

ЛЕКЦИИ 6

Тема. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ И МОДЕЛИРОВАНИИ

К компьютерным относятся модели, для построения которых использовался компьютер.

Компьютерная модель – это модель реального объекта, процесса или явления, полученная с помощью компьютера

Компьютерная модель — это информация о моделируемой системе, представленная средствами компьютера в виде рисунка, графика, диаграммы, текста, электронной таблицы, базы данных, базы знаний, анимационного изображения, видеоролика и т.д.

Компьютерная модель является *виртуальным объектом*, так как существует лишь в памяти компьютера и не подчиняется физическим законам (вне памяти виртуальных объектов нет).

В настоящее время выделяют два вида **компьютерных** моделей (Рис.27):



Рис.27 - Схема классификации компьютерных моделей

Структурно-функциональными называются компьютерные модели, которые представляют собой условный образ объекта, описанный с помощью компьютерных сред (фоторобот, трехмерная модель атома, траектория движения объекта).

Имитационными называются компьютерные модели, представляющие собой программу или комплекс программ, позволяющий воспроизводить процессы функционирования объекта в разных условиях (распад атома, излучение частиц, развитие эмбриона, анимация работы двигателя).

Компьютерные модели можно строить с помощью самых разных программных средств и пакетов: Excel, Word, Access, MathCad, 3DMAX и любых систем программирования.

Компьютерная модель, в основе которой лежит математическая модель, **называется компьютерной математической моделью**.

Компьютерные программы, написанные на каком-либо языке программирования, строящие модели объектов, процессов, явлений называются *моделирующими программами*.

Моделирующие программы некоторые авторы относят к компьютерным моделям наряду с результатами их работы. В них используются знаки языка программирования, на котором они написаны. Моделирующие программы могут иметь три основных блока.

1. Блок исходных данных. Этот блок определяет цель (стратегию) моделирования и может содержать следующие данные:

- Статические параметры, такие как гравитационная постоянная, ускорение силы

тяжести, масса, размеры и т.д.;

- Динамические параметры, такие как время, скорость, ускорение;

Эти данные в программе могут быть константами или переменными, значения для переменных могут вводиться с клавиатуры, из файла или присваиваться в самой программе.

2. Рабочий блок.

Он содержит алгоритм реализуемой задачи, записанный в виде совокупности операторов языка программирования, если программа написана на алгоритмическом языке. Этот блок обычно содержит процедуры и функции обработки различных ситуаций. Если же используется логический язык, то рабочий блок – это база знаний программы и ее цель.

3. Блок результатов.

Этот блок содержит вывод результатов моделирования в любом виде: словесном, числовом, графическом, в виде демонстрации или имитации процесса, или явления. В ряде случаев рабочий блок и блок вывода результатов могут совпадать.

Существуют различные способы познания окружающей человека действительности, некоторые из них известны очень давно, например, *эвристический* (метод проб и ошибок). Он предполагает проведение большого числа проб, опытов для установления истины. Такой метод познания очень долог.

Так как любая модель строится с целью получения информации об объекте – оригинале, то моделирование, по своей сути, является *методом познания* окружающей действительности.

Моделирование в научных исследованиях начали применять еще в глубокой древности, оно постепенно захватывало все новые области научных знаний: строительство и архитектуру, астрономию, физику, химию, биологию, техническое конструирование и, наконец, общественные науки. Большие успехи и признание практически во всех отраслях современной науки принес методу моделирования XX век, в котором термины «модель» и «моделирование» стали востребованными и начали активно использоваться. Определение моделирования, как и модели, неоднозначно.

Моделирование – способ, процесс замещения оригинала его аналогом (моделью) с последующим изучением свойств и поведения оригинала на модели.

Моделирование есть процесс перехода из реальной области в виртуальную (модельную) посредством формализации.

Моделирование — исследование объектов познания на их моделях.

Моделирование - построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов и явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя.

Моделирование – это метод научного познания действительности (систем, процессов, явлений) с помощью построения, изучения и использования моделей.

В данном пособии в следующих главах рассмотрены такие виды моделирования, как математическое и компьютерное.

Математическое моделирование – это метод научного познания действительности с помощью построения математических моделей и проведения с ними теоретического исследования (эксперимента).

Компьютерное моделирование – это метод научного познания действительности с помощью построения компьютерных моделей и проведения с ними компьютерного эксперимента.

Суть компьютерного моделирования заключается в получении количественных и качественных результатов по имеющейся модели. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа, позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства сложной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость,

целостность и др. Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему.

Компьютерное моделирование для рождения новой информации использует любую информацию, которую можно актуализировать с помощью компьютера.

Моделирование, как метод познания позволяет:

1. Понять как устроена система (объект), то есть, какова ее структура, ее свойства, ее законы развития. Например, построив модель Вселенной, ученые установили, что она разбегается.

2. Прогнозировать поведение системы во времени при различных внешних воздействиях. Например, исследуя модель Солнечной системы, ученые пришли к выводу, что Солнце через 4 миллиарда лет взорвется.

3. Научиться оптимально управлять системой согласно выбранному критерию. Например, построив модель такого процесса, как загруженность городского транспорта в течение дня, можно выяснить, какое количество автобусов, по каким маршрутам, в какие часы нужно выпускать на линии.

В узком смысле (в технике, науке, быту) под **моделированием** понимается сам процесс построения и/или использования модели.

Главная особенность моделирования как метода познания состоит в том, что это **метод опосредованного познания действительности с помощью объектов-заместителей. Модель в нем выступает как инструмент познания, с помощью которого изучается этот объект.** Перенос результатов, полученных в ходе построения и исследования модели, на оригинал возможен потому, что модель в определенном смысле воспроизводит (отображает, описывает, имитирует) некоторые характеристики оригинала, интересующие исследователей. В настоящее время моделирование как формаотражения действительности широко распространено, но достаточно полная классификация возможных видов моделирования крайне затруднительна, хотя бы в силу многозначности понятия «модель», активно используемого не только в науке и технике, но и в искусстве, и в литературе, и в повседневной жизни.

Необходимость использования моделирования определяется тем, что многие объекты (или проблемы, относящиеся к этим объектам) непосредственно исследовать или невозможно, или исследование требует много времени и средств, поэтому, **главной задачей моделирования является получение информации об объекте – оригинале через изучение модели.**

Процесс моделирования включает три элемента:

1. Субъект исследования (исследователь);

2. Объект исследования (оригинал);

3. Модель, опосредующую отношения познающего субъекта и познаваемого объекта.

Субъект моделирования — это человек или группа лиц, которые строят, или изучают, или используют модель

Объект моделирования – это система, процесс или явление для которого строится модель.



Рис.28 - Три объекта моделирования

На Рис.28 слева представлен субъект моделирования – исследователь, который почерепу – оригиналу восстановил лицо человека (модель), жившего в VII веке.

Например, газетная статья о событии – это модель, само событие – объект моделирования, репортер, написавший статью и люди, ее читающие – это субъекты моделирования.

Этапы моделирование

Несмотря на большое разнообразие моделей, в процессе моделирования можно выделить ряд этапов, общих для построения любой модели. Рассмотрим этапы *компьютерного математического моделирования*, которое базируется на математической модели.

1. Постановка задачи.

На этом этапе определяется, прежде всего, *цель моделирования*. Далее, исходя из цели:

- Определяется список входных величин $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, от которых зависит строение или функционирование объекта или ход процесса,
- Определяется список выходных величин $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$, значение которых нужно получить в результате моделирования.

Например, если строится модель полета кометы, вторгнувшейся в пределы Солнечной системы, то масса кометы, ее скорость, время появления, масса и расположение планет Солнечной системы являются входными величинами, а наименьшее расстояние, на которое комета приблизится к Земле – выходной величиной.

Входные параметры модели $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ могут быть *детерминированными*, то есть, однозначно определенными, или *стохастическими*, то есть, определенными в вероятностном смысле, в зависимости от этого модель будет *детерминированной или стохастической*. Для стохастической модели выходные параметры могут быть как детерминированными, так и вероятностными.

В модели движения кометы ее масса, скорость и время появления определены не точно, а с некоторой вероятностью, результат моделирования – наименьшее расстояние тоже будет вычислен с некоторой вероятностью, поэтому построенная модель движения ракеты будет стохастической.

2. Ранжирование входных параметров.

На этом этапе входные параметры $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ разделяются по степени важности на значимые и второстепенные.

Значимым называются параметры, изменение которых *существенно* влияет

навыходные величины $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$, именно их и учитывают в модели.

Второстепенными называются параметры, изменение которых *практически не* влияет на выходные величины $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$, эти параметры в модели не учитываются. Это огрубляет модель, но способствует пониманию главных свойств и закономерностей развития объекта.

3. Выдвижение гипотезы.

Гипотеза – это предположение, основанное на небольшом количестве опытных данных, наблюдений или догадок.

На этом этапе выдвигаются гипотезы о строении, свойствах, поведении, функционировании изучаемой системы или явления. Изучение модели должно подтвердить или опровергнуть гипотезу.

Например, при вторжении кометы может быть выдвинута гипотеза о том, что она столкнется с Землей или пролетит настолько близко, что вызовет на Земле различные катаклизмы, или наоборот, что ее вторжение не повлияет на земные процессы.

4. Построение математической модели.

На этом этапе выполняются следующие действия:

- Определяется набор постоянных величин (констант), которые характеризуют самомоделируемый объект и его составные части. Это статические параметры модели;
- Определяется набор переменных величин, изменение значений которых меняет структуру или поведение модели, это динамические или управляющие параметры модели;
- Составляются формулы и алгоритмы, связывающие величины в каждом из состояний моделируемого объекта;
- Составляются формулы и алгоритмы, описывающие процесс смены состояний моделируемого объекта.

Выдвинутая ранее гипотеза тоже записывается в терминах матмодели.

5. Составления алгоритма для нахождения решения модели.

Для нахождения решения одной матмодели в ряде случаев можно использовать несколько алгоритмов. Например, если математическая модель – это система линейных уравнений, то для нахождения ее решения можно использовать метод подстановки, метод Гаусса, метод итераций и т.д. Из нескольких алгоритмов выбирается один, наиболее подходящий для решения поставленной задачи. Обычно используют уже готовые алгоритмы, если таковых нет, разрабатываются новые.

6. Составление программы.

На этом этапе, на основе выбранного алгоритма, составляется компьютерная программа или берется уже готовая. Эта программа наряду с результатом ее работы и есть компьютерная математическая модель объекта или явления.

7. Прогонка программы на компьютере.

На этом этапе программа тестируется с целью обнаружения логических ошибок.

На этом же этапе в том или ином виде получают результаты моделирования.

8. Изучение модели.

На этом этапе с компьютерной моделью проводят **вычислительный (компьютерный) эксперимент**, который позволяет сделать выводы о строении,

свойствах, поведении модели. Эти выводы могут быть получены в любой форме: словесной, числовой, графической, табличной и т.д.

Например, при изучении модели движения кометы результат может быть получен в виде траектории ее полета или в виде числа, определяющего наименьшее расстояние, на которое комета приблизится к Земле.

9. Получение заключения по объекту оригиналу.

На этом этапе *по аналогии* делаются выводы о строении, исследуемого объекта – оригинала, его свойствах, характеристиках, предсказывается или имитируется его поведение или функционирование. Здесь уже используются выводы, полученные на восьмом этапе.

Аналогия — это суждение о сходстве двух объектов по каким-либо признакам.

10. Анализ результатов и получение выводов.

На этом этапе делается вывод, что математическая модель, с которой проводился компьютерный эксперимент, годна, с ней можно работать и дальше, или, что модель – груба и ее следует уточнить.

В конкретных случаях моделирования не обязаны присутствовать все десять этапов. Например, не обязательно должна выдвигаться гипотеза, если об объекте – оригинале нет сведений вообще или их очень мало. Не обязательно строить модель, можно использовать уже готовую.

Если гипотеза была выдвинута, и результаты моделирования ее подтвердили, то говорят, что модель *адекватна* (близка) оригиналу. Если же гипотеза не подтвердилась, то тут возможны два варианта:

- 1) гипотеза неверна;
- 2) модель – груба, то есть она не адекватна оригиналу.

В первом случае нужно выдвигать новую гипотезу или брать за основу результаты моделирования.

Во втором случае модель нужно *уточнить*, то есть дополнить свойствами и характеристиками, которые были отброшены на первом этапе как второстепенные, но которые оказались существенными для решаемой задачи и снова провести исследование.

Способы исследования моделей

Для исследования моделей с целью получения информации используют два способа.

I. Аналитический (или теоретический) способ.

Этот способ используют, как правило, при исследовании знаковых моделей. Например, если имеется математическая модель, выраженная уравнением, то ее исследование заключается в нахождении решения уравнения. Полученное решение и позволит ответить на вопрос, какие величины, от каких, каким образом зависят в объекте- оригинале или в процессе-оригинале. Если модель получена в виде химической формулы, то ее теоретическое исследование проводят путем составления для этой формулы химических уравнений и нахождения их решений. На Рис.29 приведены фотографии математических выкладок, примерно так могут выглядеть теоретические исследования моделей.

Метод Гаусса

$$\begin{bmatrix} 1 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 1 & 0.166 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.4 \\ 5.333 \\ 2 \end{bmatrix}$$

Нормируем уравнение 3 относительно коэффициента при x_3

Откуда получаем $x_3=2$. Подставляем полученное значение в уравнения 2 и 1 получаем

$$x_2 = 5.333 - 0.1666 \cdot 2 = 5.333 - 0.333 = 5$$

$$x_1 + 0.4 \cdot x_2 = 9.4 - 0.2 \cdot 2 = 9.4 - 0.4 = 9$$

Подставляя полученное значение $x_2=5$ в уравнение 1, найдем

$$x_1 = 9 - 0.4 \cdot 5 = 9 - 2 = 7$$

Таким образом, решением системы уравнений будет вектор $X = [7 \ 5 \ 2]^T$

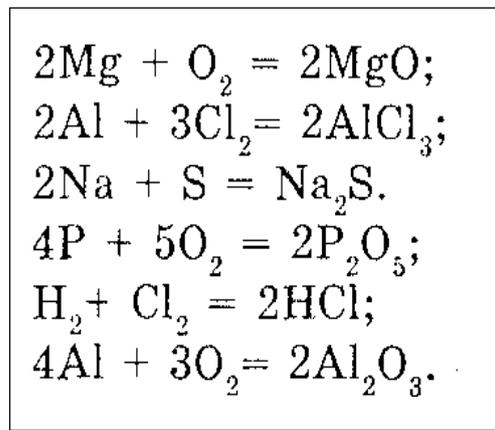


Рис. 29 - Теоретические исследования знаковых моделей

II. Экспериментальный способ.

Эксперимент (проба, опыт) - метод исследования некоторого явления в *управляемых условиях*. Отличается от *наблюдения* активным взаимодействием с изучаемым объектом. Обычно эксперимент проводится в рамках научного исследования и служит для проверки гипотезы или установления причинных связей между явлениями. Эксперимент является краеугольным камнем эмпирического (опытного) подхода к знанию и позволяет отличить научную теорию от псевдонаучной.

Эксперименты делятся на физические и компьютерные.

1. **Физический эксперимент** – это способ познания природных явлений в специально созданных условиях.

Он проводится с физическими объектами или их моделями, которые растягивают, сжимают, охлаждают, нагревают, изгибают, ускоряют и т.д. При этом всегда используются физические приборы, позволяющие замерять, как изменяются характеристики моделей во время испытаний (Рис.30). Этот способ исследования моделей используется людьми довольно давно.

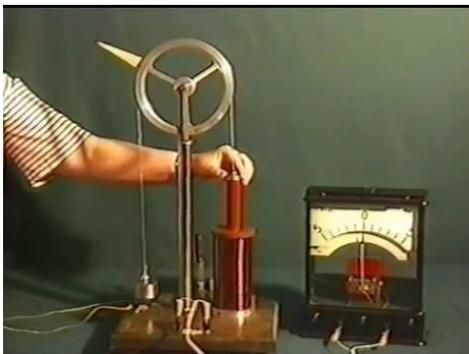


Рис.30 - Физические эксперименты

2. **Компьютерный эксперимент** появился сравнительно недавно, тогда, когда компьютеры стали использовать в науке, его определение в информатике тоже неоднозначно.

Компьютерный эксперимент – это стиль проведения научного теоретического исследования модели с помощью компьютера.

Компьютерный эксперимент — это эксперимент над математической

мощных компьютеров.

Компьютерный эксперимент соединяет в себе достоинства физического эксперимента и теоретического исследования, так как:

- так же, как в теоретическом исследовании позволяет использовать всевозможные методы математики;
- так же, как в физическом эксперименте позволяет менять входные данные процесса и наблюдать изменение выходных данных (результата) на экране.

Более того, компьютерный эксперимент имеет собственные достоинства:

- позволяет заменить дорогостоящий физический эксперимент расчетами на компьютере, причем, все математические вычисления в нем производятся со скоростью, во много раз превышающей скорость исследователя-теоретика;
- позволяет в короткие сроки и без значительных материальных затрат исследовать большое число вариантов проектируемого объекта или процесса для различных режимов его эксплуатации, что значительно сокращает сроки разработки сложных систем и их внедрение в производство.
- входные данные в нем можно менять очень быстро и также быстро увидеть результат, причем, не производя никаких замеров, не используя никаких приборов.

Например, экспериментируя с моделью с помощью компьютера, ее можно охладить до абсолютного нуля, нагреть до термоядерных температур, отправить в прошлое или будущее, отправить в глубь Земли или океана. В некоторых процессах, где физический эксперимент опасен для жизни и здоровья людей, вычислительный эксперимент является единственно возможным способом исследования (термоядерный синтез, освоение космического пространства и т.д.).

Компьютерное моделирование и вычислительный эксперимент как новый метод научного исследования заставляет, в свою очередь, совершенствовать математический аппарат, используемый при построении и исследовании математических моделей, позволяет, используя математические методы, уточнять и усложнять математические модели. Наиболее перспективным для проведения вычислительного эксперимента является его использование для решения крупных научно-технических и социально-экономических проблем современности (проектирование реакторов для атомных электростанций, проектирование плотин и гидроэлектростанций, составление сбалансированного плана для отрасли, региона или страны и др.).