# Моделирование

Лектор: Рудаков Игорь Владимирович

Литература:

1. Голенков И.П. «Автоматизированные информационные системы», 2011, МГТУ
2. Емельянов и др. «Информационное моделирование», МГТУ
3. Бусленко «Моделирование сложных систем» (последн. редакция)
4. Яковлев …
5. Советов, Яковлев «Моделирование систем»
6. Шрайбер «Моделирование на JPSS»
7. Марков «моделирование информационно-вычислительных процессов»
8. Методички Рудакова и Курова
9. Наренков, Федорук «Моделирование сложных дискретных систем на базе…» (методичка)

Два преимущества моделирования:

1. дешевизна
2. фантастика

☺

3.09.13. Лекция 2.

#### Философские аспекты моделирования.

**Методологическая основа моделирования** – это диалектический метод познания (придумал Гегель).

Все то, на что направлена человеческая деятельность называется **объектом**.

Выработка методологии направлена на упорядочивание, получение и обработку информации об объекте, которые существуют вне нашего сознания и взаимодействуют между собой и внешней средой.

Путь научно-технического развития:

Наблюдение и эксперимент – теоретическое исследование – орг-я производственных процессов.

В научных исследованиях большую роль играет понятие ***гипотеза***, т.е. 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 гипотезы большое значение в качестве метода суждения имеет ***аналогия***.

>> Методика - совокупность методов.

**Аналогией** называется суждение о каком-либо частном сходстве двух объектов. Причем такое сходство может быть существенным или несущественным.

*Существенные* сходства (различия) условны и относительны - зависит от уровня абстрагирования и в общем случае определяется конечной целью проводимого исследования.

Современная научная гипотеза создается, как правило, по аналогии с проведенными на практике положениями.

Аналогию и гипотезу связывает эксперимент.

*Гипотезы и аналогии, отражающие реальный объективно существующий мир, должны обладать наглядностью или сводиться к удобным для исследования логическим схемам, упрощающим рассуждения и логические построения, или позволяющим проводить эксперименты, уточняющие природу явления, называются* ***моделями****.*

*Т.е.* ***модель*** *- это объект-заместитель объекта оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.*

*Замещение одного объекта другим с целью получения информации по важнейшим свойствам объекта оригинала с помощью объекта-модели называется* ***моделированием****.*

*Гносеологическая роль теории моделирования, т.е. её значение в теории познания, заключается в том, что изучение моделей, выступает в роли относительно самостоятельного квазиобъекта, позволяет получить при исследовании некоторые данные о самом объекте.*

>> Данные отображают характеристики, свойства объекта

Причем по отношении к моделям исследователь является экспериментатором, только эксперимент проводится не с объектом, а с моделью.

Любой эксперимент может иметь существенное значение в конкретной области науки и техники, только при его специальной обработке и обращении.

Единичный эксперимент не может быть решающим для подтверждения гипотезы или теории.

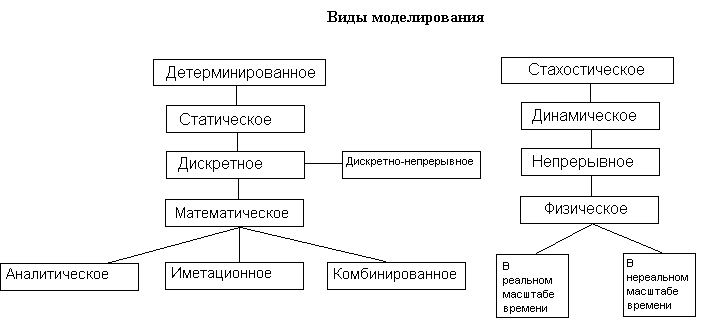
В основе моделирования лежит теория подобия, которая утверждает, что абсолютное подобие имеет место только при замене одного объекта другим точно таким же.

Подобия:

1. Полное
2. Неполное
   1. Дискретное
   2. Дискретно-непрерывное
   3. Непрерывное
3. Приближенное

#### Классификация видов моделирования.

Будем давать классификации в зависимости от характера изучаемых процессов в системе



***Детерминированное моделирование*** отображает детерминированные процессы, т.е. такие процессы в которых отсутствуют всякие случайные величины и даже случайные процессы.

***Стохастическое моделирование*** - отображают вероятностные процессы и события.

***Статическое моделирование*** служит для описаний поведения объекта в какой-либо момент времени.

***Динамическое моделирование*** отражает поведение объекта во времени.

***Дискретное моделирование*** служит для отображения объекта в определенные моменты времени.

***Непрерывное моделирование*** позволяет отображать непрерывный процесс в системе.

Под ***математическим моделированием*** будем понимать процесс установления данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого *математической моделью*, и исследование этой модели позволяет получить характеристики реального объекта.

Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так от целей моделирования. Любая математическая модель, как и всякая другая, описывает реальный объект лишь с определенной степенью приближения.

>>В аналитике главное, что мы можем описать модель формулами.

**Аналитическое моделирование** – математическая формализация, изменение свойств объекта во времени.

Для аналитического моделирования характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраические, интегро-дифференцированные, конечно разностные) и логических условий.

Аналитическая модель может быть исследована 3-мя способами:

1. аналитическим способом – стремятся получить в общем виде зависимость от исходных характеристик;
2. численным способом – когда нельзя решить в общем виде, то получаем результаты для конкретных начальных данных;
3. качественный способ – не имея решения управления в общем виде, мы можем найти некоторые свойства решения;

>> Имитационное моделирование хуже аналитического. Последнее – самое лучшее.

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

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 и её элементов, многочисленные случайные воздействия.

Когда результаты, получаются при воспроизведении на имитационной модели процесса функционирования системы, являются реализациями случайных величин и функций, тогда для нахождения характеристик процесса, требуется его многократное воспроизведение с последующей статической обработкой.

**Комбинированное** моделирование при анализе системы позволяет определить достоинства его компонентов. Обычно проводят декомпозицию процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы.

>> Чем больше аналитики, тем ближе результат.

#### Технические средства ЭВМ.

Это ЭВМ, которые мы используем при моделировании, т.е. компьютер, да и вообще любые вычислительные устройства.

Принципиально можно выделить 2 типа: цифровые и аналоговые. **Цифровая** техника является дискретной. Основной принцип – быстродействие (не догнать реальное время) слишком сложен механизм.

*>>*

*Процессор может выполнять:*

1. *АЛУ*
2. *Управление*

*Только сложение и сдвиг*

*У ОП быстродействие должно быть сопоставимо с ЦП.*

*<<*

Аналоговая быстрее цифры. Скорость аналоговых ограничивается скоростью передвижения электрона в цепи.

Недостаток: низкая точность, т.к. всё представляется сигналами.

У цифровой недостаток: медленная.

При моделировании компьютера являются наиболее конструктивным способом для решения большинства инженерных задач 2 основные пути использования:

1. Как средство расчета по полученным аналитическим моделям.
2. Как средство имитационного моделирования.

(!) Вспомнить про цифровые компьютеры.

В отличие от дискретной техники в аналоговых компьютерах заложен принцип моделирования, а не счета. В качестве модели определенной задачи используются электронные цепи. В каждой переменной величине задачи ставится в соответствие переменная величина электронной цепи. При этом основа построения такой модели является *изоморфизм* (подобие) исследуемой задачи и соответствующей ей электронной модели. В большинстве случаев при определении критерия подобия используются специальные приемы масштабирования, соответствующих значений параметров модели и переменных задач. Согласно своим вычислительным возможностям аналоговые машины наиболее приспособлены для исследования объектов, динамика которых описывается обыкновенными и частными производными в ОДУ и алгебраических уравнениях. => АВМ можно отнести к специальным машинам.

Под АВМ (аналоговые ВМ) 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 (степень дифференциальных уравнений):

* малые (n < 10),
* средние (10 ≤ n ≤ 20),
* большие аналоговые комплексы (n > 20)

Пульт управления

Система

масштабирования

Система

управления

Система

коммутации

Операционные блоки

Линейные

Нелинейные

Система управления

(контроля)

Блок операционных

усилителей

Под гибридной ВМ будем понимать широкий класс вычислительных систем, использующие как аналоговую, так и дискретную формы представления и обработки информации.

Подклассы гибридных ВМ:

1. АВМ, использующие цифровые методы численного анализа
2. АВМ, программируемые с помощью ЦВМ (цифровой).
3. АВМ с цифровым управлением и логикой
4. АВМ с цифровыми элементами (например, память, цифровые вольтметры и прочие ВМ)
5. ЦВМ с аналоговыми арифметическими устройствами



1. ЦВМ, допускающие программирование аналогового типа (программировать можем дифференциальные анализаторы)

Гибридная ВМ:



Применение гибридной вычислительной техники:

1. моделирование дискретных систем и случайных процессов;
2. решение задач оптимизации
3. исследование в области управления подвижными объектами
4. моделирование системы "человек - компьютер"

Сравнительная характеристика аналоговой и цифровой техники:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип информации | Непрерывный | Дискретный |
| Изменение значений | Величиной напряжения | Числовым значением |
| Базовые операции | Арифметические операции и интегрирование | Арифметические операции |
| Принцип вычисления | Высокопараллельный | Последовательно-параллельный |
| Режим реального времени | Без ограничений | Ограничен |
| Динамическое изменение решаемой задачи | Посредством системы коммутации | В диалоговом режиме |
| Требования к пользователю | Профессиональные знания, методика моделирования | Знание основ ПО ЭВМ |
| Уровень формализации задачи | Ограничен моделью решаемой задачи | Высокий |
| Способность к решению логических задач | Ограничена | Высокая |
| Точность вычисления | Ограничена (10-4) | Ограничена разрядностью (10-40) |
| Диапазон представления чисел | 1 … 10-4 | Зависит от разрядности |
| Класс решаемых задач | Алгебраические и дифф. уравнения. | Любые |
| Специальные функции | Ограниченный набор | Неограниченный набор |
| Уровень миниатюризации | Ограничен | Высокий |
| Сфера применения | Ограничена | Практически любая |
| Пользовательский интерфейс | Низкий уровень | Высочайший уровень |

#### Основные понятия теории моделирования.

Пусть задана сложная дискретная система S.

### S

**V**

**Y**

**X**

**As**

Модель объекта моделирования можно представить в виде множества величин, определяющих процесс функционирования реальной системы S и образующие в общем случае следующие подмножества:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | Множество входных параметров |
|  |  | Множество внутренних параметров |
|  |  | Внешнее воздействие |
|  |  | Множество выходных параметров |

В общем случае эти переменные (,,) являются элементами непересекающихся подмножеств и содержат как детерминированные, так и стохастические составляющие.

При моделировании функционирования сложной системы S, входные воздействия Х, воздействия внешней среды М и внутренние параметры системы являются независимыми (экзогенными) характеристиками (или переменными), которые в векторной форме имеют следующий вид:







А выходные характеристики системы являются зависимыми (эндогенными) переменными и в векторной форме имеют следующий вид:



Процесс функционирования системы S описывается по времени некоторым оператором Fs, который в общем случае преобразует независимые переменные в соответствии со следующим соотношением:

 (1)

Эта зависимость (1) называется **законом функционирования сложной** системы S. В общем случае он может быть задан в виде функции, функционала, логических условий, в алгоритмическом или табличном виде и т.д. Весьма важным является понятие алгоритма функционирования системы, под которым подразумевается метод получения выходных характеристик ***y(t)*** с учетом входных воздействий ***x(t)***, воздействий внешней среды ***v(t)*** и соответствующих внутренних параметров системы ***h(t)***. Очевидно, что один и тот же закон функционирования ***Fs*** может быть реализован различными способами, т.е. с помощью множества различных алгоритмов функционирования. Соотношение (1) может быть получено и через свойства системы в конкретные моменты времени, называемыми состояниями, которые характеризуют вектор состояний:

**



Если рассматривать процесс функционирования системы как последовательную смену состояний , то они могут быть интерпретированы как координаты точки в k-мерном пространстве (фазовом пространстве), причем каждой реализации процесса будет соответствовать некоторая траектория – совокупность всех возможных состояний . Совокупность всех возможных состояний  называется **пространством состояния объекта**.

Состоянием системы в момент времени t0 ≤ t ≤ T\* полностью определяется начальными условиями , где Z0 – состояние системы в момент времени t0, входными воздействиями, внутренними параметрами и воздействиями внешней среды, которые имели место за промежуток времени (t – t0). Определим их с помощью двух векторных уравнений:





В общем случае время в модели может быть непрерывным в интервале t0 ≤ t ≤ T\*, а может быть и дискретным, т.е. квантованным на отрезке ∆t: T\* = m∆t, где m - число интервалов дискретизации.

#### Типовые математические схемы.

В практике моделирования на первоначальных этапах формализации объектов используют так называемые ***типовые математические схемы***, к которым относят такие хорошо проработанные (разработанные) математические объекты, как дифференциальные алгебраические уравнения, конечные вероятностные автоматы и т.д.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **процесс функционирования**  **системы** | **типовая математическая**  **схема** | **обозначение** |
| Непрерывно-детерминированный подход | стандартные ДУ | D-схема |
| Дискретно-детерминированный подход | конечные автоматы | F-схема |
| Дискретно-стохастический подход | вероятностные автоматы | P-схема |
| Непрерывно-стохастический подход | система массового обслуживания | Q-схема |
| Обобщенные (универсальный) | агрегативная система | A-схема |

Объект или процесс функционирования сводится к конкретному классу задач.

P, Q - схемы относятся к P-net, CP-net

У А - схем основная операция - это декомпозиция.

***Непрерывно-детерминированные модели. ( D-схемы [dinamic])***

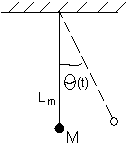
ДУ: 



 - описание процессов в электрическом колебательном контуре на базе ДУ.

q(t) - заряд конденсатора в момент времени t

T =  - период колебаний





 - период





 - внутренние параметры системы

z(t) - состояние системы в момент времени t

Если рассматриваемая система взаимодействует с внешней средой, то появляется входное воздействие x(t) и непрерывно детерминированная система имеет вид:



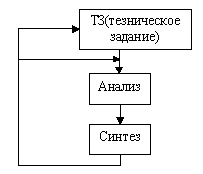
При этом состояние системы S в данном случае можно рассматривать как выходную характеристику, т.е. полагать, что y = z. Следовательно, использование D - схем позволяет формализовать процесс функционирования непрерывно детерминированных систем и оценить их характеристики применяя аналитический или имитационный подход, реализованный в виде соответствующего языка моделирования непрерывных систем или использования аналоговой или гибридных средств вычислительной техники.

#### Формализация и алгоритмизация процесса функционирования сложных систем.

*Сущность компьютерного моделирования сложной системы* состоит в проведении на компьютере эксперимента с моделью, которая в нашем случае представляет собой некоторый программный комплекс, описывающий формально или алгоритмически поведения элементов системы в процессе её функционирования, т.е. в их взаимодействии друг с другом и внешней средой.

Сформулируем *основные требования*, предъявляемые к 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 воспроизведения различных ситуаций при варьировании структуры, алгоритмов и параметров системы. Причем структура должна быть блочной, т.е. допускать возможность замены, добавления, исключение некоторой части без переделки всей модели.
3. ***Компьютерная реализация модели*** должна соответствовать имеющимся техническим ресурсам.



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

#### Основные этапы моделирования больших систем

1. Построение концептуальной (описательной) модели системы и её формализация;
2. Алгоритмизация модели и её машинная реализация;
3. Получение и интерпретация результатов моделирования;

На первом этапе формулируется модель и строится её формальная схема, т.е. основным назначением данного этапа является переход от содержательного описания объекта к его математической модели. Этот этап наиболее ответственный и наименее формализованный.

Последовательность действий:

1. Проведение границы между системой и внешней средой.
2. Исследование моделируемого объекта с точки зрения выделения основных составляющих функционирования системы (по отношению к поставленной цели)

*>>*

*Что является основным критерием выявления основных составляющих функциональной системы? – Цель!*

*>>*

1. Переход от содержательного описания модели к формализованному описанию свойств функционирования модели, т.е. к её **концептуальной модели**. Это сводится к исключению из рассмотрения некоторых второстепенных элементов. Полагают, что они не указывают существенного явления на ход процесса исследуемой модели.
2. Оставшиеся элементы модели группируются в блоки:

* Блоки I-ой группы представляют собой имитатор событий внешних воздействий.
* Блоки II-ой группы являются собственно моделью процесса функционирования.
* Блоки III-ой группы являются вспомогательными и служат для реализации блоков I и II группы. Так же эти блоки обеспечивают корректность ввода данных, приемлимость результатов и т.д.

1. Процесс функционирования системы, так разбивается на подпроцессы, чтобы построение модели подпроцесса было элементарно и не вызывало особых трудностей.

(Должно реализовываться подбором типовых математических схем)

На втором этапе моделирования – этапе алгоритимизации и компьютерной реализации, математическая модель сформированная на первом этапе воплощается в конекретную программную модель.

Исходный материал – блочная логическая схема.

Последовательность действий:

1. Разработка схемы моделирующего алгоритма.
2. Разработка схемы программы.
3. Выбор технических средств для реализации программной модели.
4. Процесс программирования и отладки.
5. Проверка достоверности программы на тестовых примерах.
6. Составление технической документации.

На 3-м этапе (получение и интерпретация результатов) компьютер изспользуются для проведения рабочих расчетов по готовой программе. Результаты этих расчетов позволяют проанализировать и сделать выводы о характеристиках процессов функционрирования исследуемой схемы.

Последовательность действий:

1. Планирование машинного эксперимента с моделью. Составление плана проведения эксперимента с указанием комбинаций, переменных и параметров для которых должен проводится эксперимент.

*Главная задача* – дать максимальный объем информации об объекте моделирования при минимальных затратах машинного времени.

1. Проведение собственных расчетов (контрольная калибровка модели).
2. Статистическая обработка результатов расчетов и представление результатов в наглядной форме.
3. Интерпретация результатов моделирования. Подведение итогов.
4. Составление технической документации.

Различают ***стратегическое*** и ***практическое*** планирование:

* + При стратегическом планировании ставится задача построения оптимального плана эксперимента для достижения данной цели поставленной перед моделированием (оптимизация структуры алгоритмов и параметров системы).
  + Тактическое планирование преследует частные цели оптимальной реализации каждого конкретного эксперимента из множества необходимых заданных при стратегическом планировании.

Схема итеративной калибровки модели.



**Три основных класса ошибок:**

1. Ошибки формализации. Как правило возникают, когда модель недостаточно подробна определена.
2. Ошибки решения. Некорректный или слишком упрощенный метод построения модели.
3. Ошибки задания параметров системы.

Проверка адекватности модели некоторой системы заключается в анализе её соразмерностей, а так же равнозначности системы.

Адекватность часто нарушается из-за идеализации внешних условий и режимов функционирования, пренебрежением некоторых случайных факторов. Простейшей мерой адекватности может служить отклонение некоторой характеристики Y-оригинала от Y-модели (). Считают что модель адекватна с системой, если вероятность того что отклонение  не превышает предельной величины дельта, больше допустимой вероятности.

Однако, фактическое использование данного критерия невозможно, т.к. для проектируемых или модернизируемых систем, отсутствует информация по выходным характеристикам объекта. Система отслеживается не по одной, а по множеству характеристик.

*Замечание:* Характеристики могут быть случайными величинами и функциями.

*Замечание:* Отсутствует возможность априорного точного задания предельных отклонений и допустимых вероятностей.

На практике оценка адекватности обычно проводится путем экспертного анализа. Разумности результатов моделирования.

Виды проверок:

* Проверка моделей элементов
* Проверка моделей внешних воздействий
* Проверка концептуальной модели
* Проверка формализованной и математической модели
* Проверка способов измерения и вычисления выходных характеристик.
* Проверка программной модели

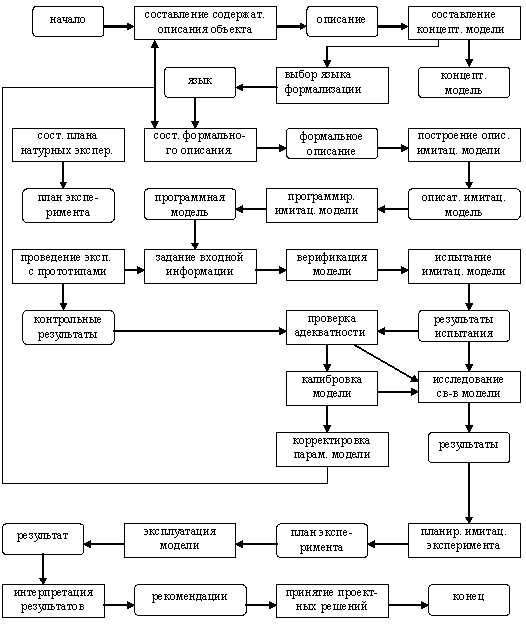
Если по результатам проверки выделяется недопустимое рассоглосование модели и системы, возникает необходимость в её корректировки или изменения.

Выделяют следующие *типы изменений*:

1. Глобальные. Возникают в случае методических ошибок в концептуальной или математической моделе (проще всё начать сначала, чем исправлять).
2. Локальные. Связаны с уточнением некоторых параметров и алгоритмов. Заменить компоненты модели на более точные.
3. Параметрические изменения некоторых специальных характериситк называемых ***калибровочными***. Как правило, эти характеристики мы задаем сами.

Завершается этот этап определением ***области пригодности модели***. Под областью пригодности модели понимается множество условий при соблюдении которых, точность результатов моделирования находится в допустимых пределах.

**Схема взаимосвязи технологических этапов моделирования.**



Всё что связано с процессом – это прямоугольник.