

Моделирование систем

Основная литература:

- 1 Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М., Высшая школа, 1998. – 319 с.
- 2 Васильков Ю.В., Василькова Н.Н. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании. М., Фин. и стат., 1999 – 256 с.
- 3 Ляхович В.Ф. Руководство к решению задач по основам информатики и вычислительной техники. М., Высш.школа, 1994. – 256 с.
- 4 Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2002. – 320 с.
- 5 Поршневу С.В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCad. Уч. пос. М.: Горлиттелеком, 2002. – 252 с.

Введение

Моделирование (в широком смысле) является основным методом исследований во всех областях знаний и научно обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, используемым для принятия решений в различных сферах инженерной деятельности. Существующие и проектируемые системы можно эффективно исследовать с помощью математических моделей (аналитических и имитационных), реализуемых на современных ЭВМ, которые в этом случае выступают в качестве инструмента экспериментатора с моделью системы.

Моделирование как метод научного познания

В настоящее время нельзя назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы методы моделирования. Особенно это относится к сфере управления различными системами, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемой информации.

Гипотезы и аналогии, отражающие реальный, объективно существующий мир, должны обладать наглядностью или сводиться к удобным для исследования логическим схемам; такие логические схемы, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперименты, уточняющие природу явлений, называются моделями. Другими словами, модель (лат. *niodulus* — мера) — это объект-

заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых, свойств оригинала.

Моделирование - замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели называется моделированием. Таким образом, моделирование может быть определено как представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью. Теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями) и исследования свойств объектов на их моделях называется Теорией моделирования.

Определяя роль теории моделирования, т. е. ее значение, необходимо прежде всего отвлечься от имеющегося в науке и технике многообразия моделей и выделить то общее, что присуще моделям различных по своей природе объектов реального мира. Это общее заключается в наличии некоторой структуры (статической или динамической, материальной или мысленной), которая подобна структуре данного объекта. В процессе изучения модель выступает в роли относительного самостоятельного квазиобъекта, позволяющего получить при исследовании некоторые знания о самом объекте.

Если результаты моделирования подтверждаются и могут служить основой для прогнозирования процессов, протекающих в исследуемых объектах, то говорят, что модель адекватна объекту. При этом адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

Обобщенно моделирование можно определить как метод опосредованного познания, при котором изучаемый объект-оригинал находится в некотором соответствии с другим объектом-моделью, причем модель способна в том или ином отношении замещать оригинал на некоторых стадиях познавательного процесса. Стадии познания, на которых происходит такая замена, а также формы соответствия модели и оригинала могут быть различными:

1) моделирование как познавательный процесс, содержащий переработку информации, поступающей из внешней среды, о происходящих в ней явлениях, в результате чего в сознании появляются образы, соответствующие объектам;

2) моделирование, заключающееся в построении некоторой системы-модели (второй системы), связанной определенными соотношениями подобия с системой-оригиналом (первой системой), причем в этом случае отображение одной системы в другую является средством выявления зависимостей между двумя системами, отраженными в соотношениях подобия, а не результатом непосредственного изучения поступающей информации.

Процесс моделирования предполагает наличие объекта исследования; исследователя, перед которым поставлена конкретная задача; модели, создаваемой для получения информации об объекте и необходимой для решения поставленной задачи. Причем по отношению к модели исследователь является, по сути дела, экспериментатором, только в данном случае эксперимент проводится не с реальным

объектом, а с его моделью. Такой эксперимент для инженера есть инструмент непосредственного решения организационно-технических задач.

Использование моделирования при исследовании и проектировании сложных систем

Одна из проблем современной науки и техники — разработка и внедрение в практику проектирования новейших методов исследования характеристик сложных информационно-управляющих и информационно-вычислительных систем различных уровней (например: автоматизированных систем научных исследований и комплексных испытаний, систем автоматизации проектирования, комплексов и сетей, информационных систем). При проектировании сложных систем и их подсистем возникают многочисленные задачи, требующие оценки количественных и качественных закономерностей процессов функционирования таких систем, проведения структурного алгоритмического и параметрического их синтеза.

В дисциплине рассматриваются системы информатики и вычислительной техники, автоматизированные системы обработки информации и управления, информационные системы относятся к классу больших систем, этапы проектирования, внедрения, эксплуатации и эволюции которых в настоящее время невозможны без использования различных видов моделирования. На всех перечисленных этапах для сложных

видов различных уровней необходимо учитывать следующие особенности:

- сложность структуры и стохастичность связей между элементами, неоднозначность алгоритмов поведения при различных условиях,
- большое количество параметров и переменных, неполноту и недетерминированность исходной информации;
- разнообразие и вероятностный характер воздействий внешней среды.

Ограниченность возможностей экспериментального исследования больших систем делает актуальной разработку методики их моделирования, которая позволила бы в соответствующей форме представить процессы функционирования систем, описание протекания этих процессов с помощью математических моделей, получение результатов экспериментов с моделями по оценке характеристики исследуемых объектов. Причем на разных этапах создания и использования перечисленных систем для всего многообразия входящих в них подсистем применение метода моделирования преследует конкретные цели, а эффективность метода зависит от того, насколько грамотно разработчик использует возможности моделирования. Независимо от разбиения конкретной сложной системы на подсистемы при проектировании каждой из них необходимо выполнять внешнее проектирование (макропроектирование) и внутреннее проектирование (микропроектирование). Так как на этих стадиях разработчик

преследует различные цели, то и используемые при этом методы и средства моделирования могут существенно отличаться.

На стадии макропроектирования должна быть разработана обобщенная модель процесса функционирования сложной системы, позволяющая разработчику получить ответы на вопросы об эффективности различных стратегий управления объектом при его взаимодействии с внешней средой. Стадию внешнего проектирования можно разбить на анализ и синтез.

При анализе изучают объект управления, строят модель воздействий внешней среды, определяют критерии оценки эффективности, имеющиеся ресурсы, необходимые ограничения. Конечная цель стадии анализа — построение модели объекта управления для оценки его характеристик.

При синтезе на этапе внешнего проектирования решаются задачи выбора стратегии управления на основе модели объекта моделирования, т. е. сложной системы.

На стадии микропроектирования разрабатывают модели с целью создания эффективных подсистем. Причем используемые методы и средства моделирования зависят от того, какие конкретно обеспечивающие подсистемы разрабатываются: информационные, математические, технические, программные и т. д.

Выбор метода моделирования и необходимая детализация моделей существенно зависят от этапа разработки сложной системы. На этапах обследования объекта управления, например промышленного предприятия, и разработки технического задания на проектирование автоматизированной системы управления

модели в основном носят описательный характер и преследуют цель наиболее полно представить в компактной форме информацию об объекте, необходимую разработчику системы.

На этапах разработки технического и рабочего проектов систем, модели отдельных подсистем детализируются, и моделирование служит для решения конкретных задач проектирования, т. е. выбора оптимального по определенному критерию при заданных ограничениях варианта из множества допустимых. Поэтому в основном на этих этапах проектирования сложных систем используются модели для целей синтеза.

Целевое назначение моделирования на этапе внедрения и эксплуатации сложных систем — это проигрывание возможных ситуаций для принятия обоснованных и перспективных решений по управлению объектом. Моделирование (имитацию) также широко применяют при обучении и тренировке персонала автоматизированных систем управления, вычислительных комплексов и сетей, информационных систем в различных сферах. В этом случае моделирование носит характер деловых игр. Модель, реализуемая обычно на ЭВМ, воспроизводит поведение управляемого объекта и внешней среды, а люди в определенные моменты времени принимают решения по управлению объектом.

АСОИУ являются системами, которые развиваются по мере эволюции объекта управления, появления новых средств управления и т. д. Поэтому при прогнозировании развития сложных систем роль моделирования очень высока, так как это единственная возможность ответить на многочисленные

вопросы о путях дальнейшего эффективного развития системы и выбора из них наиболее оптимального.

Модель

Модель – физический или абстрактный объект, адекватно отображающий исследуемую систему.

Основные требования к модели

Ко всем разрабатываемым моделям предъявляются два противоречивых требования:

- простота модели;
- адекватность исследуемой системе.

Требование **простоты** модели обусловлено необходимостью построения модели, которая может быть рассчитана доступными методами. Построение сложной модели может привести к невозможности получения конечного результата имеющимися средствами в приемлемые сроки и с требуемой точностью.

Степень сложности (простоты) модели определяется уровнем ее детализации, зависящим от принятых предположений и допущений: чем их больше, тем ниже уровень детализации и, следовательно, проще модель и, в то же время, менее адекватна исследуемой системе.

Адекватность (от лат. adaequatus – приравненный, равный) – соответствие модели оригиналу, характеризуемое степенью близости свойств модели свойствам исследуемой системы.

Адекватность математических моделей зависит от:

- степени полноты и достоверности сведений об исследуемой системе;
- уровня детализации модели.

При этом моделирование может проводиться:

- в условиях полной определенности, означающей наличие точной информации обо всех исходных параметрах;
- в условиях неопределенности, обусловленных:
 - неточностью сведений о параметрах;
 - отсутствием сведений о значениях некоторых параметров.

Классификация моделей

Многообразие систем, проявляющееся в многообразии их структурно-функциональной организации, определяет использование множества разных моделей, которые могут быть классифицированы в зависимости от:

1) характера функционирования исследуемой системы:

- детерминированные, функционирование которых описывается детерминированными величинами;
- стохастические или вероятностные, функционирование которых описывается случайными величинами;

2) характера протекающих в исследуемой системе процессов:

- непрерывные, в которых процессы протекают непрерывно во времени;
- дискретные, в которых процессы меняют свое состояние скачкообразно в дискретные моменты времени;

3) степени достоверности исходных данных об исследуемой системе:

- с априорно известными параметрами;
- с неизвестными параметрами;

4) режима функционирования системы:

- стационарные, в которых характеристики не меняются со временем;
- нестационарные, в которых характеристики изменяются со временем;

5) назначения:

- статические или структурные, отображающие состав и структуру системы;
- динамические или функциональные, отображающие функционирование системы во времени;
- структурно-функциональные, отображающие структурные и функциональные особенности организации исследуемой системы;

6) способа представления (описания) и реализации:

- концептуальные или содержательные, представляющие собой описание (в простейшем случае словесное) наиболее существенных особенностей структурно-функциональной организации исследуемой системы;
- физические или материальные – модели, эквивалентные или подобные оригиналу (макеты) или процесс функционирования которых такой же, как у оригинала и имеет ту же или другую физическую природу;

- математические или абстрактные, представляющие собой формализованное описание системы с помощью абстрактного языка, в частности с помощью математических соотношений, отражающих процесс функционирования системы;
- программные (алгоритмические, компьютерные) – программы для ЭВМ, позволяющие наглядно представить исследуемый объект посредством имитации или графического отображения математических зависимостей, описывающих искомый объект.

Соответственно различают физическое, математическое и компьютерное моделирование.

Между классами систем и моделей необязательно должно существовать однозначное соответствие. Например, дискретные системы могут быть представлены в виде непрерывных моделей, а детерминированные системы – в виде вероятностных моделей, и наоборот.

В дальнейшем основное внимание уделяется математическому моделированию, широко используемому при исследовании сложных технических систем.

Математическое моделирование

Общие замечания

Математическое моделирование является составной частью научно-технического прогресса. Сущностью математического моделирования является то, что исследуемый объект управления заменяется его математической моделью и затем с помощью различных вычислительно-логических алгоритмов осуществляются вычислительные эксперименты не над самим объектом, явлением или процессом, а над их моделью, что позволяет без существенных затрат исследовать весь комплекс свойств и поведение объекта управления, а также достаточно полно и глубоко изучить его. Однако математическое моделирование приносит ощутимые результаты лишь при четкой формулировке основных понятий и предположений, анализа адекватности используемых моделей, а также определенной точности вычислительных алгоритмов.

Итак, модель представляет собой абстрактное описание системы. С помощью математической модели осуществляется связь между физической задачей, в которой будет использоваться результирующая оценка, и областью математических абстракций, в которой должна строиться эта оценка. Создание модели – это творческий процесс, само описание системы и уровень детализации которого определяет сам разработчик. Поэтому успех моделирования во многом зависит от того, насколько хорошо разработчик модели сможет выделить существенные элементы системы и определить взаимосвязи между ними. Суть математического моделирования

закljučается в замене исходного объекта его «образом», т.е. математической моделью, и в дальнейшем – в исследовании этой модели. Математические модели используют для прогнозирования поведения моделируемых объектов, на них выполняют различного рода контролируемые эксперименты в тех случаях, когда экспериментирование на реальных объектах практически невозможно из-за отсутствия последних или возникающей во время экспериментов опасности.

Классификация математических моделей

Математическая модель – это формальная система, представляющая собой конечное собрание символов и совершенно строгих правил оперирования этими символами в совокупности с интерпретацией свойств определенного объекта некоторыми отношениями, символами или константами.

Основными задачами математического моделирования являются определение необходимых параметров технологического объекта и выявление его структуры. Математическое моделирование как метод почти не имеет ограничений, так как моделирующая система:

- может состоять из элементов дискретного и непрерывного действия и подвергаться различным воздействиям сложной природы;

- обеспечивает простую перестройку решаемых задач и допускает описание систем достаточно большой размерности.

Математические модели могут быть аналитическими или имитационными (рис. 1.1).

Аналитические модели отражают процессы сложной системы, представленные в виде некоторых алгебраических, интегро-дифференциальных, конечно-разностных соотношений или логических условий. Аналитические модели являются наиболее формализованными с математической точки зрения, и исследователь в значительной мере абстрагируется от закономерностей реальной системы в рамках наиболее полно разработанных теорий.

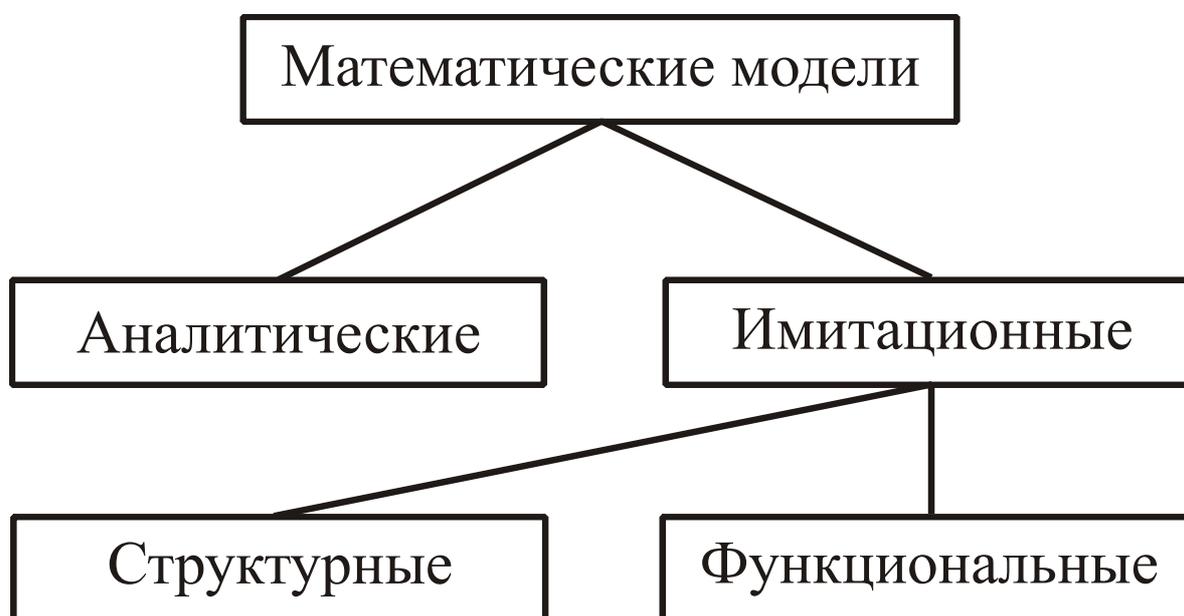


Рис. 1.1. Классификация моделей

Имитационные модели, в отличие от аналитических, с помощью средств вычислительной техники воспроизводят текущее функционирование технической системы в некотором масштабе времени. Понятие «имитационное моделирование» целесообразно связывать с процессом как построения математической модели системы, так и использования ее в **вычислительном эксперименте** для оценки показателей эффективности системы.

Вычислительный эксперимент – метод изучения устройств или физических процессов с помощью математического моделирования. Он предполагает, что вслед за построением математической модели проводится ее численное исследование, позволяющее «проиграть» поведение исследуемого объекта в различных условиях или модификациях.

Вычислительный эксперимент занимает промежуточное положение между физическим экспериментом и аналитическим исследованием.

Физический эксперимент при надлежащей постановке может дать исчерпывающие и надежные результаты. Однако во многих случаях предпочтение отдается вычислительному эксперименту ввиду того, что в нем в роли опытной установки выступает не конкретное физическое устройство, а программный продукт. Его синтез и последующие модификации в большинстве случаев требуют существенно меньших затрат, чем аналогичные действия над реальным объектом.

Кроме того, в физической модели зачастую невозможно воссоздать критические режимы или экстремальные ситуации. Вследствие этого математическое моделирование оказывается единственно возможным способом исследования.

Имитационное моделирование напоминает **физический эксперимент**, т.е. делает наглядными и промежуточные, и окончательные результаты. Если при аналитическом моделировании обеспечивается подобие характеристик объекта и модели, то при имитационном – подобие имеется в самих процессах, протекающих в модели и реальном объекте.

Иногда, когда задачи структурного синтеза удастся ставить и решать без учета особенностей физических процессов в объекте, целесообразно применять **структурные** имитационные математические модели, отражающие только структурные свойства объекта.

Моделирование сложных технологических объектов можно выполнять на принципах **функционального** моделирования, т.е. осуществлять разбиение модели на функциональные моделирующие блоки. Функциональные модели отражают структуру и процессы функционирования объекта и чаще всего имеют форму систем уравнений.