелками обозначены связи между элементами (показаны не все связи)

- В системе 7 элементов, следовательно, внутри системы возможно наличие 42 связей
- Состояние системы определяется конфигурацией цепи, в которой та или иная связь присутствует или отсутствует
- Число различных состояний, в которых может находиться система, составит 2^{42} . Это число превышает $4 \cdot 10^{12}$



Классификация систем по С. Биру

Первый критерий — степень сложности

- Простые динамические системы
- Сложные системы, поддающиеся описанию — отличаются разветвленной структурой и большим разнообразием внутренних связей
- Очень сложные системы — системы, являющиеся сложными, но точно и подробно описать их уже нельзя

Второй критерий

- Детерминированные системы
- Вероятностные системы



Примеры систем

Простая детерминированная система

- оконная задвижка

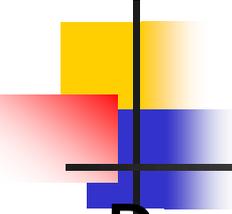
Сложная детерминированная система

- электронная вычислительная машина
- современные операционные системы

(исходный код ОС Windows 2000 насчитывает около 29 млн. строк на языке программирования C)

Очень сложная вероятностная система

- экономика государства
- человеческий мозг

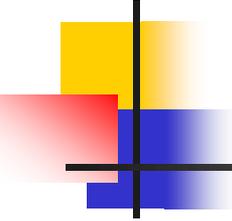


Системные закономерности (по Б. С. Флейшману)

Разнообразие, т. е. число различных типов систем данного класса, *возрастает*

- различных типов атомов всего около 10^2 , различных типов неорганических молекул, образуемых из атомов – около 10^4 , число различных видов животных составляет уже около 10^6

Распространенность, т. е. число систем данного типа в заданном пространстве (например, на Земле или в известной нам части Вселенной), *убывает* с ростом их сложности



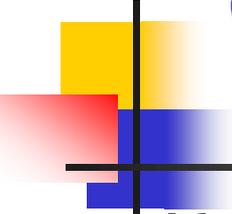
Синергетика – теория самоорганизации систем

- Родоначальником синергетики является немецкий физик Г. Хакен
- Слово «синергетика» означает «совместное действие»
- Пример самоорганизации в природе — образование снежинок
- Пример самоорганизации в обществе — расслоение ранее однородного общества по мере развития средств производства, организация политических партий и движений

Технология решения системных задач

- Сложная проблема решается методами системного анализа.
- «На деле системный анализ представляет собой сложный, бесструктурный, приблизительный и индивидуализированный подход к рассмотрению новой системы, будь то новое оружие или массовая кампания против недоедания, в котором используются различные аналитические методы – от математики до интуиции. Это не формальный способ анализа, опирающийся на застывшие догмы, а скорее концептуальный подход, требующий использования максимального диапазона дисциплин и исследовательских приемов для рассмотрения какой-либо одной проблемы»

(П. Диксон. Фабрики мысли)



Фабрики мысли

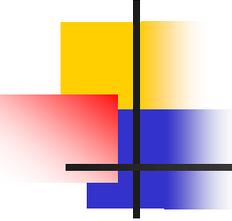
- Корпорация РЭНД (США) (1946 г.)

Она занимается широким спектром проблем от перспективных систем оружия до политики борьбы с бедностью

- Решаются сложные междисциплинарные задачи

Фирма «Систем девелопмент» участвовала в разработке курса обучения слепых для работы в качестве программистов ЭВМ

- Всем «фабрикам мысли» присуща одна общая черта – каждое такое учреждение имеет доверительные отношения с каким-либо государственным ведомством, например, с министерством обороны



Системные аналитики

Требования к таким специалистам

- широкий кругозор и глубокие знания в различных областях науки и техники
- умение мыслить нестандартно, принимать подчас парадоксальные решения, поскольку стандартные, предсказуемые решения могут не давать желаемого результата

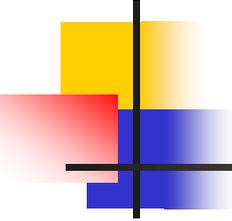
Пример из книги Р. Акоффа «Искусство решения проблем»:

размещение зеркал рядом с лифтами в качестве решения проблемы жалоб на долгие ожидания прибытия лифта



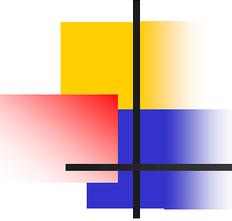
Работа С. Бира в Чили

- Цель: управление экономикой целой страны в реальном времени
- Мощная ЭВМ была лишь в столице страны Сантьяго
- На основе телексной связи была организована сеть (Кибернет) для сбора данных от предприятий Чили, которые были национализированы государством
- Был разработан пакет специальных программ, математических и имитационных моделей чилийской экономики



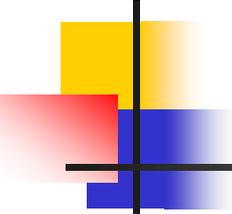
Мировая динамика

- Джей Форрестер (США)
конец 1960-х – начало 1970-х гг.
- В своих моделях Дж. Форрестер рассматривает мир как единое целое, как единую систему различных взаимодействующих процессов: демографических, промышленных, в том числе и процессов исчерпания природных ресурсов и загрязнения окружающей среды, процесса производства продуктов питания
- Его расчеты показали, что при сохранении современных тенденций развития общества неизбежен серьезный кризис во взаимодействии человека и окружающей среды



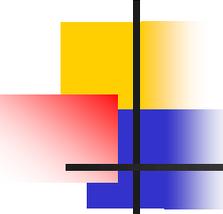
Общая теория роста человечества

- Автор: С. П. Капица
- В настоящее время в мире имеет место явление, которое называется демографическим переходом
- Его суть заключается в резком возрастании скорости роста популяции, который сменяется столь же стремительным ее падением, после чего численность населения стабилизируется



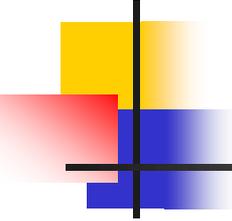
Основные идеи

- Человечество рассматривается как целое, без деления его по странам и регионам, к чему традиционно прибегают в истории и экономике, социологии и демографии
- История человечества рассматривается, как процесс развития *СИСТЕМЫ*
- Именно сложность системы допускает статистический подход к ее анализу
- Все население Земли рассматривается как эволюционирующая и самоорганизующаяся система, существенно нелинейная в своем поведении
- Главным параметром, определяющим состояние человечества, становится полная численность его населения



Основные параметры моделей

- В модель водится так называемое характерное время, которое определяется внутренней предельной способностью системы человечества и человека к росту. Эта постоянная, равная $\tau = 45$ годам, определяется из анализа глобального демографического развития и дает масштаб времени, к которому следует относить процессы, происходящие в системе человечества.
- Обосновывается и вводится в модель также константа $K = 64000$. Она занимает центральное место в теории роста, определяя все основные соотношения, возникающие при описании системной динамики человечества, являясь, в терминах синергетики, параметром порядка



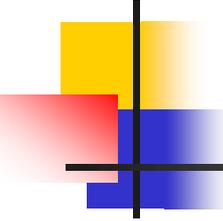
Основные результаты (1)

- В течение эпохи, предшествующей демографическому переходу, скорость роста численности людей пропорциональна квадрату общего числа людей N , населяющих Землю,

$$\tau \frac{dN}{dT} = \frac{N^2}{K^2}$$

это приводит к гиперболическому росту

$$N = \frac{K^2 \tau}{T_1 - T} = \frac{186 \cdot 10^9}{2025 - T}$$



Основные результаты (2)

- Демографический переход занимает $2\tau = 90$ лет и заканчивается соответственно в $T_1 + \tau = 2050$ г.

- Предел численности людей на Земле

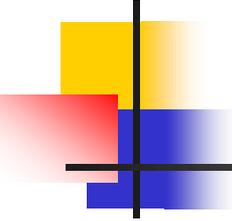
$$N_\infty = \pi K^2 = 13 \text{ млрд.}$$

- В критическом 2005 г. скорость роста населения достигнет максимума

$$\left(\frac{dN}{dT} \right)_{T_1} = \frac{K^2}{\tau} = 90 \text{ млн. в год.}$$

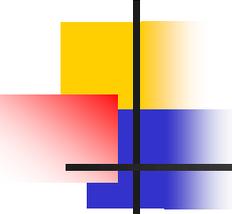
В течение всего времени роста от $T_0 = 4,5$ млн. лет (со времени начала антропогенеза) тому назад до $T_1 = 2005$ г., на Земле прожило около

$$P_{0,1} = 2K^2 \ln K = 90 \text{ млрд. чел.}$$



Основные выводы

- Управление ростом населения определяется внутренними, системными факторами развития
- Модель парадоксально указывает на глобальную независимость от внешних ресурсов в течение всей истории развития.
- Темп роста зависит от внутренних свойств системы, а не от внешних условий и ресурсов



Устойчивость геополитических систем

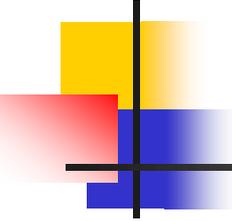
Геополитика — теория позиционной игры на мировой шахматной доске (С. Б. Переслегин)

«Транспортная теорема» позволяет оценить пределы пространственного развития государств.

Для этого используются всего два параметра

- Первый из них, v , означает характерную скорость перемещения информации внутри государства. Вторым параметром, t , отражает характерную длительность процессов, подлежащих управлению из центра

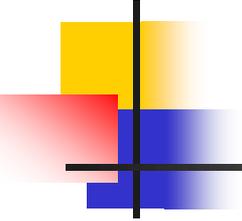
Теорема утверждает, что «приведенные к кругу» размеры государства не могут превышать vt



Транспортная теорема

- «Приведенные к кругу размеры» — радиус круга, площадь которого равна площади государства, т. е. $S = \pi r^2 = \pi (vt)^2$
- Для государств доиндустриальной эпохи значение параметра v оценивается в диапазоне от 50 до 100 километров в сутки, а значение параметра t , зависящее от исторической эпохи и ряда других обстоятельств, находится в диапазоне от 4 до 10 дней

приведенный радиус империй древнего мира и средних веков мог бы составлять от 200 до 1000 километров



Спасибо за внимание