



Моделирование и проектирование систем управления

Лекция № I. Определение и назначение
моделирования



Основные понятия

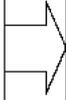
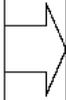
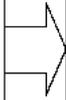
Основные понятия

- **Моделирование** - процесс замещения объекта исследования его моделью и проведение исследований на модели с целью получения необходимой информации об объекте.
- **Модель** - физическая или математическая конструкция, определенным образом отражающая объект и служащая для его изучения.
- **Теория моделирования** – теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями) и исследование свойств объектов на их моделях.

Термин «моделирование»

- «**modeling**» – относится, прежде всего, к процессу построения моделей объектов и систем;
- «**simulation**» – обозначает проведение компьютерного эксперимента с моделью (обычно численного), с визуализацией результатов этого эксперимента.

Определения

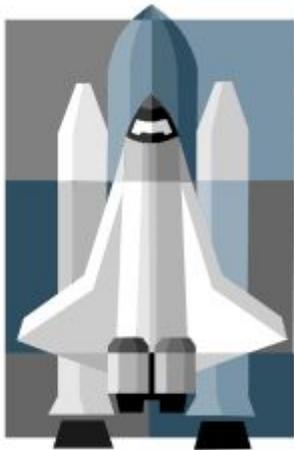


Модель

Модель является *заменителем* реального объекта, обладающим, по крайней мере, двумя свойствами:

- она отражает те свойства объекта, которые **существенны** для данного исследования;
- всегда **проще** объекта.

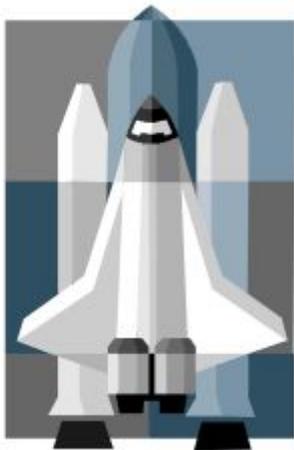
Модель



Существенные процессы:

Тепловые процессы
(радиационный теплообмен)
Законы реактивного движения
Гравитационные
взаимодействия
Законы небесной механики

Модель
орбитального
движения
в безвоздушном
пространстве



Существенные процессы:

Тепловые процессы
(сопротивление среды)
Аэродинамические процессы
Законы реактивного движения
Гравитационные
взаимодействия

Модель движения
при запуске на
орбиту

Сущность моделирования



Цели моделирования СИП

- **Познание**

Модель несет в себе информации больше, чем в нее закладывалось при создании.

- **Предсказание**

Модель позволяет предсказывать поведение исследуемого объекта при тех или иных внешних воздействиях.

- **Обучение**

Модель используется в качестве имитатора при создании различных тренажеров, на которых можно получить первоначальные навыки управления и испробовать приемы, которые в иной ситуации отработать невозможно.

- **Отработка новых конструкторских решений**

Модель используется для проверки и отработки технических решений, позволяя существенно сократить время разработки нового изделия за счет экономии на его натурных испытаниях.



Классификация методов моделирования

По типу модели

- Натурное;
- Полунатурное;
- Физическое;
- Математическое.

Математическое моделирование

● **Натурное**

исследования на реальном объекте с последующей обработкой результатов эксперимента.

● **Полунатурное**

часть системы заменяется моделью, которая стыкуется с реальным оборудованием.



Высокая достоверность получаемых результатов.



Ограничения, накладываемые реальным оборудованием.

Математическое моделирование

● Физическое

использование моделей той же физической природы, что и моделируемый объект, но с более удобными для экспериментирования параметрами: меньшими массой, габаритами и т. п. Основано на свойствах подобия.



Относительная простота изготовления модели.



Стоимость, сложности повторения экспериментов и анализа результатов.

Математическое моделирование

● Математическое

Получение абстрактного образа объекта - математической модели - и оперирование с ней.





Математическое моделирование и математические модели

Математическое моделирование

- При **математическом моделировании (ММ)** описание системы производится в терминах некоторой математической теории, например, теории матриц, теории дифференциальных уравнений и т.д.
- ММ основано на ограниченности числа фундаментальных законов природы и **принципе подобия**, означающем, что явления различной физической природы могут описываться одинаковыми математическими закономерностями.
- В зависимости от формы представления математические модели можно разделить на **аналитические, структурные и алгоритмические**.

Математические модели

● Аналитические

отображение взаимосвязей между переменными объекта в виде дифференциальных, алгебраических или любых других систем математических уравнений.

● Структурные

система в виде совокупности элементов, а также совокупности необходимых и достаточных отношений между этими элементами и связей между системой и окружающей средой.

● Алгоритмические

воспроизводят пошаговый процесс численного решения уравнений, представляющих математическую модель объекта, и реализуются в форме программ для ЭВМ.

С их помощью могут быть воспроизведены любые другие математические модели.

Математические модели

- Обычно требуется структурирование математических моделей на несколько **иерархических уровней**, отличающихся детальностью описания технического объекта.
- В зависимости от места в иерархии описания модели относят к **микро-, макро- и метаяровням**

ММ на микроуровне

- Отражение физических процессов, протекающих в **непрерывном** пространстве и времени.

Пример: дифференциальные уравнения в частных производных.

- + Рассчитываются поля механических напряжений и деформаций, электрические потенциалы и напряжения, давления и температуры и т.п.
- Анализ процессов в многокомпонентных средах, сборочных единицах, электронных схемах не проводится из-за чрезмерного роста затрат машинного времени и памяти.

ММ на макроуровне

- Укрупненная дискретизация по функциональному признаку в **непрерывном** времени, но **дискретном** пространстве.

Пример: обыкновенные дифференциальные уравнения.

- + Пригодны для анализа как динамических, так и установившихся состояний объектов. Порядок системы уравнений зависит от числа элементов объекта.
- Если порядок системы приближается к 10000, то оперирование моделью становится затруднительным и необходимо переходить к представлениям на метауровне.

ММ на метауровне

- В качестве элементов принимают достаточно сложные совокупности деталей.
- Характеризуется большим разнообразием типов используемых моделей (факторные, функциональные, эквивалентные). Для многих объектов по-прежнему используются системы обыкновенных дифференциальных уравнений.
- Пригодны для моделирования работы локальных и глобальных вычислительных сетей, энергосистем, транспортных систем и т.д.



Классификация методов ММ применительно к этапу построения модели

Классический подход

- Основывается на раскрытии явлений, происходящих **внутри** системы.
- Построение модели начинается с использования основных физических законов (Ньютона, Максвелла, Кирхгофа, сохранения энергии и т.д.) для описания объекта, являющегося, например, механическим или электрическим.
- Из этих законов следуют различные соотношения между рассматриваемыми переменными и связывающие их уравнения.

Кибернетический подход

- Основывается на рассмотрении системы как некоторого объекта, у которого доступными для наблюдения являются только **входные и выходные переменные**.
- Сводит изучение системы к наблюдению ее реакций при известных входных воздействиях. Модель строится как описание преобразователя вектора входных переменных в вектор выходных .
- Игнорирует физический смысл и внутреннюю структуру объекта.

Метод идентификации «Серый ящик»

- Построение по входным и выходным сигналам изучаемой системы эквивалентной ей системы из заданного класса.
- Предполагает использование как априорной информации, так и обработку данных измерений, полученных в результате экспериментов с системой.

Этапы идентификации

- **Структурная идентификация**

определении структуры математической модели на основе теоретических соображений;

- **Параметрическая идентификация**

проведение идентифицирующего эксперимента и определение оценок параметров модели по экспериментальным данным;

- **Проверка адекватности**

проверка качества модели в смысле выбранного критерия близости выходов модели и объекта.



Классификация методов ММ применительно к этапу исследования модели

Аналитическое моделирование

- Процессы записываются в виде **функциональных соотношений** (алгебраических, интегро-дифференциальных и т.д.) или логических условий.
- Пригодные для практики аналитические соотношения удается получить лишь **при упрощающих предположениях**, обычно существенно искажающих картину.



- При исследовании сложных систем наиболее эффективными являются методы **имитационного моделирования**.

Имитационное моделирование

- Реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.

Признаки имитационной модели:

- сохранение и четкое выделение *структуры* моделируемого объекта, *связей* между компонентами, способа передачи информации.
- иллюстрация поведения модели с помощью принятых в данной прикладной области *графических образов*.

Имитационное моделирование



возможность решения более сложных задач ;



гибкость варьирования структуры, алгоритмов и параметров моделируемой системы;



возможность включать в процедуру моделирования результаты натуральных испытаний реальной системы или ее частей.

Имитационное моделирование



Решение всегда носит **частный характер**, т.к. оно соответствует фиксированным элементам структуры, алгоритмам поведения и значениям параметров системы, начальных условий и воздействий внешней среды. Необходимо **многократно воспроизводить** имитационный эксперимент, варьируя исходные данные.

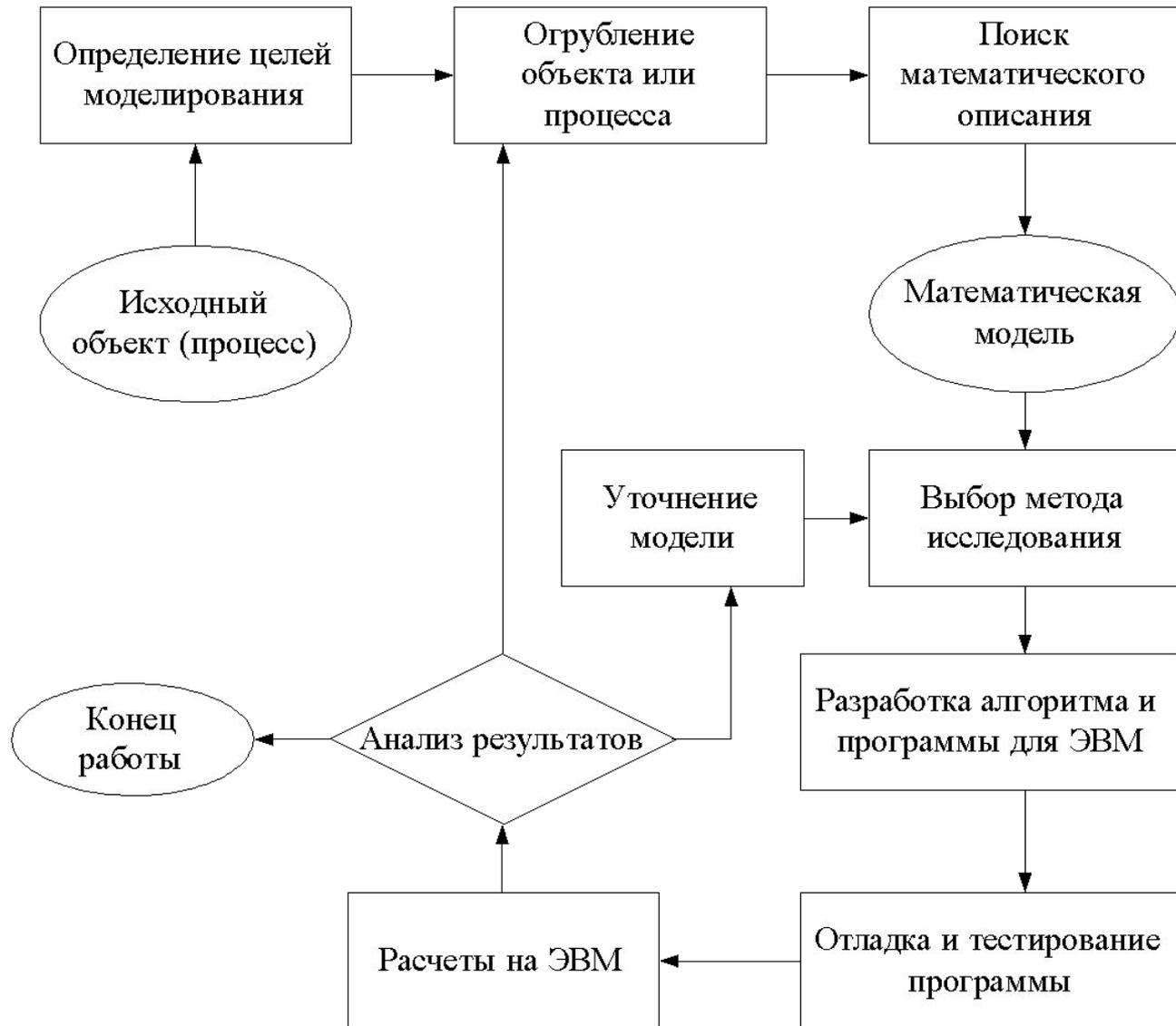


Издержки, связанные с имитационным моделированием, всегда много **выше**, чем при аналитических исследованиях, и часто выше, чем при физическом моделировании.

Критерии целесообразности применения имитационного моделирования

- отсутствие законченной математической постановки задачи;
- не разработанность, чрезмерная сложность и трудоемкость методов аналитического решения;
- слабая подготовка персонала;
- необходимость проведения очень большого количества вычислений;
- необходимость в существенном «сжатии» исследования по времени.

Этапы имитационного моделирования





Характеристики математической МОДЕЛИ

Характеристики математической модели

- Математическая модель всегда отражает только **часть свойств** реального объекта, определяемую **целями** моделирования.
- Искусство моделирования состоит в умении **выбрать факторы, существенные** с точки зрения цели моделирования, и **пренебречь эффектами**, которые, усложняя математическую модель, **не оказывают заметного влияния** на поведение системы.

Адекватность

- Модель **адекватна** оригиналу, если она верно отражает интересующие свойства оригинала и может быть использована для предсказания его поведения.
- Адекватность модели зависит от целей моделирования и принятых критериев.

Адекватность

Степень соответствия моделей оригиналу:

- с точки зрения корректности связи «ВХОД-ВЫХОД» (**адекватность**);
- с точки зрения корректности декомпозиции модельного описания применительно к целям исследования и использования моделей (**аутентичность**).

Оценка адекватности

Способ I (если есть возможность сравнить модель и объект)

Модель считается **адекватной**, если отражает исследуемые свойства с приемлемой **точностью**, где под точностью модели понимается **количественный показатель**, характеризующий степень различия модели и изучаемого явления.

Погрешность модели ε по всей совокупности m учитываемых выходных переменных

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^m k_i^2 \varepsilon_i^2},$$

где ε_i – относительная погрешность модели по i -й выходной переменной, k_i - вес i -й переменной.

Оценка является векторной и взвешенной.

Оценка адекватности

Способ 2 (если нет возможности сравнить модель и объект)

Перманентная процедура, основанная на использовании верификационного подхода:

- модель ведет себя как реальная система;
- полученные выводы справедливы и корректны.

Используются разные **приемы**:

- проверка физического смысла (соблюдение физических законов);
- проверка размерности и знаков;
- проверка пределов;
- проверка тренда, т.е. тенденции изменения выходных переменных в зависимости от внутренних и внешних переменных и т.п.

Экономичность

Определяется двумя основными факторами:

- затратами машинного времени на прогон модели;
- затратами оперативной памяти, необходимой для размещения модели (особенно актуально для систем реального времени).

Универсальность

- Определяется областью возможных применений моделей.
- Обычно достигается за счет включения в модель большого числа внутренних параметров (что отрицательно влияет на экономичность).

Устойчивость

- Способность модели сохранять адекватность при исследовании системы **на всем возможном диапазоне** рабочей нагрузки, а также при внесении изменений в конфигурацию системы.
- Универсальной процедуры проверки не существует.
- Часто проверка состоит в сравнении результатов моделирования и измерения на системе после внесения изменений.
Если результаты моделирования приемлемы, уверенность в устойчивости возрастает.

Чувствительность

- Способность модели **отражать изменение входных воздействий** или параметров модели (в некотором заданном диапазоне) **на значениях выходных переменных**.
- Оценку проводят по каждому параметру модели отдельно при условии, что диапазон возможных изменений параметра известен.

Основные требования к модели

- Модель не должна быть более точной, чем это необходимо для конкретной поставленной задачи исследования.
- Модель должна быть простой, удобной для исследования и достаточно чувствительной к исследуемым свойствам объекта-оригинала.

Подборка онлайн-ресурсов по дисциплине

1) Онлайн-курс «Моделирование систем»

2) Подборка видео о моделировании в Simscape

Physical Modeling Tutorial: Introduction to Simscape

<https://www.youtube.com/watch?v=liIKeYxa00I&list=PLn8PRpmsu08qZutTT-7dRthkAnFuQjCOV>

3) Подборка видео о моделировании в Simulink

Getting Started with Simulink

<https://www.youtube.com/watch?v=iOmqqgewj5XI&list=PLHLiZIXiPuAmNitephT4R5IEwttnscQZc>



Спасибо за внимание!