

Свойства моделей:

- **конечность:** модель отображает оригинал лишь в конечном числе его отношений и, кроме того, ресурсы моделирования конечны;
- **упрощенность:** модель отображает только существенные стороны объекта;
- **приблизительность:** действительность отображается моделью грубо или приблизительно;
- **адекватность:** модель успешно описывает моделируемую систему;
- **информативность:** модель должна содержать достаточную информацию о системе - в рамках гипотез, принятых при построении модели.

Основными операции над моделями:

- **Линеаризация.** Пусть $M=M(X,Y,A)$, где X - множество входов, Y - выходов, A - состояний системы. Схематически можно это изобразить:

$$X \square A \square Y$$

Нелинейные системы трудно поддаются исследованию, поэтому их часто линеаризуют - сводят к линейным каким-либо образом.

- **Идентификация.** Пусть $M=M(X,Y,A)$, $A=\{a_i\}$, $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik})$ - вектор состояния объекта (системы). Если вектор a_i зависит от некоторых неизвестных параметров, то задача идентификации (модели, параметров модели) состоит в определении по некоторым дополнительным условиям, например, экспериментальным данным, характеризующим состояние системы в некоторых случаях.

Идентификация - решение задачи построения по результатам наблюдений математических моделей, описывающих адекватно поведение реальной системы.

- **Агрегирование.** Операция состоит в преобразовании (сведении) модели к модели (моделям) меньшей размерности (X, Y, A).
- **Декомпозиция.** Операция состоит в разделении системы (модели) на подсистемы (подмодели) с сохранением структур и принадлежности одних элементов и подсистем другим.
- **Сборка.** Операция состоит в преобразовании системы, модели, реализующей поставленную цель из заданных или определяемых подмоделей (структурно связанных и устойчивых).

- **Макетирование.** Эта операция состоит в апробации, исследовании структурной связности, сложности, устойчивости с помощью макетов или подмоделей упрощенного вида, у которых функциональная часть упрощена (хотя вход и выход подмоделей сохранены).
- **Экспертиза, экспертное оценивание.** Операция или процедура использования опыта, знаний, интуиции, интеллекта экспертов для исследования или моделирования плохо структурируемых, плохо формализуемых подсистем исследуемой системы.



Модели и моделирование применяются по следующим основным и важным направлениям:

- **Обучение** (как моделям, моделированию, так и самих моделей).
- **Познание и разработка теории исследуемых систем** - с помощью каких - то моделей, моделирования, результатов моделирования.
- **Прогнозирование** (выходных данных, ситуаций, состояний системы).
- **Управление** (системой в целом, отдельными подсистемами системы, выработка управленческих решений и стратегий).
- **Автоматизация** (системы или отдельных подсистем системы).

Основные функции компьютера при моделировании систем:

- **выполнять роль вспомогательного средства для решения задач, решаемых обычными вычислительными средствами, алгоритмами, технологиями;**
- **выполнять роль средства постановки и решения новых задач, не решаемых традиционными средствами, алгоритмами, технологиями;**
- **выполнять роль средства конструирования компьютерных обучающе - моделирующих сред;**
- **выполнять роль средства моделирования для получения новых знаний;**
- **выполнять роль "обучения" новых моделей (самообучающиеся модели).**

Компьютерное моделирование, от постановки задачи - до получения результатов, проходит следующие этапы:

- **Постановка задачи.**
 - **Формулировка задачи.**
 - **Определение цели моделирования и их приоритетов.**
 - **Сбор информации о системе, объекте моделирования.**
 - **Описание данных (их структуры, диапазона, источника и т. д.).**
- **Предмодельный анализ.**
 - **Анализ существующих аналогов и подсистем.**
 - **Анализ технических средств моделирования (ЭВМ, периферия).**
 - **Анализ программного обеспечения(языки программирования, пакеты программ, инструментальные среды).**
 - **Анализ математического обеспечения(модели, методы, алгоритмы).**



- **Анализ задачи (модели).**

- **Разработка структур данных.**
- **Разработка входных и выходных спецификаций, форм представления данных.**
- **Проектирование структуры и состава модели (подмоделей).**

- **Исследование модели.**

- **Выбор методов исследования подмоделей.**
- **Выбор, адаптация или разработка алгоритмов, их псевдокодов.**
- **Сборка модели в целом из подмоделей.**
- **Идентификация модели, если в этом есть необходимость.**
- **Формулировка используемых критериев адекватности, устойчивости и чувствительности модели.**

- Программирование (проектирование программы).
 - Выбор метода тестирования и тестов (контрольных примеров).
 - Кодирование на языке программирования (написание команд).
 - Комментирование программы.
- Тестирование и отладка.
 - Синтаксическая отладка.
 - Семантическая отладка (отладка логической структуры).
 - Тестовые расчеты, анализ результатов тестирования.
 - Оптимизация программы.



- **Оценка моделирования.**

- **Оценка средств моделирования.**
- **Оценка адекватности моделирования.**
- **Оценка чувствительности модели.**
- **Оценка устойчивости модели.**

- **Документирование.**

- **Описание задачи, целей.**
- **Описание модели, метода, алгоритма.**
- **Описание среды реализации.**
- **Описание возможностей и ограничений.**
- **Описание входных и выходных форматов, спецификаций.**
- **Описание тестирования.**
- **Описание инструкций пользователю.**

■ Сопровождение.

- Анализ использования, периодичности использования, количества пользователей, типа использования (диалог, автономно и др.), анализ отказов во время использования модели.
- Обслуживание модели, алгоритма, программы и их эксплуатация.
- Расширение возможностей: включение новых функций или изменение режимов моделирования, в том числе и под модифицированную среду.
- Нахождение, исправление скрытых ошибок в программе, если таковые найдутся.

■ Использование модели.

Направленный эксперимент:

Имитационный эксперимент, содержание которого определяется предварительно проведенным аналитическим исследованием и являющийся составной частью вычислительного эксперимента и результаты которого достоверны и математически обоснованы, называется направленным вычислительным экспериментом.

Преимущества данного эксперимента состоят в:

- легкости управления и легкости воспроизведения условий эксперимента;
- возможности эвристического поиска и последовательного планирования эксперимента.



Целями данного типа эксперимента могут являться:

- **оценка и прогноз;**
- **сравнение альтернатив;**
- **выявление зависимостей;**
- **анализ чувствительности;**
- **однокритериальная и многокритериальная оптимизация.**

Общая методика проведения направленного вычислительного эксперимента обычно включает выполнение следующих этапов:

- **формулировка целей исследования;**

- **выбор функции критерия;**
- **выбор существенных факторов;**
- **определение области определения факторов;**
- **разработка и реализация плана эксперимента;**
- **обработка результатов эксперимента с помощью различных математических методов (дисперсионный, регрессионный анализ, методология анализа поверхности отклика и др.);**
- **выводы и принятие решений .**

Аспекты моделирования тепломассообменных процессов

Процесс функционирования реального объекта представляется в математической модели в виде последовательной смены его состояний.

В каждый момент времени t состояние объекта характеризуется набором выходных переменных y , так что его поведение, то есть изменение состояния во времени, описывается функцией $y(t)$.

При известном начальном состоянии y зависимость $y(t)$ определяется решением системы уравнений математической модели и может быть представлена соотношением $y(t)=F[x,c,t]$.

Здесь x обозначает набор входных переменных и параметров модели, варьируемых в процессе вычислительного эксперимента, а c - совокупность внутренних параметров модели, которые в процессе вычислительного эксперимента сохраняют постоянные значения.

Существует два основных подхода к нахождению конкретного вида зависимости $y(t)=F[x,c,t]$, определяющей связь между входными и выходными переменными (параметрами) математической модели.

- Теоретический подход базируется на анализе структуры объекта и физической сущности протекающих в нем процессов.

Уравнения математической модели выражают при этом фундаментальные теоретические положения: законы сохранения, закономерности явлений переноса, химической кинетики и т.д.

Простые (линейные) математические модели обычно могут быть реализованы в виде аналитических соотношений, выражающих связи изучаемых характеристик с исходными данными в явном виде.

Более сложные (нелинейные) математические модели реальных объектов требуют для своей реализации разработки численных методов и применения вычислительной техники.

Вычислительный эксперимент проводится в этом случае путём многовариантных расчётов.

- Эмпирический подход применяется в тех случаях, когда теоретические соотношения не могут быть использованы вследствие недостаточной изученности моделируемых процессов, либо когда заданный уровень моделирования делает нецелесообразным построение сложных теоретических моделей.

При эмпирическом подходе структура объекта считается неизвестной (объект рассматривается как "чёрный ящик"), и функциональная зависимость между входными и выходными переменными устанавливается непосредственно путём обработки данных натурального эксперимента.

- Промежуточное положение между двумя рассмотренными видами математических моделей занимают модели смешанного типа.

Они строятся на основе одного уравнения или небольшого числа уравнений, описывающих механизм лишь наиболее существенных для данного натурального образца процессов.

Влияние всех других процессов учитывается в такой модели с помощью параметров, называемых иногда настроечными коэффициентами.

Значения этих параметров определяют при помощи адаптации или параметрической идентификации математической модели по результатам экспериментальных исследований.


Адаптацию моделей смешанного типа необходимо выполнять для каждого агрегата индивидуально.

Эмпирические модели и модели смешанного типа используются обычно в системах автоматизированного управления поведением конкретных объектов.

Теоретические или детерминированные математические модели имеют гораздо более широкую область применения.


Прежде всего, они могут быть использованы для анализа влияния различных факторов на протекание исследуемых процессов, прогнозирования поведения реальных или проектируемых объектов и принятия на этой основе оптимальных решений.

Компьютер выступает в этом случае как "инструмент познания, средство проникновения вглубь исследуемых процессов и управления ими на основе полученных знаний".



Кроме того, вычислительный эксперимент является эффективным, а в некоторых случаях единственным средством изучения свойств реальных объектов путём обработки экспериментальных данных в рамках решения соответствующих обратных задач и вновь проектируемых агрегатов.


Использование точных теоретических моделей необходимо также для обеспечения самого процесса моделирования: при анализе последствий принятия тех или иных упрощающих допущений и оценке погрешности упрощенных методов расчёта, при анализе влияния неточности задания исходных данных на значения выходных переменных и т.д.



Теоретические, физически обоснованные модели, записываются в форме систем нелинейных дифференциальных и интегральных уравнений.

Основными причинами нелинейности теплофизических моделей являются:


- зависимость теплофизических свойств тел от температуры;**
- селективность радиационных свойств тел, т.е. зависимость спектральных степеней черноты от длины волны;**
- сложный характер теплообмена, т.е. одновременное протекание процессов радиационного, конвективного и кондуктивного теплообмена;**

- 
- наличие фазовых превращений, сопровождающих процессы переноса тепла;
 - турбулентный характер движения теплоносителей;
 - наличие химических реакций, в том числе реакций горения;
 - необходимость решения сопряженных задач, т.е. согласование решений, определяемых отдельными блоками математической модели.

Применение вычислительной техники для реализации математической модели становится возможным после дискретизации объекта, т.е. замены непрерывной среды её дискретным аналогом.

При этом исходные дифференциальные и интегральные уравнения заменяются аппроксимирующей их системой нелинейных алгебраических уравнений, для решения которой необходимо использование различных итерационных процедур.

Реализация математических моделей, используемых в теплотехнике, в ряде случаев требует разработки новых численных методов, учитывающих специфику математического описания теплофизических процессов.



Так, постановка задачи теплопроводности при наличии фазовых превращений, возникающая, в частности, при анализе теплового взаимодействия твердых тел с расплавами, приводит к необходимости построения алгоритмов, учитывающих движение границы расчётной области.

При моделировании сопряженного теплообмена в нагревательных и термических печах использование зональной методики для решения внешней задачи и метода конечных разностей для решения внутренней задачи приводит к специфической проблеме совместного решения систем зональных и разностных уравнений.

Эффективность расчетной схемы, т.е. возможность получения решения с заданной точностью при минимальном объёме вычислений, является одним из основных требований, предъявляемых к алгоритму численного решения задачи.

Это связано, во-первых, с многовариантным характером вычислительного эксперимента, необходимостью проведения больших серий однотипных расчетов.

Во-вторых, это требование в ряде случаев определяет возможность использования алгоритма в системах управления объектом в реальном времени.

Следует отметить, что более плодотворным может оказаться подход, в рамках которого дискретизация объекта производится уже на этапе постановки задачи; в этом случае в виде системы алгебраических уравнений записывается исходная математическая модель.

Для теплоэнергетических моделей обязательно проводят проверку адекватности модели, то есть подтверждение её соответствия изучаемому объекту.

Математическая модель считается адекватной, если сопоставление результатов моделирования с данными о поведении реального объекта показывает, что изучаемые характеристики воспроизводятся в модели с требуемой точностью.


Для проверки адекватности модели, как правило, проводят:

- серию пробных расчётов и качественный анализ поведения математической модели;**
- анализ справедливости упрощающих допущений, принятых на этапе постановки задачи, путём сопоставления результатов расчёта с решением задачи в более строгой постановке;**

- идентификацию параметров модели: определение значений настроечных коэффициентов путём сопоставления результатов расчёта с экспериментальными данными. Для эмпирических моделей на этом этапе используются методы регрессионного анализа, для теоретических - аппарат решения обратных задач.

Обязательность данного этапа является следствием приближенного характера моделирования, обусловленного схематизацией, огрублением процессов, протекающих в реальном объекте, а также возможностью принятия неточных или ошибочных решений при построении модели.

В том случае, если модель оказывается неадекватной, следует повторить всю описанную процедуру, возможно даже начиная с этапа постановки задачи.



В заключение можно с уверенностью утверждать, что расширение областей применения методов математического моделирования для технического прогноза и повышение уровня исследований приводит к возрастанию значения и сложности проблем, возникающих на этапе реализации модели. Развитие этого направления создаёт основы для разработки современных методов решения практических задач в технике.