



*«Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

Факультет: Информатика и системы управления

Кафедра: ИУ7

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Студент группы ИУ7-73,

Александр Степанов

Преподаватель:

Игорь Владимирович Рудаков

2020 г.

Содержание

1	Описание курса	3
1.1	Лабораторные	3
1.2	Литература	3
2	Философские основы моделирования	4
3	Виды моделирования	6
3.1	По признаку характера изучаемых процессов	6
3.2	Виды имитационного моделирования	8
4	Технические средства моделирования	10
4.1	Цифровая вычислительная техника	10
4.2	Аналоговая вычислительная техника	10
4.3	Гибридная вычислительная техника	11
4.3.1	Подклассы АВМ	11
5	Основные понятия теории моделирования	13
6	Типовые математические схемы	16
7	Последовательность разработки и компьютерной реализации моделей системы	19
7.1	Основные требования представления модели	19
7.2	Основные этапы моделирования больших систем	20
7.2.1	Построение концептуальной или описательной модели системы и ее формализация	20
7.2.2	Алгоритмизация модели и компьютерная реализация	20
7.2.3	Получение и интерпретация результатов	21

7.2.4	Калибровка модели	22
7.3	Схема взаимодействия технологических этапов моделирования . . .	23

§1 Описание курса

1.1 Лабораторные

- 511л чт с 13:50
- вт 13:50 243л
- чт 12:00 237л
- все дни, кроме среды с 9:30, лучше утром

Отчет должен включать:

- титульный лист
- текст задания
- теоретические знания (как решал проблему)

1.2 Литература

- Градов, Рудаков «Компьютерное моделирование, учебное пособие»
- Советов, Яковлев «Моделирование систем», Последнее издание
- Шрайдер «Моделирование на GPSS»

§2 Философские основы моделирования

Методологическая основа моделирования – теоретический метод познания и научного исследования. Все то, на что направлена человеческая деятельность называется **объектом**. Научно-техническое развитие в любой области обычно идет по следующему пути:

1. наблюдение и эксперимент;
2. теоретическое исследование;
3. организация производственных процессов.

В научных исследованиях большую роль играют **гипотезы**, то есть определенные предсказания, основывающиеся на небольшом количестве опытных данных, наблюдениях, догадках. Быстрая и полная проверка выдвигаемых гипотез может быть проведена в ходе специально поставленного эксперимента. При формировании и проверке правильности гипотез большое значение в качестве метода суждения имеет **аналогия**, под которой будем понимать суждения о каком-либо частном сходстве двух объектов. Современная научная гипотеза создается как правило по аналогии с проверенными на практике положениями. То есть аналогия связывают гипотезу с экспериментом.

Гипотезы и аналогии, отражающие реальный, объективно существующий мир, должны обладать **наглядностью** или сводиться к удобным для исследования логическим схемам. Такие логические схемы, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперимент, уточняющий природу явлений, называются **моделями**. Следовательно, модель – это объект, заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.

Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта модели и называется **моделированием**.

В основе моделирования лежит **теория подобия**. Все модели можно разделить на три группы:

- полное подобие (один в один);

- неполная (без учета некоторых факторов);
- приближенная.

§3 Виды моделирования

3.1 По признаку характера изучаемых процессов



Рис. 1: Виды моделирования

Детерминированное моделирование отражает детерминированные процессы, то есть такие, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий. Стохастические предполагают наличие случайных воздействий.

Статическое моделирование служит для описания объекта в какой-то момент времени. Динамическое отражает поведение объекта во времени.

Дискретное служит для описания процессов, происходящих в дискретные моменты времени, непрерывные – позволяют отражать непрерывные процессы. Дискретно-непрерывное – это наличие как дискретных, так и непрерывных компонентов.

Под математическим моделированием будем понимать процесс установления данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью и исследований этой модели, позволяющих получить реальные характеристики объекта.

Наглядное моделирование, а именно гипотетическое, аналоговое.

Символическое моделирование: языковое, знаковое.

Математическое: аналитическое, имитационное, комбинированное, информационное, структурное, ситуационное.

Для аналитического моделирования характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных

соотношений (алгебраических, интегро-дифференциальных, конечно-разностных) или логических условий. Аналитическая модель может быть исследована тремя способами

1. аналитический – стремление получить в общем виде зависимости от исходных характеристик;
2. численный – нельзя решить уравнение в общем виде получаем решение для каких-то конкретных начальных данных;
3. качественный – нет никакой аналитики.

При имитационном моделировании 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, что позволяет по исходным данным получить сведения о состоянии процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы.

Самое главное преимущество аналитического метода – точность, потому что явно установили зависимость входной характеристики от входной. Имитация используется при невозможности что-либо сделать, создается программная модель.

Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики системы, многочисленные случайные воздействия, что создает значительные трудности при аналитическом моделировании.

Результаты, полученные при имитационном моделировании, являются реализациями случайных величин и функций и, следовательно, нахождение характеристик, происходящих в системе, требует его многократного воспроизведения.

Комбинированное моделирование при анализе систем позволяют объединить достоинства отдельных видов моделирования. Обычно проводят декомпозицию процессов поведения объектов на составляющие подпроцессы и для тех из них, где можно, используем аналитическую модель.

3.2 Виды имитационного моделирования

- **агентное** – для исследования децентрализованной системы, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами, а наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Агент – некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а так же самостоятельно изменяться;
- **дискретно-событийное** – предлагает абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделирования системы, например, ожидание, обслуживание заявки и т.д. Сфера приложения: от логистики до систем массового обслуживания (транспортные, производственные).
- **системная динамика** – парадигма моделирования, где исследуемой системе ставится в соответствие графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе диаграмм модель программируется. Используется в производстве, развитии города или популяции, в бизнес-процессах.

Имитационное моделирование является достаточно эффективным, но имеющим свои недостатки. Трудности использования связаны с обеспечением адекватности модели при описании ее как системы, интерперетации результатов, обеспечением стохастической сходимости, решением проблемы размерности, большая трудоемкость методологически. Часто перед построением имитационной модели, которая является динамической по своей сути, оказывается полезным, а иногда необходимым осуществить статистический анализ, при этом определяются и специфицируются функции, их взаимосвязи, потоки работ и т.д. Для выполнения такого анализа используют кейс-технологии.

Три этапа развития имитационного моделирования по возможностям для пользователя:

- Создание имитационной модели на универсальном ЯП, специализированном или ооп.

- Использование при разработке имитационного моделирования проблемно-ориентированных систем. Эти системы не требуют знания программирования, но позволяют моделировать относительно узкий класс задач. Имитационная система генерируется автоматически, тем самым позволяя быстрее создать имитационную модель.
- Использование методов искусственного интеллекта. Создание интуитивно понятного интеллектуального интерфейса.

§4 Технические средства моделирования

Использование

- Используются как средства расчета по полученным моделям
- Используются как средства имитационного моделирования

Средства

4.1 Цифровая вычислительная техника

Центральный процессор – выполнение арифметико-логических операций и дешифрация и обработка команд.

Память – электро-механическое устройство, предназначенное для записи, хранения и выдачи информации.

4.2 Аналоговая вычислительная техника

В отличие от дискретной, в основе аналоговой вычислительной техники заложен принцип моделирования при использовании в качестве моделей электронных цепей, каждой переменной величине задачи ставится соответствие переменная величина электронной цепи. При этом основой построения такой модели является изоморфизм (подобие исследуемой задачи и соответствующей ей электронной модели). В большинстве случаев при определении критериев подобия используются специальные приемы **масштабирования** соответствующих значений параметра модели и переменных задач. АВМ реулизует модели изоморфную исследуемой заадчи. Согласно своим вычислительным возможностям АВМ, приспособленное для исследования объектов, динамика которых описывается обыкновенными и в частных производных дифференциальными уравнениями.

Под АВМ будем понимать совокупность электрических элементов, организованных в систему, позволяющую изоморфно моделировать динамику изучаемого объекта, Функциональные блоки АВМ должны реализовывать весь комплекс арифметико-логических операций.

АВМ делятся по мощности:

- малые ($n < 10$)
- средние ($10 \leq n \leq 20$)
- большие аналоговые комплексы ($n \geq 20$)

4.3 Гибридная вычислительная техника

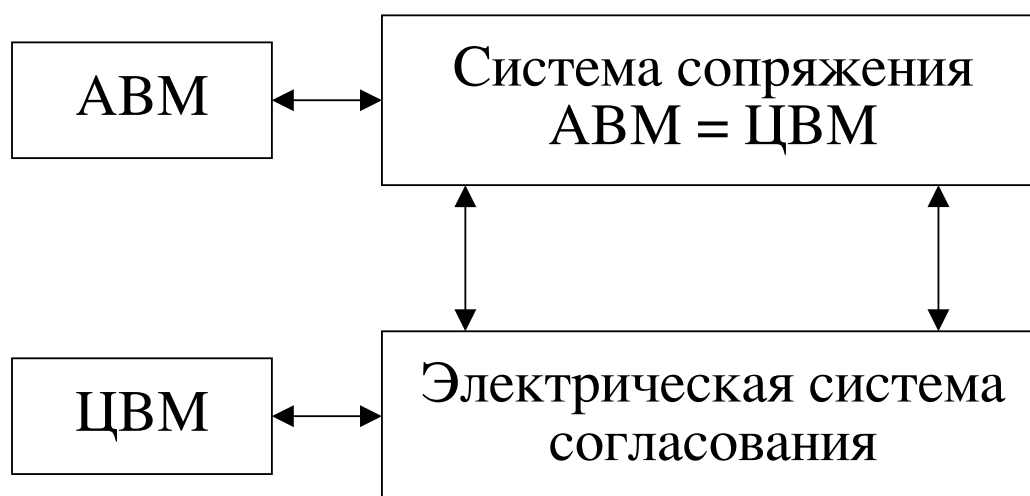


Рис. 2: Гибридная ВМ

В общем случае под гибридной ВМ понимается широкий класс технических устройств, использующих как аналоговую, так и дискретную форму представления и обработки информации.

4.3.1 Подклассы АВМ

1. АВМ, использующие численные методы анализа.
2. АВМ, программируемые с помощью ЦВМ.
3. АВМ с цифровым управлением и логикой.
4. АВМ с цифровыми элементами.

5. ЦВМ с аналоговыми арифметическими устройствами.
6. ЦВМ, допускающее программирование аналогового типа.

§5 Основные понятия теории моделирования

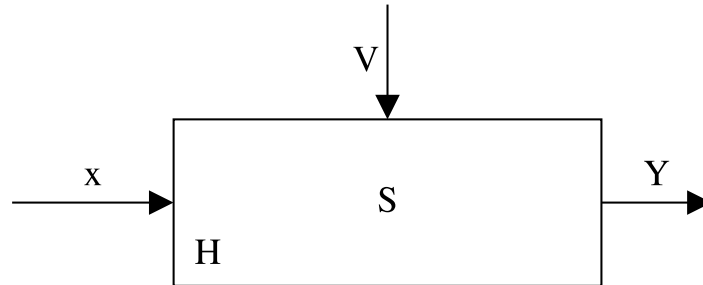


Рис. 3: Модель объекта

Модель объекта можно представить в виде множества величин, описывающих функционирование реальной системы и образующих в лучшем случае следующие подмножества:

1. Совокупность входных воздействий на систему $x_i \in X, i = \overline{1, n_X}$
2. Совокупность воздействия внешней среды $v_l \in V, l = \overline{1, n_V}$
3. Совокупность внутренних собственных параметров системы $h_k \in H, k = \overline{1, n_H}$
4. Совокупность выходных характеристик системы $y_j \in Y, j = \overline{1, n_Y}$

В общем случае они являются элементами непересекающихся подмножеств и содержат в себе как детерминированные, так и стохастические составляющие. При анализе функционирования системы S входные воздействия, воздействия внешней среды и внутренние параметры являются независимыми (экзогенными). Которые имеют следующий вид

$$\vec{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_{n_X}(t))$$

$$\vec{v}(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_{n_V}(t))$$

$$\vec{h}(t) = (h_1(t), h_2(t), \dots, h_{n_H}(t))$$

А выходные характеристики являются зависимыми (эндогенными)

$$\vec{y}(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_{n_Y}(t))$$

Процесс функционирования системы S описывается во времени некоторым оператором, который преобразует независимые переменные в зависимые в соответствии с соотношением

$$\vec{y}(t) = F_S(\vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t)$$

Эта зависимость называется **законом функционирования системы**. В общем случае он может быть задан в виде функции, функционала, логрических условий, в алгоритмическом или табличном видах и т.д.

Очень важным являясь понятие **алгоритма функционирования системы** (A_S). Под **алгоритмом** будем подразумевать метод получения выходных характеристик с учетом входных воздействий, воздействий внешней среды и соответствующих параметров системы. Закон функционирования может быть получен и через свойства системы. В конкретные моменты времени называемыми **состояниями**.

$$\vec{z}(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_{n_z}(t))$$

Если рассматривать как последовательную смену состояний, то они могут быть интерпретированы как координаты точки в k -мерном пространстве. Причем каждой реализации процесса будет соответствовать некоторая фазовая траектория. Совокупность всех состояний системы на интервале от 0 до t называется **пространством состояний**.

Состояние системы в некоторый момент $t_v \leq t \leq t_V$ полностью определяется некоторыми начальными условиями, входными воздействиями, внутренними параметрами, воздействиями внешней среды с помощью следующих уравнений

$$\begin{cases} \vec{z}(t) = \Phi(\vec{z}^0, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t) \\ \vec{y}(t) = F(\vec{z}, t) \end{cases}$$

$$\vec{y}(t) = F(\Phi(\vec{z}^o, \vec{x}, \vec{v}, \vec{h}, t), t)$$

Следовательно, под математической моделью реальной системы понимаем конечное множество переменных вместе с математическими связями между ними и характеристиками выходными.

§6 Типовые математические схемы

В практике моделирования на первоначальных этапах формализации объекта используют так называемые **типовые математические схемы**, к которым относят такие хорошо разработанные математические объекты, как дифференциальные уравнения, конечные и вероятностные автоматы, системы массового обслуживания и т.д.

Таблица 1: Типовые математические схемы

№	Процесс функционирования системы	Типовая математическая схема	Обозначение
1	Непрерывно-детерминированный подход	Дифф. ур-ния	D
2	Дискретно-детерминированный подход	Конечные автоматы	F
3	Дискретно-стахостический подход	Вероятностный автомат	P
4	Непрерывно-стахостический процесс	Система массового обслуживания	Q
5	Обобщенный (универсальный) процесс	Агрегативные системы	A

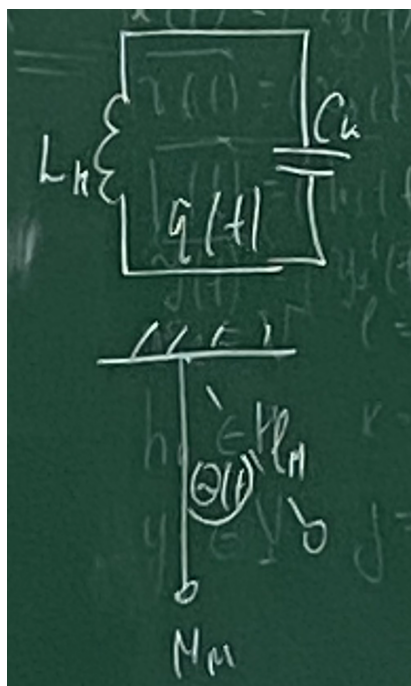


Рис. 4: Пример

Колебательный контур можно описать

$$L_k \frac{d^2 q(t)}{dt^2} + \frac{q(t)}{C_k} = 0$$

Маятник

$$m_m l_m^2 \frac{d^2 \Theta(t)}{dt^2} + m_m g l_m \Theta(t) = 0$$

$$h_2 \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + h_1 \frac{dz(t)}{dt} + h_0 z(t) = 0$$

В теории систем имеются базовые понятия:

- **Система** – множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.
- **Элемент** – часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать дальнейшему членению.
- **Сложная система** – система, характеризуемая большим числом элементов и что наиболее важно большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется так же видом взаимосвязей, свойствами, целенаправленности, целостностью, членимостью и иерархичностью, многоаспектностью.
- **Подсистема** – часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.
- **Надсистема** – система, по отношению к которой, рассматриваемая является подсистемой.
- **Структура** – отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей. Отличается от понятия самой системы тем, что при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.
- **Параметр** – величина, выражающая свойства или системы или ее части или влияющей на систему среды.

- **Целенаправленность** – свойство искусственной системы, выражающее назначение системы, необходимой для оценки эффективности вариантов системы.
- **Целостность** – свойство системы, характеризующая взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных параметров от параметров элементов, при чем большинство выходных параметров не являются простым повторением или суммой параметров элементов.
- **Иерархичность** – важнейшее свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, то есть представление ее в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеется отношение, целая часть.

2 четко различимые задачи:

- modeling – создание моделей
- simulating – анализ свойств систем на основе исследования модели

§7 Последовательность разработки и компьютерной реализации моделей системы

Самостоятельно изучить команду дисперсионного анализа в GPRSS.

Сущность компьютерного моделирования состоит в проведении эксперимента с моделью, которая представляет собой программный комплекс, описывающий формально или алгоритмически поведение элементов системы в процессе функционирования системы (взаимодействие всех элементов друг с другом и внешней средой).

Самостоятельно блок-тест GPRSS (все возможные режимы).

7.1 Основные требования представления модели

1. Полнота модели должна предоставлять пользователю возможность получения необходимого набора характеристик, оценок системы, с требуемой точностью и достоверностью.
2. Гибкость модели должна давать возможность воспроизводить различные ситуации при варьировании структуры, алгоритмов и параметров модели, причем структура должна быть блочной, то есть допускать возможность замены, добавления, исключения некоторых частей без переделывания всей системы.
3. Компьютерная реализация модели должна соответствовать имеющимся техническим ресурсам (память, быстродействие, базы данных и т.д.)

Процесс моделирования включает разработку и компьютерную реализацию модели является итерационным. Этот итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не будет получена некоторая модель, которую можно считать адекватной в рамках решения поставленной задачи.

7.2 Основные этапы моделирования больших систем

7.2.1 Построение концептуальной или описательной модели системы и ее формализация

Формулируется модель и строится ее **формальная** схема. То есть основным содержанием этого этапа является переход от содержательного описания объекта к его математической модели. Данный этап является наименее формализованным. Исходный материал для данного этапа: содержательное описание объекта.

Последовательность действий

1. Проведение границы между системой и внешней средой
2. Исследование моделируемого объекта с точки зрения выделения основных составляющих процессов функционирования системы (по отношению к цели моделирования).
3. Переход от содержательного описания системы к формализованному описанию свойств процессов функционирования, то есть собственно функциональной модели.
4. Составленные модели системы группируются: блоки первой группы представляют собой имитатор воздействия внешней среды, блоки второй группы собственно модель функционирования системы, блоки третьей являются вспомогательными (интерпретация результатов моделирования)
5. Процесс функционирования системы так разбивается на подпроцессы, чтобы построение отдельных процессов было элементарно и не вызывало особых трудностей (свели задачу к типовой математической схеме).

7.2.2 Алгоритмизация модели и компьютерная реализация

На втором этапе математическая модель, сформулированная на первом этапе, перемещается в компьютер.

Исходный материал: блочная логическая схема модели.

Последовательность действий

1. Разработка схемы моделирующего алгоритма.
2. Разработка схемы программы
3. Выбор технических средств для реализации компьютерной модели.
4. Программирование.
5. Отладка.
6. Проверка достоверности программы на тестовых примерах.
7. Составление технической документации по второму этапу (логическая схема программы, текст, спецификация, затрачиваемые ресурсы).

7.2.3 Получение и интерпретация результатов

Проводят рабочие расчеты по готовой программе, именно результаты этих расчетов позволят сделать вывод о характеристиках функционирования сложной системы.

Последовательность действий

1. Планирования компьютерного эксперимента с моделью (активный, пассивный). Составление плана проведения эксперимента с указанием комбинаций переменных, для которых проводится анализ функционирования. Главная задача здесь, дать максимальный объем информации при минимальных затратах вычислительных ресурсов.
2. Проведение рабочих расчетов (контрольная калибровка модели).
3. Обработка (статистическая) результатов, расчетов.
4. Интерпретация результатов моделирования.
5. Составление технической документации.

Самостоятельно разобрать понятия тактического, стратегического планирования эксперимента. Существенных факторов.

7.2.4 Калибровка модели

1. Получить
2. Сравнить с фактическим
3. Смотрим допустима ошибка или нет (от параметрической до полного изменения структуры модели)

3 класса ошибок при калибровке

1. Ошибки формализации (все заново)
2. Ошибка решения (слишком упрощенный алгоритм, переходим к более точным методам)
3. Ошибки параметров модели (варьируем до рабочей области)

Проверка адекватности и корректировка модели Проверка адекватности заключается в анализе ее соразмерности и развозначности системы, Адекватность нарушается из-за идеализации внешних условий и режима функционирования, пренебрежение некоторыми случайными факторами.

Простейшая мера адекватности – отклонение некоторой характеристики оригинала от модели. Считается что модель адекватна с ситемой, если вероятность того, чтоотклонение характеристики не превышает некоторой величины больше допустимой вероятности.

Фактическое использование одного критерия невозможно

1. Нет информации о характеристике
2. Система оценивается не по одной, а по множеству выходных характеристик.
3. Характеристики могут быть случайными
4. Очень сложно задать допустимое отклонение

Выделяют следующие типы изменений

- Глобальные – в случае обнаружения методических ошибок
- Локальные – уточнение некоторых параметров и алгоритмов
- Параметрические изменения

Завершается этот этап определением области пригодности модели, под которой понимается множество условий, при соблюдении которых точность результата находится в допустимых пределах.

7.3 Схема взаимодействия технологических этапов моделирования

В схеме две ошибки, нюансы