

## Лекция №2

## Классификация моделей

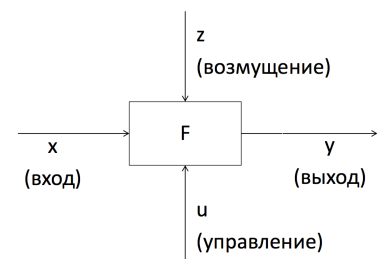


Физические модели внешне напоминают изучаемую систему.

Графические – показывают соотношение между различными количественными характеристиками систем в виде графиков и таблиц.

Математические модели – это совокупность математических объектов и отношений между ними, которая адекватно отображает исследуемую систему.

1. В зависимости от характера отображаемых свойств
  - 1.1. Функциональные – отображают процессы функционирования
  - 1.2. Структурные – могут иметь форму матриц, графов и отображают взаимное расположение элементов
  - 1.3. Схематические – отображение в виде схемы
2. По виду уравнений
  - 2.1. Линейные
  - 2.2. Нелинейные
3. По множеству значений
  - 3.1. Непрерывные
  - 3.2. Дискретные
4. По учёту случайных воздействий
  - 4.1. Стохастические
  - 4.2. Детерминированные
5. По форме связи между выходными и входными воздействиями
  - 5.1. Алгоритмические – модель описывается алгоритмом
  - 5.2. Аналитические – формулы и уравнения
  - 5.3. Численные – в виде числовых последовательностей
6. По учёту инерционности
  - 6.1. Динамические
  - 6.2. Статические



F – некоторый оператор (чёрный ящик, сама модель).

На вход подаются некоторые данные X, на выход получаем Y.

За вход и выход может приниматься состояние объекта в целом (вход – предыдущее состояние, выход – следующее)

Во внешней среде есть 2 вида воздействий: управляемые (u – управление, их мы можем изменять) и возмущения (z – не можем на них влиять)

X и Y – вектор состояния объекта, U – управления, Z – возмущение.

Множество всех возможных состояний системы – пространство состояний.

И тогда F – функция (оператор) перехода и это закон, в соответствии с которым система переходит из одного состояния в другое.

Задачи моделирования:

- прямая – есть  $F$  и  $X$ , надо найти  $Y$
- обратная (задача управления) – есть  $F$  и  $Y$ , надо найти  $X$  (на основании требуемого выхода необходимо найти управление)
- идентификация (параметрическая или структурная) – есть набор  $X$  и  $Y$ , надо найти  $F$ 
  - параметрическая идентификация – вид уравнений известен, надо подобрать коэффициенты
  - структурная идентификация – всё неизвестно об объекте, надо определить каким уравнением можно описать

Первый этап формирования математической модели называется построение модели.

## 1. Построение модели

- 1.1. Сбор, накопление и обобщение сведений о системе и процессах, происходящих в ней.
- 1.2. Выделение элементов и подсистем и установление связей между ними из внешней среды
- 1.3. Установление множества переменных – из всех возможных выделить вектор управления
- 1.4. Выяснение объективных законов взаимодействия элементов системы друг с другом и внешней средой

## 2. Изучение модели

Для контроля адекватности используется ряд критериев

### 2.1. Аналитическая модель

- 2.1.1. Контроль размерности (метр+метр)
- 2.1.2. Контроль порядков (скорость авто не может быть  $2 \cdot 10^{15}$  м/с)
- 2.1.3. Контроль характера зависимостей
- 2.1.4. Контроль предельных состояний (что будет если входная переменная будет приближаться к своим экстремальным значениям)
- 2.1.5. Контроль граничных условий
- 2.1.6. Контроль физического смысла
- 2.1.7. Контроль математической замкнутости – заключается в проверке того, что принятая математическая модель даёт возможность решить поставленную задачу притом однозначно

Математическая модель считается корректной, если она удовлетворяет всем проверкам.

### 2.2. Численное исследование – подстановка в аналитическую модель конкретных числовых значений и применение некоторых численных алгоритмов.

Подстановка числовых значений, параметров, внешних воздействий и входного воздействия в уравнение системы и применение численных методов просчёта полученных уравнений.

## 3. Сравнение результатов

На этот этап передаются вычисленные данные объекта с этапа 2 и данные натурального эксперимента. Если модель удачная, то процесс завершается, иначе происходит переход к 1 этапу для корректировки модели.

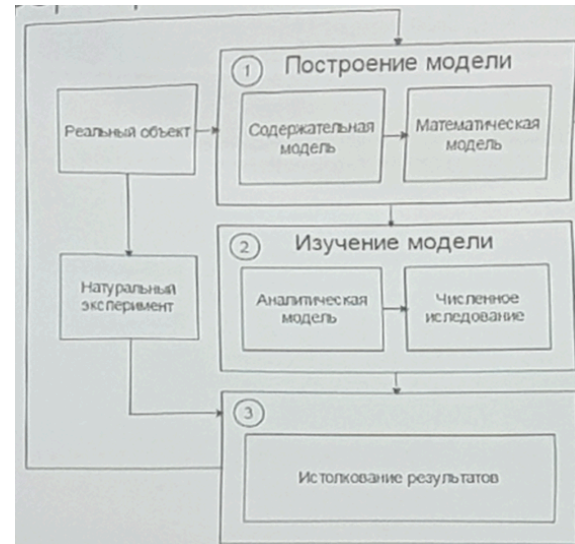
Результатом второго этапа разработки модели может служить вычислительный эксперимент или имитационная модель.

**Имитационное моделирование** – воспроизведение на компьютере (simulation) процесса функционирования исследуемой системы, позволяющая исследовать состояние системы и отдельных её элементов в определенные моменты модельного времени, при определённых значениях параметров, граничных условий и внешних воздействий.

**Модельное время** – то время в котором функционирует модель, оно является имитацией реального времени. Может соответствовать реальному или быть виртуальным.

Имитационное моделирование применяется для:

- Исследования поведения различных экономических субъектов (предприятия, организации, отрасли);
- Поиска оптимальных стратегических и оперативных решений в различных организационных структурах;
- Поддержки оптимального управления в сложных производственных системах;
- Поддержки проектирования высокоэффективных динамических систем;
- Изучения поведения социальных систем при различных сценариях;



- Исследование динамики распространения заболеваний;
- Моделирование процессов биологии и здравоохранения.

#### Методы имитационного моделирования

1. Системная динамика – это метод, основанный на представлении системы на высоком уровне абстракции, как совокупность потоков накопителей переменных и суб-моделей. С помощью этого метода, как правило, моделируют непрерывные системы;
2. Дискретно-событийный – процессы рассматриваются как последовательность важных моментов времени, называемых событиями;
3. Агентное моделирование – исследует поведение объектов (классов) и как оно влияет на систему;
4. Многоподходное моделирование – комбинация трёх предыдущих

#### Методы моделирования

1. Непрерывно-детерминированный (дифференциальные уравнения, системная динамика) – моделирование непрерывной системы с детерминированными состояниями
2. Дискретно-детерминированный (конечные автоматы) – моделирование дискретно, состояния детерминированны
3. Дискретно-стохастический (дискретно-событийное моделирование)
4. Непрерывно-стохастический (СМО, СеМО) – системы массового обслуживания
5. Обобщенно-универсальный (многоподходное моделирование)