

1. Понятия моделирование, модель. Виды моделирования. Моделирование на ЭВМ. Понятия компьютерное моделирование, компьютерная модель, функции компьютера при моделировании.
2. Принципы моделирования. Общая классификация моделей. Требования к модели. Виды математических моделей. Жизненный цикл моделируемой системы. Операции над моделями.
3. Вычислительный эксперимент. Этапы вычислительного эксперимента. Математическое и программное обеспечение эксперимента. Цикличность эксперимента.
4. Линейность и нелинейность решаемых задач. Области применения вычислительного эксперимента.
5. Понятие искусственный интеллект. Философские аспекты. Вопросы реализации. Экспертные системы.
6. Программное обеспечение используемое в моделировании. Математические пакеты. MathCad. Классы решаемых задач. Виды операции, типы переменных и констант.

1

Моделирование в научных исследованиях стало применяться еще в глубокой древности и постепенно захватывало все новые области научных знаний: техническое конструирование, строительство и архитектуру, астрономию, физику, химию, биологию и, наконец, общественные науки. Большие успехи и признание практически во всех отраслях современной науки принес методу моделирования XX в. Однако методология моделирования долгое время развивалась независимо отдельными науками. Отсутствовала единая система понятий, единая терминология. Лишь постепенно стала осознаваться роль моделирования как универсального метода научного познания. Термин «модель» широко используется в различных сферах человеческой деятельности и имеет множество смысловых значений.

Модель – объект или описание объекта, системы для замещения (при определенных условиях предложениях, гипотезах) одной системы (т.е. оригинала) другой системы для изучения оригинала или воспроизведения его каких-либо свойств. Модель – результат отображения одной структуры на другую.

Под **моделированием** понимается процесс построения, изучения и применения моделей. Оно тесно связано с такими категориями, как абстракция, аналогия, гипотеза и др. Процесс моделирования обязательно включает и построение абстракций, и умозаключения по аналогии, и конструирование научных гипотез. Главная особенность моделирования в том, что это метод опосредованного познания с помощью объектов-заместителей. Модель выступает как своеобразный инструмент познания, который исследователь ставит между собой и объектом и с помощью которого изучает интересующий его объект. Именно эта особенность метода моделирования определяет специфические формы использования абстракций, аналогий, гипотез, других категорий и методов познания.

Возможности моделирования, то есть перенос результатов, полученных в ходе построения и исследования модели, на оригинал основаны на том, что модель в определенном смысле отображает (воспроизводит, моделирует, описывает, имитирует) некоторые интересующие исследователя черты объекта. Моделирование как форма отражения действительности широко распространено, и достаточно полная классификация возможных видов моделирования крайне затруднительна, хотя бы в силу многозначности понятия «модель», широко используемого не только в науке и технике, но и в искусстве, и в повседневной жизни.

Применительно к естественным и техническим наукам принято различать следующие виды моделирования:

- *концептуальное моделирование*, при котором совокупность уже известных фактов или представлений относительно исследуемого объекта или системы истолковывается с помощью некоторых специальных знаков, символов, операций над ними или с помощью естественного или искусственного языков;
- *физическое моделирование*, при котором модель и моделируемый объект представляют собой реальные объекты или процессы единой или различной физической природы, причем между процессами в объекте-оригинале и в модели выполняются некоторые соотношения подобия, вытекающие из схожести физических явлений;
- *структурно-функциональное моделирование*, при котором моделями являются схемы (блок-схемы), графики, чертежи, диаграммы, таблицы, рисунки, дополненные специальными правилами их объединения и преобразования;
- *математическое (логико-математическое) моделирование*, при котором моделирование, включая построение модели, осуществляется средствами математики и логики;
- *имитационное (программное) моделирование*, при котором логико-математическая модель исследуемого объекта представляет собой алгоритм функционирования объекта, реализованный в виде программного комплекса для компьютера.

Разумеется, перечисленные выше виды моделирования не являются взаимоисключающими и могут применяться при исследовании сложных объектов либо одновременно, либо в некоторой комбинации. Кроме того, в некотором смысле концептуальное и, скажем, структурно-функциональное моделирование неразличимы между собой, так как те же блок-схемы, конечно же, являются специальными знаками с установленными операциями над ними.

Традиционно под **моделированием на ЭВМ** понималось лишь имитационное моделирование. Можно, однако, увидеть, что и при других видах моделирования компьютер может быть весьма полезен, за исключением разве физического моделирования, где компьютер вообще-то тоже может использоваться, но, скорее, для целей управления процессом моделирования. Например при математическом моделировании выполнение одного из основных этапов – построение математических моделей по экспериментальным данным – в настоящее время просто немыслимо без компьютера. В последние годы, благодаря развитию графического интерфейса и графических пакетов, широкое развитие получило компьютерное, структурно-функциональное моделирование, о котором подробно поговорим ниже. Положено начало использованию компьютера даже при концептуальном моделировании, где он используется, например, при построении систем искусственного интеллекта.

В настоящее время под **компьютерной моделью** чаще всего понимают:

- условный образ объекта или некоторой системы объектов (или процессов), описанный с помощью взаимосвязанных компьютерных таблиц, блок-схем, диаграмм, графиков, рисунков, анимационных фрагментов, гипертекстов и т.д. и отображающий структуру и взаимосвязи между элементами объекта. Компьютерные модели такого вида мы будем называть структурно-функциональными;
- отдельную программу, совокупность программ, программный комплекс, позволяющий с помощью последовательности вычислений и графического отображения их результатов, воспроизводить (имитировать) процессы функционирования объекта, системы объектов при условии воздействия на объект различных, как правило случайных, факторов. Такие модели мы будем далее называть имитационными моделями.

Компьютерное моделирование – метод решения задачи анализа или синтеза сложной системы на основе использования ее компьютерной модели.

Суть компьютерного моделирования заключена 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 ЭВМ.

Основные функции компьютера при моделировании:

- 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).

Разновидностью компьютерного моделирования является вычислительный эксперимент. Компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент становится новым инструментом, методом научного познания, новой технологией также из-за возрастающей необходимости перехода от исследования линейных математических моделей систем.

Предметом компьютерного моделирования могут быть: экономическая деятельность фирмы или банка, промышленное предприятие, информационно-вычислительная сеть, технологический процесс, любой реальный объект или процесс, например процесс инфляции, и вообще – любая сложная система. Цели компьютерного моделирования могут быть различными, однако наиболее часто моделирование является, как уже отмечалось ранее, центральной процедурой системного анализа, причем под системным анализом мы далее понимаем совокупность методологических средств, используемых для подготовки и принятия решений экономического, организационного, социального или технического характера.

Компьютерная модель сложной системы должна по возможности отображать все основные факторы и взаимосвязи, характеризующие реальные ситуации, критерии и ограничения. Модель должна быть достаточно универсальной, чтобы по возможности описывать близкие по назначению объекты, и в то же время достаточно простой, чтобы позволить выполнить необходимые исследования с разумными затратами.

Все это говорит о том, что моделирование, рассматриваемое в целом, представляет собой скорее искусство, чем сформировавшуюся науку с самостоятельным набором средств отображения явлений и процессов реального мира.

2

Отображая физическую систему (объект) на математическую систему (например, математический аппарат уравнений) получим физико-математическую модель системы или математическую модель физической системы. В частности, физиологическая система – система кровообращения человека, подчиняется некоторым законам термодинамики и описав эту систему на физическом (термодинамическом) языке получим физическую, термодинамическую модель физиологической системы. Если записать эти законы на математическом языке, например, выписать соответствующие термодинамические уравнения, то получим математическую модель системы кровообращения. Эту модель можно назвать физиолого-физико-математической моделью или физико-математической моделью.

Модели, если отвлечься от областей, сфер их применения, бывают трех типов: познавательные, прагматические и инструментальные.

Познавательная модель – форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний. Познавательная модель, как правило, подгоняется под реальность и является теоретической моделью.

Прагматическая модель – средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления. Реальность в них подгоняется под некоторую прагматическую модель. Это, как правило, прикладные модели.

Инструментальная модель – является средством построения, исследования и/или использования прагматических и/или познавательных моделей.

Познавательные отражают существующие, а прагматические – хоть и не существующие, но желаемые и, возможно, исполнимые отношения и связи.

По уровню, «глубине» моделирования модели бывают *эмпирические* – на основе эмпирических фактов, зависимостей, *теоретические* – на основе математических описаний и *смешанные, полуэмпирические* – использующие эмпирические зависимости и математические описания.

Основными **требованиями** к модели являются:

- наглядность построения;
- обозримость основных свойств и отношений;
- доступность ее для исследования или воспроизведения;
- простота исследования, воспроизведения;
- сохранение информации, содержащиеся в оригинале (с точностью рассматриваемых при построении модели гипотез) и получение новой информации.

Проблема моделирования состоит из трех задач:

- построение модели (эта задача менее формализуема и конструктивна, в том смысле, что нет алгоритма для построения моделей);
- исследование модели (эта задача более формализуема, имеются методы исследования различных классов моделей);
- использование модели (конструктивная и конкретизируемая задача).

Свойства модели:

- конечность: модель отображает оригинал лишь в конечном числе его отношений и, кроме того, ресурсы моделирования конечны;
- упрощенность: модель отображает только существенные стороны объекта;
- приближительность: 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.

Математическая модель M описывающая систему $S(x_1, x_2, \dots, x_n; R)$, имеет вид: $M = (z_1, z_2, \dots, z_m; Q)$, где $z_i \in Z$, $i = 1, 2, \dots, m$, Q, R – множества отношений над X – множеством входных, выходных сигналов и состояний системы и Z – множеством описаний, представлений элементов и подмножеств X , соответственно.

Модель включает в себя: объект O , субъект (не обязательный) A , задачу Z , ресурсы B , среду моделирования C .

Модель M называется *статической*, если среди x_i нет временного параметра t . Статическая модель в каждый момент времени дает лишь «фотографию» системы, ее срез. Модель – *динамическая*, если среди x_i есть временной параметр, т.е. она отображает систему (процессы в системе) во времени.

Модель является *дискретной*, если она описывает поведение системы только в дискретные моменты времени.

Модель – *непрерывная*, если она описывает поведение системы для всех моментов времени из некоторого промежутка времени.

Модель называется *имитационной*, если она предназначена для испытания или изучения, проигрывания возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров x_i модели M .

Модель – *детерминированная*, если каждому входному набору параметров соответствует вполне определенный и однозначно определяемый набор выходных параметров; в противном случае – модель недетерминированная, стохастическая (вероятностная).

Можно говорить о различных режимах использования моделей – об имитационном режиме, о стохастическом режиме и т.д.

Жизненный цикл моделируемой системы

1. Сбор информации об объекте, выдвижение гипотез, предмодельный анализ;
2. Проектирование структуры и состава моделей (подмоделей);
3. Построение спецификаций модели, разработка и отладка отдельных подмоделей, сборка модели в целом, идентификация (если это нужно) параметров моделей;
4. Исследование модели – выбор метода исследования и разработка алгоритма (программы) моделирования;
5. Исследование адекватности, устойчивости, чувствительности модели;
6. Оценка средств моделирования (затраченных ресурсов);
7. Интерпретация, анализ результатов моделирования и установление некоторых причинно-следственных связей в исследуемой системе;
8. Генерация отчетов и проектных (народно-хозяйственных) решений;
9. Уточнение, модификация модели, если это необходимо, и возврат к исследуемой системе с новыми знаниями, полученными с помощью моделирования.

Операции над моделями

Основными операциями используемыми над моделями являются:

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

Если X, Y, A – линейные пространства (множества), и, соответственно над ними определены линейные операторы, то система (модель) называется линейной. Другие системы (модели) – нелинейные. Нелинейные системы трудно поддаются исследованию, поэтому их часто линеаризуют – сводят к линейным каким-то образом.

2. *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.

3. *Агрегирование*. Операция состоит в преобразовании (сведении) модели к модели (моделям) меньшей размерности (X, Y, A).

4. *Декомпозиция*. Операция состоит в разделении системы (модели) на подсистемы (подмодели) с сохранением структур и принадлежности одних элементов и подсистем другим.

5. *Сборка*. Операция состоит в преобразовании системы, модели, реализующей поставленную цель из заданных или определяемых подмоделей (структурно связанных и устойчивых).

6. *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).

7. *Экспертиза*, экспертное оценивание. Операция или процедура использования опыта, знаний, интуиции, интеллекта экспертов для исследования или моделирования плохо структурируемых, плохо формализуемых подсистем исследуемой системы.

8. *Вычислительный эксперимент*. Это эксперимент, осуществляемый с помощью модели на ЭВМ с целью распределения, прогноза тех или иных состояний системы, реакции на те или иные входные сигналы. Прибором эксперимента здесь является компьютер (и модель!).

3

Вычислительный эксперимент

Увеличив в сотни миллионов раз скорость выполнения арифметических и логических операций и повысив тем самым производительность интеллектуального труда человека, ЭВМ вызвали коренные изменения в области переработки информации. По существу, это явилось своего рода «информационной революцией».

Первые крупные научные задачи, для решения которых успешно использовались ЭВМ, а точнее, для решения которых они и создавались, были связаны с овладением ядерной энергией и освоением космического пространства.

В дальнейшем, развиваясь и совершенствуясь при решении разнообразных актуальных задач, этот стиль теоретического анализа трансформировался в новую современную технологию и методологию проведения теоретических исследований, которая получила название вычислительного эксперимента. Основой вычислительного эксперимента является математическое моделирование, теоретической базой – прикладная математика, а технической – мощные электронные вычислительные машины.

Использование вычислительного эксперимента как средства решения сложных прикладных проблем имеет в случае каждой конкретной задачи и каждого конкретного научного коллектива свои специфические особенности. Тем не менее, всегда четко просматриваются общие характерные основные черты, позволяющие говорить о единой структуре этого процесса. В настоящее время технологический цикл вычислительного эксперимента принято подразделять на ряд этапов. И хотя такое деление условно, тем не менее, оно позволяет лучше понять существо этого метода.

Во-первых, для исследуемого объекта строится модель. Сначала физическая, фиксирующая разделение всех действующих в рассматриваемом явлении факторов на главные, которые учитываются, и второстепенные, которые на данном этапе исследования отбрасываются. Одновременно формулируются допущения, или рамки применимости модели, в которых будут справедливы полученные на ее основе результаты. Эта модель записывается в математических терминах, как правило, в виде дифференциальных, интегральных или смешанных уравнений.

Работа по конструированию математической модели чаще всего проводится объединенными усилиями физиков (химиков, биологов, медиков, экономистов), т.е. специалистов, хорошо знающих данную предметную область, и математиков, представляющих себе уровень развития соответствующего раздела прикладной математики и способных оценить возможность решения возникающей математической задачи. Вычислительный эксперимент не отвергает традиционных классических методов анализа, скорее напротив, предполагает их самое активное использование. Кроме того, на долю математиков выпадает и предварительное исследование математической модели – корректно ли поставлена задача, имеет ли она решение, единственно ли оно и т.д. Однако, для актуальных сложных задач, которые представляет современная наука и техника, подобное исследование удастся выполнить лишь в исключительных случаях.

Поэтому к решению задач, имеющих прикладной характер, зачастую приступают, не имея детального исследования ее математических свойств или изучив их лишь на частных упрощенных вариантах исходной постановки задачи.

Второй этап вычислительного эксперимента связан с разработкой метода расчета сформулированной математической задачи, или, вычислительного алгоритма. Фактически он представляет собой совокупность цепочек алгебраических формул, по которым ведутся вычисления, и логических условий, позволяющих установить нужную последовательность применения этих формул.

Как правило, для одной и той же математической задачи можно предложить большое число вычислительных алгоритмов. Однако из этого следует, что среди разнообразия алгоритмов не все одинаковы по своим качествам. Есть алгоритмы хорошие и плохие, и необходимо уметь отличать одни от других, не тратя времени и труда на программирование и расчеты.

Для этого, нужно сформулировать критерии для оценки качества вычислительных алгоритмов. Эти вопросы и составляют предмет теории численных методов – раздела вычислительной математики, который стал особенно интенсивно развиваться с появлением ЭВМ.

Общая цель этой теории – построение эффективных вычислительных методов, которые позволяют получить решение поставленной задачи с заданной точностью за минимальное количество действий (арифметических, логических), т.е. с минимальными затратами машинного времени.

Вычислительный эксперимент имеет «многовариантный» характер, т.е. решение любой прикладной задачи зависит от многочисленных входных параметров. Получить решение соответствующей математической задачи в виде формулы, содержащей явную зависимость от параметров, для реальных задач, не удастся. При использовании методов вычислительного эксперимента каждый конкретный расчет проводится при фиксированных значениях параметров. Проектируя оптимальную установку, т.е. определяя в «пространстве параметров» точку, соответствующую оптимальному режиму, приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, отличающихся значениями некоторых параметров. Поэтому необходимо, чтобы на один вариант задачи затрачивалось как можно меньше машинного времени.

Третий этап вычислительного эксперимента – создание программы для реализации разработанного алгоритма на ЭВМ. В самом начале формулы алгоритма разбивались на отдельные операции: сложить, разделить, сравнить два числа по величине и т.д., и каждая операция программировалась отдельно.

Поэтому развитие программирования шло по линии упрощения процесса общения человека с машиной, приближения форм этого общения к естественным. Так появились машинные языки, с помощью которых вести диалог с ЭВМ стало существенно легче. Каждый из языков был ориентирован на свой тип машин, на свой класс математических задач.

Программное обеспечение (или математическое обеспечение) современной ЭВМ представляет собой сложную систему, включающую языки, трансляторы, операционные системы, библиотеки стандартных программ и пр. Это обеспечение составляет неотъемлемую часть ЭВМ, часто по стоимости превышающую стоимость собственно оборудования.

Четвертый этап – собственно проведение расчетов на машине. На этом этапе проявляется сходство вычислительного эксперимента с реальным. Если в лаборатории экспериментатор с помощью специально построенной установки задает исследует реальную физическую модель, то специалисты по вычислительному эксперименту с помощью ЭВМ исследуют математическую.

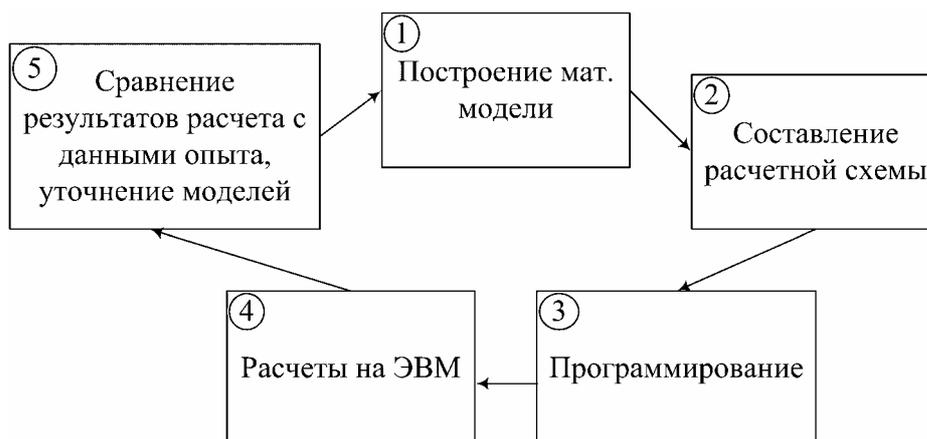
ЭВМ в процессе расчета может выдавать любую информацию, представляющую интерес для исследователя. Точность этой информации определяется достоверностью самой модели. По этой причине в серьезных прикладных исследованиях полномасштабным (или, как говорят, производственным) расчетам предшествуют тестовые расчеты.

Они необходимы для того, чтобы «отладить» программу, т.е. отыскать и исправить все ошибки и опечатки, допущенные при создании алгоритма и его программной реализации. В предварительных расчетах тестируется также сама математическая модель, выясняется, насколько хорошо она описывает изучаемый класс явлений, ее адекватность реальности. Для этого проводится «обсчет» некоторых контрольных экспериментов, по которым имеются достаточно надежные измерения. Сопоставление этих данных с результатами расчетов позволяет уточнить математическую модель, повысить правильность предсказаний на ее основе.

После проведения этой работы в вычислительном эксперименте наступают фаза прогноза – с помощью математического моделирования предсказывается поведение исследуемого объекта в условиях, где эксперименты пока не проводились или где они вообще невозможны.

Пятый этап вычислительного эксперимента – обработка результатов расчетов, их всесторонний анализ и выводы. Эти выводы бывают в основном двух типов: проявляется необходимость уточнения модели или результаты, пройдя проверку на адекватность передаются заказчику. Однако чаще эти две стороны пересекаются – выясняются какие-либо необычные формы протекания изучаемого процесса, неожиданные режимы работы проектируемой установки. Математическая модель модифицируется (усложняется) и начинается новый цикл вычислительного эксперимента.

Схематически циклы вычислительного эксперимента можно представить следующим образом:



4

Существенной чертой многих современных математических моделей в физике, химии, биологии и пр. является нелинейность, выражающаяся в нелинейности соответствующих уравнений.

Важное свойство линейных задач, облегчающее их исследование и решение, состоит в том, что для них выполнен принцип суперпозиции. Это означает, что сумма двух решений линейного уравнения вновь является решением, и, кроме того, решение, умноженное на любое число, также удовлетворяет уравнению. Как следствие сумма любого числа решений линейной задачи есть решение. Это дает возможность строить решение общей линейной задачи в виде суммы частных, простых, хорошо изученных решений.

Для нелинейных уравнений принцип суперпозиции несправедлив, и вся техника построения решений в виде сумм, столь хорошо развитая для линейного случая, уже не работает. Пользуясь геометрическими образами, можно сказать, что решение линейной задачи в некотором смысле подобно прямой линии – по любому ее отрезку без труда восстанавливается вся линия. Если кривая имеет достаточно замысловатый вид, то представить ее ход нельзя иначе, как решая соответствующее ей уравнение.

Итак, нелинейные задачи представляют большую трудность для изучения и решения. Аналитические методы здесь работают только в единичных случаях. В этой ситуации

приходится полагаться лишь на вычислительные методы. Между тем математические модели, порождаемые современными задачами науки и техники, как правило, нелинейны. Это обстоятельство является еще одной причиной того, что вычислительный эксперимент становится практически единственным средством проведения теоретических исследований в прикладных задачах.

Еще один аспект: в технике в свое время был широко распространен метод проектирования исходя из достигнутого. Это означает, что конструктор, создавая, например, новую турбину или котел тепловой электростанции, исходил из опыта своих предшественников. Немного увеличив мощность или другие параметры, он мог достаточно надежно предсказать, как будет работать проектируемое им устройство.

С математической точки зрения при небольших изменениях параметров нелинейность задачи чувствуется слабо, имеется определенное подобие установок новой и старой, что и использует конструктор. Однако когда создаются установки, параметры которых заметно (в несколько раз) отличаются от имеющихся прототипов, подобие исчезает и без предварительного математического моделирования выполнение исходной задачи невозможно. Еще более яркий пример – создание устройств с совершенно новыми принципами и идеями.

Применение вычислительного эксперимента

В современной науке и технике появляется все больше областей, задачи в которых можно и нужно решать методом вычислительного эксперимента, с помощью математического моделирования. Обратим внимание на некоторые из них.

Энергетическая проблема. Прогнозирование атомных и термоядерных реакторов на основе детального математического моделирования происходящих в них физических процессов. Вычислительный эксперимент тесно сопрягается с натурным экспериментом и помогает, заменяет и удешевляет весь исследовательский цикл, существенно его ускоряя.

Космическая техника. Расчет траекторий летательных аппаратов, задачи обтекания, системы автоматического проектирования.

Обработка данных натурального эксперимента, например радиолокационных данных, изображений со спутников, диагностика плазмы.

Здесь очень важной оказывается проблема повышения качества приборов, и в частности измерительной аппаратуры. Между тем в настоящее время показано, что, используя измерительный прибор среднего качества и присоединив к нему ЭВМ, можно на основе специального алгоритма получить результаты, которые дал бы измерительный прибор очень высокого качества.

Технологические процессы. Получение кристаллов и пленок, которые нужны, в том числе, и для создания вычислительной техники, для решения проблем в области элементной базы (что невозможно без математического моделирования); моделирование теплового режима конструктивных узлов перспективных ЭВМ, процессов лазерной плазмы, технологии создания материалов с заданными свойствами.

Экологические проблемы. Вопросы прогнозирования и управления экологическими системами могут решаться лишь на основе математического моделирования, поскольку эти системы существуют в «единственном экземпляре».

Гео- и астрофизические явления. Моделирование климата, долгосрочный прогноз погоды, землетрясений и цунами, моделирование развития звезд и солнечной активности, фундаментальные проблемы происхождения и развития Вселенной.

Химия. Расчет химических реакций, определение их констант, исследование химических процессов на макро- и микроуровне для развития химической технологии.

Биология. Особо следует отметить интерес к математическому моделированию в связи с изучением фундаментальных проблем этой науки (генетики, морфогенеза) и разработкой новых методов биотехнологии.

Существуют три проблемы биотехнологии, решение которых имеет огромное научное и прикладное значение:

- 1) оптимизация установок по производству кормового белка;
- 2) производство этанола, метанола – проблема горючего;
- 3) производство лекарств.

Современная биотехника – это новая крупномасштабная отрасль промышленности с новым рабочим телом – средой из клеток. Существует альтернатива – развитие технологии в этой области методом проб и ошибок, то есть многолетнее, без гарантии успеха или моделирование и оптимизация процессов.

Классической областью математического моделирования является *физика*. До недавнего времени в физике микромира (в квантовой теории поля) «вычислительный эксперимент» не применялся, так как было принято использовать метод малого параметра, каким является постоянная тонкой структуры. Однако сейчас физики-теоретики пришли к выводу, что процессы в микромире сильно нелинейны, поэтому необходимо переходить к численным методам, и для этой цели даже разрабатываются специальные компьютеры.

Анализ математических моделей с помощью вычислительного эксперимента с каждым годом завоевывает новые позиции. В 1982 г. Нобелевская премия по физике была присуждена К. Вильсону, предложившему ряд фундаментальных моделей в теории элементарных частиц и критических явлений, которые необходимо исследовать численно. В 1979 г. Нобелевской премии по медицине была удостоена работа в области вычислительной томографии (восстановление объемного предмета по набору его сечений).

В 1982 г. Нобелевской премией по химии отмечена работа, в которой методами вычислительной томографии восстанавливалась структура вируса по данным электронной микроскопии.

5

Термин «**искусственный интеллект**» был введен Дж. Маккарти в 1956 г. Сам термин «искусственный интеллект» имеет два основных значения: во-первых, под искусственным интеллектом понимается теория создания программных и аппаратных средств, способных осуществлять интеллектуальную деятельность, сопоставимую с интеллектуальной деятельностью человека; во-вторых, сами такие программные аппаратные средства, а также выполняемая с их помощью деятельность.

Основная трудность искусственного интеллекта заключается в том, что до сих пор не существует однозначного и общепринятого определения и понимания интеллекта естественного. Поэтому большинство исследователей искусственного интеллекта, так же как и специалисты по информационной эпистемологии, вынуждены пользоваться паллиативом. На практике под искусственным интеллектом подразумевается набор программных и аппаратных средств, использование которых должно было бы приводить к тем же результатам, к которым при решении данного класса задач приходит интеллектуальная деятельность человека. Это по существу итоговая концепция искусственного интеллекта.

Другой распространенный паллиатив определяет искусственный интеллект как полную или приближенную имитацию интеллектуальной деятельности человека. Поскольку же человеческий интеллект до сих пор остается величайшей философской загадкой и даже на специально научно-психологическом, психиатрическом и логическом уровнях изучен лишь феноменологически, то ни одно из определений искусственного интеллекта не может считаться вполне приемлемым, а тем более окончательным. Поэтому при решении практических задач чаще пользуются заданием их списка и принимают утверждение, что данная система является системой искусственного интеллекта, если она в состоянии решать данные задачи.

По существу, центральная проблема искусственного интеллекта заключается в следующем. Если мы обладаем четкими, поддающимися формальной экспликации знаниями о решении определенного класса задач, то на основе регуляризации таких

знаний могут быть получены четкие алгоритмы или эвристические правила. Используя их, можно сконструировать программы, реализация которых современными аппаратными средствами способна дать решение данных задач. Однако человек довольно часто решает задачи, не зная того, как именно он сам это делает. иными словами, люди фактически не обладают полным и исчерпывающим самопознанием. Это касается не только чисто интеллектуальной сферы абстрактного, логического мышления, но и сферы эмоциональной физиологической. Мы видим, пользуемся зрительными образами, слышим, оперируем звуковыми образами и т.д., не зная, как именно возникают образы и каковы в точности закономерности их функционирования в нашем сознании. Мы часто ставим задачи, высказываем догадки, принимаем неожиданные, в том числе принципиально новые, творческие, решения, не зная, как мы это делаем, не умея в точности представить алгоритм такой деятельности. Из этого следует, что мы не всегда можем регулятивизировать процессы, процедуры и операции, лежащие в ее основе, а следовательно, не можем поручить компьютеру выполнение соответствующих имитирующих или дублирующих действий. Здесь как будто бы берет реванш знаменитый «тезис Лавлейс», согласно которому машина никогда не сможет делать того, что ей не поручает человек, чего он сам не умеет делать. В действительности же сам человек умеет делать гораздо больше, чем знает, как делать. Эти рассуждения служат основанием для компьютерного агностицизма. Его подкрепляют также определенные философские соображения, основывающиеся на ограниченной познаваемости мира вообще и субъективно-духовного мира человека в особенности.

В то же время уже сейчас существуют гигантские базы знаний и мощные, например, экспертные системы, содержащие тысячи правил и способные решить некоторые задачи лучше, чем писавшие для них программы программисты или специалисты соответствующего профиля. На сегодняшний день имеются интеллектуальные компьютерные системы, читающие газетные тексты любым голосом, и притом в режиме реального времени, и выполняющие переводы по крайней мере технической литературы. Эти и другие факты лежат в основе компьютерной эйфории, утверждающей, что трудности на пути создания искусственного интеллекта, превосходящего по мощи и творческим возможностям человеческий интеллект, носят временный характер и связаны лишь с техническими проблемами, принципиально устранимыми в обозримом будущем. И компьютерный агностицизм, и компьютерная эйфория имеют философские корни. И поэтому речь должна идти о выяснении принципиальной, а не технической стороне дела. С философской же точки зрения она заключается в исследовании того, является ли мышление исключительной прерогативой человека, точнее, человеческого мозга, или же такая деятельность не связана с ним однозначно и навеки и может осуществляться нечеловеческими, в том числе техническими, аппаратными системами. Если принять первую альтернативу, то следует далее ответить на вопрос, обладает ли человеческий мозг какими-то специфическими механизмами, уникальными, невозпроизводимыми с помощью других систем и в дополнение ко всему непознаваемыми, вследствие чего относительно сугубо гуманоидной природы мышления не могут быть получены адекватные знания, а стало быть, невозможна и их регуляризация. если на этот вопрос может быть получен доказательный отрицательный ответ, то это еще тоже не означает признания прямой практической возможности создания искусственного интеллекта, так как может, например оказаться, что его создание упирается в техническую неосуществимость тех или иных интеллектуальных процедур. Но все же такой ответ дал бы принципиальное основание если не для эйфории, то по крайней мере для ограниченного компьютерного оптимизма.

Спор между компьютерными пессимистами и оптимистами подразумевает две противоположные философские гипотезы. первая исходит из абсолютной уникальности «человеческой телесности», неповторимости человеческой индивидуальности. Поэтому создание искусственного интеллекта, подобного интеллекту человека, объявляется

невозможным. Вторая гипотеза, напротив, принимает тезис о принципиальной идентичности элементарных операций человеческого и машинного мышления. познавательные процессы, чувственные образы, установки и ценности могут быть более или менее адекватно реализованы и смоделированы на дискретных электронных вычислительных системах. Основу второй гипотезы составляет хорошо разработанная теория вычислительных функций, ориентированная на конструктивно-аппаратную реализуемость.

Интересную мысль, по поводу отношения к искусственному интеллекту, высказал А. Эндрю: »Нельзя уйти от того факта, что вычислительная машина действительно является послушным исполнителем программы. Но когда ЭВМ и программа становятся достаточно сложными, поведение машины может оказаться практически непредсказуемым (хотя оно и предсказуемо в принципе). Поэтому не лишено смысла рассматривать машину, как устройство, принципиально способное к «новаторству».

Проблема представления знаний в **компьютерных системах** – одна из основных проблем в области искусственного интеллекта. Решение этой проблемы позволит специалистам, не обученным программированию, непосредственно на языке «деловой прозы» в диалоговом режиме работать с ЭВМ и с ее помощью формировать необходимые решения. Таким образом, решение проблемы представления знаний в компьютерных системах позволит существенно усилить интеллектуальную творческую деятельность человека за счет ЭВМ.

Остановимся на истории развития этой проблемы. С появлением ЭВМ открылась возможность электронного представления знаний. На первом этапе это были сами данные, и обрабатывающие их программы. Взаимодействие специалистов разных профилей, в интересах которых использовались ЭВМ, осуществлялось через математиков-прикладников и программистов. В дальнейшем произошло отделение данных от программ – появились базы и банки данных, что, в свою очередь, позволило создавать информационно-справочные, информационно-поисковые системы различных типов. Появился диалоговый режим взаимодействия человека с ЭВМ, который в определенных пределах позволил обеспечить работу специалистов, не обученных программированию.

В свою очередь, создание банков данных и баз данных, а также самых сложных программ во многом стало возможным потому, что коренным образом изменился и язык и принципы программирования. Практически вся представленная здесь эволюция опиралась на трудный, но настойчиво осуществляемый процесс сближения языков ЭВМ с человеческим языком. Определенные успехи в этой области позволили говорить даже об интеллектуализации ЭВМ. В первую очередь проблема сближения языков решалась для создания больших информационно-поисковых систем, где пользователь общался с ЭВМ на ограниченном естественном языке, то есть на языке «деловой прозы».

Возникшая здесь проблема смыслового анализа текстов сразу поставила вопрос о построении семантической (смысловой) модели определенной предметной области. Однако так как ЭВМ сейчас способны обрабатывать только формализованные данные, такие модели могли быть построены только в случае успешной формализации знаний в этой области. В связи с этим в теории искусственного интеллекта были разработаны формализмы представления знаний – семантические сети, фреймы, продукционные системы. Формализмы искусственного интеллекта позволили, с одной стороны, строить базы знаний как абстрактную надстройку над базой данных, а с другой – создавать модели знаний множества областей описательных и слабо формализованных наук (геология, медицина, биология, общественные науки и др.).

Однако нельзя не учитывать того, что создавать искусственный интеллект, подобный человеческому, путем полной формализации всего окружающего мира – это безуспешная попытка. там, где начинается абсолютная формализация, заканчивается подлинный интеллект, содержащий творческое начало, свойственное человеку. Интерпретируя это положение для компьютерных систем, можно утверждать, что полная формализация – это враг искусственного интеллекта.

Сегодня ЭВМ сознательно используются как средство представления знаний. Однако сами ЭВМ содержат не знание, а информацию, то есть представление или модель знания. На основе этой модели пользователь воссоздает необходимое ему знание. Содержимое памяти ЭВМ не равносильно человеческому знанию, которое является гораздо более сложным феноменом, но может служить удобной для коммуникации моделью этого знания. Этот принцип моделирования профессиональных знаний лежит в основе **экспертных систем**. Поскольку экспертные системы непосредственно помогают в осуществлении интеллектуальной деятельности человека, то разработку экспертных систем часто относят к достижениям в области искусственного интеллекта. Однако многие специалисты считают экспертные системы эффективной альтернативой искусственному интеллекту, хотя в их создании использован ряд современных достижений из области искусственного интеллекта.

В то время, как искусственный интеллект ставит задачу создания интеллектуальных моделей действительности, обеспечивающих целесообразное поведение, главное в разработке экспертных систем – это модель профессиональных знаний об определенном аспекте действительности, присущих человеку – эксперту или нескольким экспертам.

Разработки в области искусственного интеллекта направлены на замену интеллектуальных функций человека функциями ЭВМ. В противовес этому экспертные системы не только не предполагают вытеснения человека из каких-либо интеллектуальных сфер деятельности, а наоборот, ориентируются на то, что профессиональные знания специалиста, как правило, лучше описывают плохо структурированную действительность, чем любая искусственная модель, а роль экспертных систем состоит в том, чтобы сделать знания одного или нескольких экспертов достоянием любого специалиста в данной области независимо от пространственно-временных ограничений. При этом от пользователя экспертной системы в качестве условия эффективного использования представляемых консультаций требуется профессиональное творческое владение предметом. В идеале пользователь в процессе взаимодействия с экспертной системой сам становится экспертом, знания которого учитываются в этой системе. Если искусственный интеллект традиционно отводит человеку пассивную роль лица, перекладывающего на ЭВМ тяжесть трудных решений, то экспертные системы ориентируются на творчество пользователя, способного самостоятельно принимать ответственные решения с учетом профессиональных знаний, которые представляются ему через экспертные системы.

6

Одной из основных областей применения ПК являются математические и научно-технические расчеты. Сложные вычислительные задачи, возникающие при моделировании технических устройств и процессов, можно разбить на ряд элементарных: вычисление интегралов, решение уравнений, решение дифференциальных уравнений и т.д. Для таких задач уже разработаны методы решения, созданы математические системы, доступные для изучения студентам младших курсов вузов.

Цель курса – научить пользоваться простейшими методами вычислений с использованием современных информационных технологий. Наиболее подходящей для этой цели является одна из самых мощных и эффективных математических систем – MathCAD, которая занимает особое место среди множества таких систем (Matlab, Maple, Mathematica и др.). MathCAD – это мощная и в то же время простая универсальная среда для решения задач в различных отраслях науки и техники, финансов и экономики, физики и астрономии, математики и статистики... MathCAD остается единственной системой, в которой описание решения математических задач задается с помощью привычных математических формул и знаков. MathCAD позволяет выполнять как численные, так и аналитические (символьные) вычисления, имеет чрезвычайно удобный математико-ориентированный интерфейс и гибкие средства научной графики.

MathCAD работает с *документами*. С точки зрения пользователя, документ – это чистый лист бумаги, на котором можно размещать блоки трех основных типов: математические выражения, текстовые фрагменты и графические области.

Расположение нетекстовых блоков в документе имеет принципиальное значение – *слева направо и сверху вниз*.

К основным элементам математических выражений MathCAD относятся *типы данных, операторы, функции и управляющие структуры*.

Операторы – элементы MathCAD, с помощью которых можно создавать математические выражения. К ним, например, относятся символы арифметических операций, знаки вычисления сумм, произведений, производной и интеграла и т.д.

Оператор определяет:

действие, которое должно выполняться при наличии тех или иных значений операндов; сколько, где и какие операнды должны быть введены в оператор.

Операнд – число или выражение, на которое действует оператор. Например, в выражении **5! + 3** число **3** и выражение **5!** – операнды оператора **+** (плюс), а число **5** операнд оператора факториал (!). После указания *операндов* операторы становятся исполняемыми по документу блоками. В Приложении 2 приведен список наиболее часто используемых операторов.

К *типам данных* относятся числовые константы, обычные и системные переменные, массивы (векторы и матрицы) и данные файлового типа.

Константами называют поименованные объекты, хранящие некоторые значения, которые не могут быть изменены. **Переменные** являются поименованными объектами, имеющими некоторое значение, которое может изменяться по ходу выполнения программы. Тип переменной определяется ее значением; переменные могут быть числовыми, строковыми, символьными и т.д. Имена констант, переменных и иных объектов называют *идентификаторами*. Идентификаторы в MathCAD представляют собой набор латинских или греческих букв и цифр.

В MathCAD содержится небольшая группа особых объектов, которые нельзя отнести ни к классу констант, ни к классу переменных, значения которых определены сразу после запуска программы. Их правильнее считать **системными переменными**, имеющими предопределенные системой начальные значения.

Обычные переменные отличаются от системных тем, что они должны быть предварительно *определены* пользователем, т.е. им необходимо хотя бы однажды *присвоить значение*.

Дискретные аргументы – особый класс переменных, который в пакете MathCAD зачастую заменяет *управляющие структуры*, называемые циклами (однако полноценной такая замена не является). Эти переменные имеют ряд фиксированных значений, либо целочисленных, либо в виде чисел с определенным шагом, меняющихся от начального значения до конечного.

Массив – имеющая уникальное имя совокупность конечного числа числовых или символьных элементов, упорядоченных некоторым образом и имеющих определенные адреса. В пакете MathCAD используются массивы двух наиболее распространенных типов:

одномерные (векторы);

двумерные (матрицы).

Порядковый номер элемента, который является его адресом, называется *индексом*.

Функция – выражение, согласно которому проводятся некоторые вычисления с *аргументами* и определяется его числовое значение.

Следует особо отметить разницу между *аргументами* и *параметрами* функции. Переменные, указанные в скобках после имени функции, являются ее *аргументами* и заменяются при вычислении функции значениями из скобок. Переменные в правой части

определения функции, не указанные в скобках в левой части, являются *параметрами* и должны задаваться *до* определения функции.

Главным признаком функции является *возврат значения*, т.е. функция в ответ на обращение к ней по имени с указанием ее аргументов должна вернуть свое значение.

Функции в пакете MathCAD могут быть *встроенные* (см. Приложение 3), т. е. заблаговременно введенные разработчиками, и *определенные пользователем*.

Текстовые фрагменты представляют собой куски текста, которые пользователь хотел бы видеть в своем документе. Существуют два вида текстовых фрагментов:

текстовая область предназначена для небольших кусков текста – подписей, комментариев и т. п.

текстовый абзац применяется в том случае, если необходимо работать с абзацами или страницами.

Графические области делятся на три основных типа – двумерные графики, трехмерные графики и импортированные графические образы. Двумерные и трехмерные графики строятся самим MathCAD на основании обработанных данных.

Как известно, многие уравнения и системы уравнений не имеют аналитических решений. В первую очередь это относится к большинству трансцендентных уравнений. Доказано также, что нельзя построить формулу, по которой можно было бы решить произвольное алгебраическое уравнение степени выше четвертой. Однако такие уравнения могут решаться численными методами с заданной точностью.