

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

Институт оптики и оптических технологий

Кафедра наносистем и оплотехники

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Новосибирск
СГГА

Введение

Данный курс посвящен вопросам теории моделирования и, в частности, математического моделирования; приведены классификация моделей и видов моделирования, методы оптимизации параметров модели. Особое внимание уделено применению методов математического моделирования в оптотехнике. Рассмотрены конкретные примеры моделирования оптического и тепловизионного изображений путем разработки математических и вычислительных моделей.

Моделирование — инструмент анализа и синтеза объектов (систем, процессов, явлений), используемый в самых различных областях жизнедеятельности человека: науке, технике, медицине, химии, в военном деле и др. Невозможно представить себе современную науку без широкого применения *математического моделирования*. Сущность этой методологии состоит в замене исходного объекта его "образом" — *математической моделью* — и дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов. Этот метод познания, конструирования, проектирования сочетает в себе многие достоинства как теории, так и эксперимента. Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью дает возможность безболезненно, относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых мыслимых ситуациях (преимущества теории). В то же время вычислительные (компьютерные, симуляционные, имитационные) эксперименты с моделями объектов позволяют, опираясь на мощь современных вычислительных методов и технических инструментов информатики, подробно и глубоко изучать объекты в достаточной полноте, недоступной чисто теоретическим подходам (преимущества эксперимента). Неудивительно, что методология математического моделирования бурно развивается, охватывая все новые сферы - от разработки технических систем и управления ими до анализа сложнейших экономических и социальных процессов. Возникли такие новые дисциплины, как «математическая экономика», «математическая химия», «математическая лингвистика» и т. д., изучающие математические модели соответствующих объектов и явлений, а также методы исследования этих моделей.

Элементы математического моделирования использовались с самого начала появления точных наук, и не случайно, что некоторые методы вычислений носят имена таких корифеев науки, как Ньютон и Эйлер, а слово "алгоритм" происходит от имени средневекового арабского ученого Аль-Хорезми. Впервые математические модели были использованы для решения практической задачи в 30-х годах в Великобритании при создании системы противовоздушной обороны. Для разработки данной системы были привлечены ученые различных специальностей. Система создавалась в условиях неопределенности относительно возможных действий противника, поэтому исследования проводились на адекватных математических моделях.

Второе "рождение" этой методологии пришлось на конец 40-х—начало 50-х годов XX века и было обусловлено по крайней мере двумя причинами. Первая из них — появление ЭВМ (компьютеров), хотя и скромных по нынешним меркам, но тем не менее избавивших ученых от огромной по объему рутинной вычислительной работы. Вторая - беспрецедентный социальный заказ — выполнение национальных программ СССР и США по созданию ракетно-ядерного щита, которые не могли быть реализованы традиционными методами. Математическое моделирование справилось с этой задачей: ядерные взрывы и полеты ракет и спутников были предварительно "осуществлены" в недрах ЭВМ с помощью математических моделей и лишь затем претворены на практике. Этот успех во многом определил дальнейшие достижения методологии, без применения которой в развитых странах ни один крупномасштабный технологический, экологический или экономический проект теперь всерьез не рассматривается (сказанное справедливо и по отношению к некоторым социально-политическим проектам).

Сейчас математическое моделирование вступает в третий принципиально важный этап своего развития, "встраиваясь" в структуры так называемого информационного общества. Впечатляющий прогресс средств переработки, передачи и хранения информации отвечает мировым тенденциям к усложнению и взаимному проникновению различных сфер человеческой деятельности. Без владения информационными "ресурсами" нельзя и думать о решении все более укрупняющихся и все более разнообразных проблем, стоящих перед мировым сообществом. Однако информация как таковая зачастую мало что дает для анализа и прогноза, для принятия решений и контроля за их исполнением. Нужны надежные способы переработки информационного "сырья" в готовый "продукт", т.е. в точное знание. История методологии математического моделирования убеждает: она может и должна быть интеллектуальным ядром информационных технологий, всего процесса информатизации общества.

К настоящему времени развитие информационных технологий привело к появлению высокоэффективных методов моделирования, рассчитанных на современные компьютеры. Прежде всего имеется ввиду применение профессиональных программ Matlab, Labview, Scilab.

1. Теория моделирования

1.1. Основные понятия

Модель и моделирование – это универсальные понятия, атрибуты одного из наиболее мощных методов познания в любой профессиональной области, познания объекта, процесса, явления. Модели и моделирование объединяют специалистов различных областей, работающих над решением межпредметных проблем, независимо от того, где эта модель и результаты моделирования будут применены.

Слово "модель" (лат. *modulus*) означает "мера", "способ", "сходство с какой-то вещью". Первоначально моделью называли некое вспомогательное средство, объект, который в определенных ситуациях заменял другой объект.

Например, манекен в определенном смысле заменяет человека, являясь моделью человеческой фигуры. Древние философы считали, что отобразить природу можно только с помощью логики и правильных рассуждений, т.е. по современной терминологии с помощью языковых моделей. Через несколько столетий девизом английского Научного общества стал лозунг: «Ничего словами!», признавались только выводы, подкрепленные экспериментально или математическими выкладками.

Моделью называется объект-заместитель, который при определенных предположениях, гипотезах о поведении оригинала позволяет замещать оригинал для его лучшего исследования, воспроизводя интересующие нас свойства и характеристики оригинала, причем имеет существенные преимущества:

- дешевизну;
- наглядность;
- легкость оперирования и т.п.

Проблема моделирования состоит из трех взаимосвязанных задач:

- построение новой (или адаптация известной) модели;
- исследование модели (разработка метода исследования или адаптация, применение известного);
- использование (на практике или теоретически) модели.

Схема построения модели M системы S с входными сигналами X и выходными сигналами Y изображена на рис. 2.1.

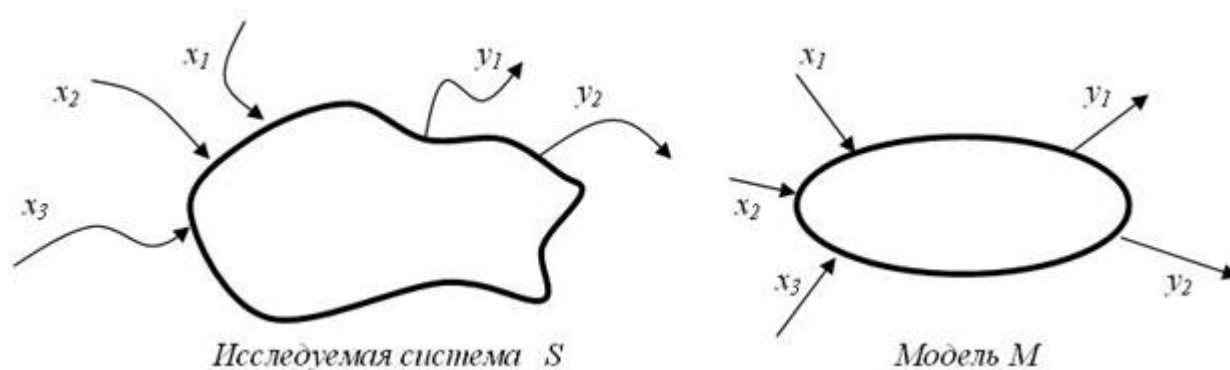


Рис. 2.1. Схема построения модели

Если на вход M поступают сигналы из X и на выходе появляются сигналы из Y , то задан закон $Y=F(X)$ функционирования модели, системы.

1.2. Классификация видов моделирования

В силу многозначности понятия «модель» в науке и технике не существует единой классификации видов моделирования: классификацию можно проводить по характеру моделей, по характеру моделируемых объектов, по сферам приложения моделирования. В данном пособии приводится

классификация наиболее применимых, по мнению авторов, видов моделирования в оптотехнике и тепловидении.

В зависимости от характера изучаемых процессов в системе S виды моделирования могут быть разделены на: детерминированные и стохастические; статические и динамические; дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные.

Детерминированное моделирование отображает детерминированные процессы, то есть процессы, в которых предвидится отсутствие всяких случайных влияний.

Стохастическое моделирование отображает вероятностные процессы и случаи. Анализируется ряд реализаций случайного процесса и оцениваются средние характеристики, то есть набор однородных реализаций.

Статическое моделирование описывает поведение объекта в данный момент времени.

Динамическое моделирование отображает поведение объекта во времени.

Дискретное моделирование отображает дискретные процессы, **непрерывное** моделирование - непрерывные процессы, **дискретно-непрерывное** моделирование - оба процесса.

В зависимости от формы представления объекта (системы S) выделяют: вымышленное и реальное.

Вымышленное (абстрактное) моделирование применяется, когда невозможно или слишком дорогостояще материальное создание. Делится на:

- наглядное;
- символическое.

Наглядное моделирование - на базе представления человека об объекте создаются гипотетические модели, аналоги и макеты. Гипотетическое моделирование - выбирается гипотеза о реальном объекте, гипотеза, которая отображает уровень знаний об объекте, когда знаний не хватает для формализации. Аналоговое моделирование использует аналогии разных уровней (полная, неполная, приближительная). Макетирование - в основе выполненного макета лежит аналогия причинно-наследственных связей.

Символическое моделирование - искусственный процесс создания логического объекта-заместителя реального с помощью системы знаков и символов. Знаковое моделирование - вводятся знаки, условные обозначения отдельных понятий, составляются из знаков слова и предложения; операции объединения, пересечения и дополнения теории множеств дают описание объекта. Языковое моделирование - в основе лежит словарь однозначных понятий.

Реальное (натурное) моделирование - исследование на реальном объекте и обработке результатов экспериментов на основе теории подобия. Научный эксперимент, комплексные исследования, производственный эксперимент (исследуется широкая автоматизация, вмешательство в управление реальным процессом, создание критических ситуаций).

Физическое моделирование - на установках, которые сохраняют природу явлений при физическом подобии.

Кибернетическое моделирование - нет непосредственно физического подобия. Отображается S как "черный ящик" рядом входов и выходов.

При моделировании сложных объектов (систем) рассматривают: **макромоделирование** - моделирование системы в целом на уровне подсистем; **микромоделирование** - моделирование систем или подсистем на уровне элементов.

Математическое моделирование - замена реального объекта моделью, свойства которой описаны математическими формулами. Делится на аналитическое, имитационное и комбинированное.

Приведем примеры применения математического моделирования в различных областях:

энергетика: управление ядерными реакторами, моделирование термоядерных процессов, прогнозирование энергетических процессов, управление энергоресурсами и т.д.;

экономика: моделирование, прогнозирование экономических и социально-экономических процессов, межбанковские расчеты, автоматизация работ и т.д.;

космонавтика: расчет траекторий и управления полетом космических аппаратов, моделирование конструкций летательных аппаратов, обработка спутниковой информации и т.д.;

медицина: моделирование, прогнозирование эпидемий, инфекционных процессов, управление процессом лечения, диагностика болезней и выработка оптимальных стратегий лечения и т.д.;

производство: управление техническими и технологическими процессами и системами, ресурсами (запасами), планирование, прогнозирование оптимальных процессов производства и т.д.;

экология: моделирование загрязнения экологических систем, прогноз причинно-следственных связей в экологической системе, откликов системы на те или иные воздействия экологических факторов и т.д.;

1.3. Классификация моделей

Виды моделей можно классифицировать следующим способом (см. рис.2.2):



Рис.2.2. Классификация моделей

Модели могут быть относительно полными и неполными. **Полная** модель характеризует все основные свойства объекта во времени и в пространстве. **Неполная** модель характеризует ограниченную часть свойств объекта. Теория подобия утверждает, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене объекта точно таким же. Но тогда теряется смысл моделирования.

Модель **детерминированная**, если для каждой допустимой совокупности входных параметров она позволяет определять однозначно набор выходных параметров; в противном случае модель **недетерминированная**, **стохастическая** (вероятностная).

Модель **статическая**, если среди параметров описания модели нет (явно) временного параметра. Модель **динамическая**, если среди параметров модели явно выделен временной параметр.

Модель **дискретная**, если описывает поведение оригинала лишь дискретно, в определенные моменты времени. Модель **непрерывная**, если описывает поведение оригинала на всем промежутке времени.

Есть и другие виды моделей:

Модель **функциональная**, если представима системой функциональных соотношений (например, уравнений).

Модель **теоретико-множественная**, если представима некоторыми множествами и отношениями их и их элементов.

Модель **логическая**, если представима предикатами, логическими функциями и отношениями.

Модель **информационно-логическая**, если она представима информацией о составных элементах, подмоделях, а также логическими отношениями между ними.

Модель **игровая**, если она описывает, реализует некоторую игровую ситуацию между элементами (объектами и субъектами игры).

Модель **алгоритмическая**, если она описана некоторым алгоритмом или комплексом алгоритмов, определяющим ее функционирование, развитие.

Вычислительная модель – программа, реализующая алгоритмическую модель.

Модель **графовая**, если она представима графом (отношениями вершин и соединяющих их ребер) или графами и отношениями между ними.

Модель **языковая**, лингвистическая, если она представлена некоторым лингвистическим объектом, формализованной языковой системой или структурой. Иногда такие модели называют вербальными, синтаксическими и т.п.

Модель **визуальная**, если она позволяет визуализировать отношения и связи моделируемой системы, особенно в динамике.

Модель **натурная**, если она есть материальная копия оригинала.

Модель **имитационная**, если она построена для испытания или изучения, проигрывания возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров модели.

Пример. Модель $F = am$ – статическая модель движения тела по наклонной плоскости. Динамическая модель типа закона Ньютона: $F(t) = a(t)m(t)$ или, еще более точно и лучше, $F(t) = s''(t)m(t)$. Если рассматривать только $t = 0.1, 0.2, \dots, 1$ (с), то модель $S_t = gt^2/2$ или числовая последовательность $S_0 = 0, S_1 = 0.01g/2, S_2 = 0.04g, \dots, S_{10} = g/2$ может служить дискретной моделью движения свободно падающего тела. Модель $S = gt^2/2, 0 < t < 10$ непрерывна на промежутке времени $(0;10)$. Если в модели $S = gt^2/2, 0 < t < 10$ мы учтем случайный параметр – порыв ветра с силой p при падении тела, например, просто так: $S(p) = g(p)t^2/2, 0 < t < 10$, то мы получим стохастическую модель (уже не свободного!) падения.

Пусть модель экономической системы производства товаров двух видов 1 и 2, соответственно, в количестве x_1 и x_2 единиц и стоимостью каждой единицы товара a_1 и a_2 на предприятии описана в виде соотношения $a_1x_1 + a_2x_2 = S$, где S – общая стоимость произведенной предприятием всей продукции (вида 1 и 2). Можно ее использовать в качестве имитационной модели, определяя общую стоимость S в зависимости от тех или иных значений объемов производимых товаров. Приведенные выше модели – детерминированные.

Вид модели зависит от связей и отношений его подсистем и элементов, окружения, а не от его физической природы. Математические описания (модели) динамики эпидемии инфекционной болезни, радиоактивного распада, усвоения второго иностранного языка, выпуска изделий производственного предприятия и т.д. являются одинаковыми с точки зрения их описания, хотя процессы различны.

1.4. Свойства модели

Основные свойства любой модели:

- подобие;
- адекватность;
- приближенность;
- упрощенность;
- целенаправленность;
- конечность;
- информативность;
- полнота;
- замкнутость и др.

Чтобы некоторая материальная конструкция могла быть моделью, т.е. замещала в каком-то отношении оригинал, между оригиналом и моделью должно быть установлено *отношение подобия*. Существуют разные способы установления такого подобия, что придает моделям особенности, специфичные для каждого способа.

Прежде всего, это подобие, устанавливаемое в процессе создания модели. Назовем такое *подобие прямым*. *Примером такого подобия являются фотографии, масштабированные модели самолетов, кораблей, макеты зданий, выкройки, куклы и т.д.*

Следует помнить, что как бы хороша ни была модель, она все-таки лишь заменитель оригинала только в определенном отношении. Даже тогда, когда модель прямого подобия выполнена из того же материала, что и оригинал, т.е. подобна ему субстратно, возникают проблемы переноса результатов моделирования на оригинал. Например, при испытании уменьшенной модели самолета в аэродинамической трубе задача пересчета данных модельного эксперимента становится нетривиальной и возникает разветвленная, содержательная теория подобия, позволяющая привести в соответствие масштабы и условия эксперимента, скорость потока, вязкость и плотность воздуха. Трудно достигается взаимозаменяемость модели и оригинала в фотокопиях произведений искусства, голографических изображениях предметов искусства.

Второй тип подобия между моделью и оригиналом называется *косвенным*. Косвенное подобие между оригиналом и моделью объективно существует в природе и обнаруживается в виде достаточной близости или совпадения их абстрактных математических моделей и вследствие этого широко используется в практике реального моделирования. *Наиболее характерным примером может служить электромеханическая аналогия между маятником и электрическим контуром.*

Оказалось, что многие закономерности электрических и механических процессов описываются одинаковыми уравнениями, различие состоит в разной физической интерпретации переменных, входящих в это уравнение. Роль моделей, обладающих косвенным подобием, очень велика и роль аналогий (моделей косвенного подобия) в науке и практике трудно переоценить. Аналоговые вычислительные машины позволяют найти решение почти всякого дифференциального уравнения, представляя собой, таким образом, модель,

аналог процесса, описываемого этим уравнением. Использование электронных аналогов в практике определяется тем, что электрические сигналы легко измерить и зафиксировать, что дает известные преимущества модели.

Третий, особый класс моделей составляют модели, подобие которых оригиналу не является ни прямым, ни косвенным, а *устанавливается в результате соглашения*. Такое подобие называется *условным*. С моделями условного подобия приходится иметь дело очень часто, поскольку они являются способом материального воплощения абстрактных моделей. *Примерами условного подобия служат деньги (модель стоимости), удостоверение личности (модель владельца), всевозможные сигналы (модели сообщения)*.

Например, сигналом наступления кочевников у древних славян служили костры на курганах. Бумажные денежные знаки могут играть роль модели стоимости только до тех пор, пока в среде их обращения существуют правовые нормы, поддерживающие их функционирование. Керенки в настоящее время имеют только историческую ценность, но это не деньги, в отличие от царских золотых монет, которые представляют материальную ценность из-за наличия благородного металла. Особенно наглядна условность знаковых моделей: цветок в окне явочной квартиры Штирлица означал провал явки, ни сорт, ни цвет не имели никакого отношения к знаковой функции цветка.

Адекватность означает, что требования полноты, точности и правильности (истинности) модели выполнены не вообще, а лишь в той мере, которая достаточна для достижения поставленной цели.

В ряде случаев удастся ввести меру адекватности некоторых целей, т.е. указать способ сравнения двух моделей по степени успешности достижения цели с их помощью. Если к тому же есть способ количественно выразить меру адекватности, то задача улучшения модели существенно облегчается. Именно в таких случаях можно количественно ставить вопросы об идентификации модели, т.е. о нахождении в заданном классе моделей наиболее адекватной, об исследовании чувствительности и устойчивости моделей, т.е. зависимости меры адекватности модели от ее точности, об адаптации моделей, т.е. подстройке параметров модели с целью повышения ее точности.

Приближенность модели не следует путать с адекватностью. Приближенность модели может быть очень высокой, но во всех случаях модель - это другой объект и различия неизбежны (единственной совершенной моделью любого объекта является сам объект). Величину, меру, степень приемлемости различия можно ввести, только соотнося его с целью моделирования. Так некоторые подделки произведений искусства даже эксперты не могут отличить от оригинала, но все-таки это всего лишь подделка, и с точки зрения вложения капитала не представляет никакой ценности, хотя для любителей искусства ничем не отличается от оригинала. У английского фельдмаршала Монтгомери во время войны был двойник, появление которого на разных участках фронта намеренно дезинформировало разведку немцев.

Упрощенность является сильным средством для выявления главных эффектов в исследуемом явлении: это видно на примере таких явлений физики, как идеальный газ, абсолютно упругое тело, математический маятник и абсолютно твердый рычаг.

Есть еще один, довольно загадочный, аспект упрощенности модели. Почему-то оказывается, что из двух моделей, одинаково хорошо описывающих систему, та модель, которая проще, ближе к истине. Геоцентрическая модель Птолемея позволяла рассчитать движение планет, хотя и по очень громоздким формулам, с переплетением сложных циклов. Переход к гелиоцентрической модели Коперника значительно упростил расчеты. Древние говорили, что простота - печать истины.

1.5. Этапы создания модели

Этапы создания модели приведены на рис.2.3.



Рис.2.3. Этапы создания модели

При конструировании модели любого физического объекта в начале разрабатывается его физическая модель, в которой описывается принцип действия. Затем разрабатывается математическая модель, в которой устанавливаются количественные зависимости между входными и выходными параметрами объекта. На основе математической модели разрабатывается вычислительная модель, представляющая собой программу для ЭВМ. Имея вычислительную модель, можно проводить вычислительный эксперимент -

исследование характеристик объекта путём многократного выполнения программы вычислительной модели при разных исходных данных.

Если движение и преобразование информации в рамках вычислительной модели имитирует физические процессы в объекте моделирования, то вычислительный эксперимент называется имитационным моделированием.

Итерационный процесс разработки моделирования отражён на рисунке 2.3. Если результаты вычислительного эксперимента радикально не согласуются с результатами физического эксперимента, то выдвигается новая гипотеза физической модели. Если результаты вычислительного эксперимента согласуются с результатами физического эксперимента, но погрешность превышает допустимые нормы, то корректируется математическая модель. Если же процесс моделирования недостаточно робастный и требует от пользователя много трудовых затрат, а от ЭВМ - больших ресурсов, то требуется корректировка вычислительной модели.

При работе с моделью проектировщик задаёт как входные воздействия, так и внутренние параметры системы, определяющие преобразовательные свойства последней.

Процесс анализа некоторой системы с помощью вычислительной модели показан на рисунке 2.4.

Математически этот процесс можно представить в виде выражения: $Y = F\{X\}$

где X - вектор входных воздействий, т. е. набор числовых значений различных параметров сигналов, поступающих на вход системы;

Y - вектор отклика системы, т.е. набор числовых значений, характеризующих реакцию системы на заданные входные воздействия;

F - обобщённый оператор, характеризующий процессы преобразования информации в модели.



Рис.2.4. Процесс анализа системы с помощью вычислительной модели

Математическое моделирование

Различают вербальные, физические и математические модели и соответствующее моделирование.

Вербальная модель описывает объект на национальном и профессиональных языках. Человек постоянно создает вербальные модели его окружающей среды и руководствуется ими при принятии решений. Чем точнее модель отображает мир, тем эффективнее при прочих равных условиях деятельность человека. На естественном или профессиональном языке можно описать любой объект или явление. Сложные модели прошлой, настоящей, будущей жизни людей создают писатели. Но вербальные модели позволяют анализировать связи между ее элементами лишь на качественном уровне.

Физическая модель представляет материальный аналог реального объекта, который можно подвергать в ходе анализа различным воздействиям и получать количественные соотношения между этими воздействиями и результатами. Часто в качестве физических моделей исследуют уменьшенные копии крупных объектов, для изучения которых отсутствует инструментарий. Модели самолетов и автомобилей продувают в аэродинамических трубах, макеты домов для сейсмических районов испытывают на вибростендах и т.д. Но возможности физического моделирования объектов защиты и угроз ограничены, так как трудно и дорого создать физические аналоги реальных объектов. Действительно, для того, чтобы получить физическую модель канала утечки, необходимо воспроизвести его элементы, в том числе среду, а также априори неизвестные средства и действия злоумышленника.

По мере развития вычислительной математики и техники расширяется сфера применения математического моделирования. Математическое моделирование предусматривает создание и исследование математических моделей реальных объектов и процессов. Математические модели могут разрабатываться в виде аналитических зависимостей выходов системы от входов, уравнений для моделирования динамических процессов в системе,

статистических характеристик реакций системы на воздействия случайных факторов. Математическое моделирование позволяет наиболее экономно и глубоко исследовать сложные объекты, чего нельзя добиться с помощью вербального моделирования или что чрезмерно дорого при физическом моделировании. Возможности математического моделирования ограничиваются уровнем формализации описания объекта и степенью адекватности.

Для моделирования сложных систем все шире и шире применяется метод математического моделирования, называемый имитационным моделированием. Оно предполагает определение реакции модели системы на внешние воздействия, которые генерирует ЭВМ в виде случайных чисел. Статистические характеристики (математическое ожидание, дисперсия, вид и параметры распределения) этих случайных чисел должны с приемлемой точностью соответствовать характеристикам реальных воздействий. Функционирование системы при случайных внешних воздействиях описывается в виде алгоритма действий системы и их характеристик в ответ на каждое воздействие на входе. Таким образом, имитируется работа сложной системы в реальных условиях. Путем статистической обработки выходных результатов при достаточно большой выборке входных воздействий получаются достоверные оценки работы системы. Например, достаточно объективная оценка эффективности системы защиты информации при многообразии действий злоумышленников, которые с точки зрения службы безопасности носят случайный характер, возможна на основе имитационного моделирования системы защиты.

Другое перспективное направление математического моделирования, которое представляет интерес для моделирования объектов защиты и угроз информации - компьютерные деловые игры. Компьютерные деловые игры - аналог деловых игр людей, применяемый для решения проблем в организационных структурах. Деловая игра имитирует процесс принятия решения в сложных условиях недостаточности достоверной информации

людьми, играющими роль определенных должностных лиц. Участниками компьютерной игры являются два человека или компьютер и человек. Причем за сотрудника службы выступает человек, а злоумышленника - компьютер или человек. Например, злоумышленник - компьютер устанавливает в случайном месте закладное устройство, а другой игрок - человек производит поиск закладного устройства с помощью различных выбранных средств по показаниям виртуальных приборов моделей этих средств.

В чистом виде каждый вид моделирования используется редко. Как правило, применяются комбинации вербального, физического и математического моделирования. С вербального моделирования начинается сам процесс моделирования, так как нельзя создать физические или математические модели, не имея образного представления об объекте и его словесного описания. Если есть возможность исследовать свойства объекта на физической модели, то наиболее точные результаты обеспечиваются при физическом моделировании.

Моделирование объектов защиты предусматривает определение источников с защищаемой информацией и разработку моделей материальных объектов защиты. К объектам защиты относятся источники защищаемой информации и контролируемые зоны, в которых находятся эти источники.

В результате этого этапа определяются:

- 1) модели объектов защиты с указанием всех источников информации с описанием факторов, влияющих на их безопасность;
- 2) цена защищаемой информации каждого -го источника.

На основе полученных результатов на этапе моделирования угроз выявляются угрозы безопасности информации, производится оценка ожидаемого от их реализации потенциального ущерба и ранжирование угроз по потенциальному ущербу. При моделировании угроз определяются риск (вероятность) угрозы и ущерб в случае ее реализации.

1.2 Полнота и достоверность исходных данных

Полнота представляет собой показатель, характеризующий достаточность информации для решения соответствующих задач. Поэтому, чтобы иметь возможность определять данный показатель, необходимо для каждой задачи или группы задач заблаговременно составить перечень сведений, которые требуются для их решения. Для представления таких сведений удобно воспользоваться так называемыми объектно-характеристическими таблицами (ОХТ). ОХТ - это двухмерная матрица, по строкам которой приведен перечень наименований объектов, процессов или явлений, входящих в круг интересов соответствующей задачи, а по столбцам - наименования их характеристик (параметров), необходимых для решения задачи.

Значения характеристик при этом будут располагаться на пересечении соответствующих строк и столбцов. Совокупность всех ОХТ, необходимых для обеспечения решения всех задач объекта, называется его информационным кадастром. Для оценки полноты информации часто используют следующую методику.

Обозначим через элемент, находящийся в i -й строке и j -м столбце интересующего нас компонента соответствующей ОХТ, причем:

Тогда в качестве коэффициента полноты информации в данной ОХТ можно принять величину:

,

где n - число строк, а m - число столбцов ОХТ.

Однако при этом не учитывается важность (значимость) различных элементов. В целях устранения этого недостатка положим, что есть коэффициент важности элемента i -й строки и j -го столбца. Тогда очевидно, в качестве меры взвешенной полноты информации в рассматриваемой ОХТ можно принять величину:.

Достоверность определяется как «уровень разумной уверенности в истинности некоего высказывания, который удовлетворяет некоторым правилам непротиворечивости и в соответствии с этими правилами формально может быть выражен числом».

Известные подходы к решению проблемы оценки достоверности связаны с применением теоремы Байеса и теории нечетких множеств, на основе которых в настоящее время разработаны и применяются в экспертных системах практические способы объединения свидетельств, регистрирующих качественные и логико-семантические связи между фрагментами базы данных.

Используя идею байесовского подхода, можно поставить вопрос о достоверности фрагментов информационной базы данных в более общем плане, рассматривая любой ее фрагмент как гипотезу, а фрагменты, с которыми он связан, как свидетельства относительно фрагмента-гипотезы. Под фрагментом информационной базы данных понимают часть содержания или структуры, обладающую свойством дискретности и независимости, т.е. некоторую совокупность данных или высказываний, имеющую самостоятельный смысл. Достоверность (Д) фрагмента поступающего в информационную базу данных, зависит от достоверности источника информации и методики ее получения.

Имитационное моделирование

Под термином «имитационное моделирование» («имитационная модель») обычно подразумевают вычисление значений некоторых характеристик развивающегося во времени процесса путем воспроизведения течения этого процесса на компьютере с помощью его математической модели, причем получить требуемые результаты другими способами или невозможно, или крайне затруднительно. Воспроизведение течения процесса на компьютере с помощью математической модели принято называть имитационным экспериментом. В этом словосочетании имеется претензия на замену реальных экспериментов экспериментами с математическими моделями. Словосочетания «математическая имитация», а также «компьютерная имитация» вместо словосочетания «имитационное моделирование» будут использоваться, когда будет необходимо подчеркнуть эту претензию. Широкое использование имитационного моделирования стало возможным на определенном этапе развития информационных технологий, т. е. средств и инструментов сбора, передачи, обработки, хранения информации. Здесь имеются в виду не только компьютеры, но и средства вычислительной математики, многоуровневые инструменты программирования, системы управления базами данных.

Имитационные модели относятся к классу моделей, которые являются системой соотношений между характеристиками описываемого процесса. Эти характеристики разделяют на внутренние («эндогенные», «фазовые переменные») и внешние («экзогенные», «параметры»). Приблизительно внутренние характеристики — это те, значения которых намереваются узнать с помощью средств математического моделирования; внешние — такие, от которых внутренние характеристики существенно зависят, но обратная зависимость (с практически приемлемой точностью) не имеет места. Модель, способная давать прогноз значений внутренних характеристик, должна быть замкнутой («замкнутая модель»), в том смысле, что ее соотношения позволяют вычислять внутренние характеристики при известных внешних.

Процедура определения внешних характеристик модели называется ее идентификацией, или калибровкой. Математические модели описанного класса (к ним относят и имитационные модели) определяют отображение, позволяющее получить по известным значениям внешних характеристик значения внутренних. Далее это отображение будет называться отображением, ассоциированным с моделью. Еще раз подчеркнем то обстоятельство, что в основе моделей рассматриваемого класса лежит постулат о независимости внешних характеристик от внутренних, а соотношения модели являются формой записи ассоциированного с ней отображения.

В имитационном моделировании очень заметна технологическая сторона математического моделирования. Слово «технология» означает «совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств формы сырья, материала или полуфабриката в процессе производства» (Современный словарь иностранных слов. — М.: Русский язык, 1992). В нашем случае «сырьем» служат фигурирующие в модели внешние характеристики; совокупностью методов обработки сырья, т. е. его превращения в значения интересующих нас характеристик реального мира — следующие действия, которые далее будут называться этапами технологии имитационного моделирования:

- 1) составление модели процесса;
- 2) проверка замкнутости модели и разработка процедуры вычисления внутренних характеристик по известным внешним характеристикам;
- 3) разработка компьютерной программы для вычисления внутренних характеристик, а также других характеристик, являющихся функциями внутренних и внешних («выходов показателей»);
- 4) идентификация модели, т. е. определение значений ее внешних характеристик;
- 5) верификация модели, т. е. выяснение границ ее применимости;
- 6) организация эксплуатации модели, т. е. выполнение имитационных экспериментов.

Таким образом, технология имитационного моделирования — способ извлечения новой информации (т. е. новых «знаний»), а именно значений внутренних характеристик модели, из той, которой уже располагаем — значений внешних характеристик.

Технология имитационного моделирования встроена во всю современную технологическую структуру: на разных этапах этой технологии используются разные инструменты, являющиеся элементами современной технологической структуры, и люди, обладающие разными знаниями и квалификацией. С одной стороны, развитие технологии имитационного моделирования зависит от развития технологической структуры, а с другой — технология имитационного моделирования способствует развитию современной технологической структуры. Иначе, общественное производство таково, что создание в его рамках практически любой, даже самой простой вещи требует использования всей существующей технологической структуры. Не является исключением и «производство прогнозов» с помощью имитационного моделирования. Ни современная структура производства, ни современная структура потребления не могут существовать, например, без передачи информации через искусственные спутники Земли. Для этого необходим прогноз их местоположений с помощью радиолокационных станций в производстве которых задействована вся современная технологическая структура. Достаточно, впрочем, сослаться на необходимость использования компьютеров при прогнозировании местоположений спутников. В производстве компьютеров также задействована вся современная технологическая структура.

При изучении естественных физических процессов имитационное моделирование есть результат развития математического моделирования в данной области. Первоначально, с помощью исследования аналитическими средствами математических моделей в данной области выясняются основные свойства протекающих в ней процессов. С течением времени развитие данной области требует все более точных прогнозов, что вызывает появление все более сложных моделей, учитывающих все больше влияющих на прогнозируемый

процесс деталей. Аналитические средства становятся не применимыми, и получение необходимых прогнозов возможно только с помощью имитационных моделей.

Другая причина появления имитационных моделей состоит либо в высокой стоимости реальных экспериментов, либо в невозможности проведения экспериментов, например в технической сфере. Так, запрещение испытаний ядерного оружия привело не к отказу от его совершенствования (таков характер современных межгосударственных отношений: каждое государство, принадлежащее «ядерному клубу», не может «отстать» от других государств этого клуба в деле совершенствования ядерного оружия — а к развитию компьютерной имитации процессов, происходящих при ядерном взрыве. В настоящее время в ряде случаев компьютерной имитации движения проектируемого самолета в воздухе и вычислению на этой основе сил и моментов, действующих на самолет, доверяют больше, чем экспериментальным результатам, получаемым в результате продувок моделей самолетов в аэродинамических трубах (при продувках моделей в трубах трудно сохранить все необходимые параметры подобия).

Невозможность выполнить реальные эксперименты характерна также для социально-экономических и экологических процессов, поэтому имитационное моделирование в этих областях — одно из основных инструментов изучения и прогнозирования процессов. Среди различных моделей социально-экономических и экологических процессов, которые можно считать имитационными, выделяются два множества моделей. Одно из них используется для изучения общих свойств и закономерностей, присущих социально-экономическим процессам. Во многих случаях модели, принадлежащие этому множеству, описывают процессы, протекающие не в реальном, а виртуальном мире. Другое множество, наоборот, состоит из моделей, носящих утилитарно практический характер и используемых для анализа реально протекающих производственно-экономических и бизнес-процессов.

Следующие качества, характерные для имитационных моделей, связаны с тем, что для получения требуемых результатов необходимо выполнять имитационные эксперименты на компьютере:

- наличие в модели случайных внешних характеристик;
- наличие в модели внешних управлений, т. е. управлений, которые должны задаваться «извне» экспертами для того, чтобы получить прогноз внутренних характеристик;
- создаваемая моделью иллюзия реальности;
- нахождение модели на границе возможностей математического моделирования, взаимодействие с исследованиями, выполняемыми гуманитарными средствами. Имитационная модель необязательно обладает этими качествами одновременно, но по крайней мере одно такое качество присутствует. Дадим комментарии этим качествам.

Если в модели имеются случайные внешние характеристики, то и внутренние характеристики, и сам процесс являются случайными: в любой момент времени его характеристики — случайные величины. Имитационные эксперименты тогда воспроизводят реализации случайного процесса. Для того чтобы определить статистические характеристики случайного процесса, необходимо выполнить «достаточное» число таких реализаций (какое именно — оценивается средствами математической статистики в ходе самих экспериментов). Иначе, необходимо многократно воспроизводить течение процесса с помощью его имитационной модели. Заметим, что словосочетание «имитационное моделирование» появилось первоначально именно в теории случайных процессов и математической статистике как способ вычисления статистических характеристик случайных процессов путем многократного воспроизведения его течения с помощью модели этого процесса.

Вскоре после начала использования методов прикладной математики в управлении экономикой, планировании, исследовании операций, проектировании термины «имитация», «имитационный эксперимент» приобрели в этих областях смысл, не совпадающий с их первоначальной

трактовкой в теории случайных процессов и математической статистике. Этим термином стали обозначать способ выбора рационального управления сложным процессом (рационального плана, рациональной конструкции проектируемого изделия), состоящий в следующем. Некоторым образом разрабатываются варианты управлений (планов, конструкций). Затем варианты сравниваются. Для этого при каждом варианте процесс (функционирование проектируемого изделия) воспроизводится с помощью его математической модели. Сравнение происходит либо по некоторым формальным критериям, либо носит неформальный характер, причем, чем сложнее используемая модель, чем больше она содержит реальных факторов, влияющих на принятие решений, тем более естественна неформальная оценка сравниваемых результатов. Математические модели, ориентированные на такое их использование, получили у специалистов в области управления, планирования, проектирования название «имитационные», процесс их составления стал называться имитационным моделированием, а каждая акция воспроизведения процесса (функционирования проектируемого изделия) — имитационным экспериментом.

Если изучаемый процесс — случайный, то для сравнения вариантов требуется выполнять так называемую имитацию, т. е. вычислять статистические характеристики этого случайного процесса путем набора необходимого количества реализаций (предполагается, что аналитическими средствами вычислить статистические характеристики нельзя), и именно эти статистические характеристики сравнивать.

Даже в этом случае специалисты в области управления, планирования, проектирования и исследования операций под термином «имитация» имеют в виду не способ вычисления характеристик случайных процессов путем набора статистики (для них это некоторая необходимая техническая деталь), а то, что альтернативные варианты управлений (планов, конструкций проектируемого объекта) являются внешними по отношению к модели процесса, т. е. задаются «извне». Они будут называть воспроизведение процесса имитацией и в случае,

когда процесс детерминирован. Для них термин «имитация» имеет смысловую нагрузку противопоставления термину «оптимизация», в то время как для специалистов в области теории случайных процессов и математической статистики термин «имитация» несет оттенок противопоставления аналитическим методам расчета статистических характеристик случайного процесса.

Качество имитационных моделей, состоящее в создаваемой моделью иллюзии реальности, существенно при создании тренажеров, например, в аэрокосмической области, при управлении АЭС. Необходимо также отметить индустрию создания виртуальной реальности в компьютерных играх. Можно ожидать, что виртуальная реальность через некоторое время будет существенной составляющей структуры потребления людей.

Прокомментируем, наконец, качество имитационных моделей, состоящее в их позиции на границе применимости средств математического моделирования для анализа и прогноза сложных процессов, систем, явлений. Процессы, прогноз которых (в пределах практически необходимой точности) доступен в настоящее время средствами математического моделирования, будут называться «простыми». Тогда те явления, процессы, системы, прогноз которых с необходимой практически точностью не доступен в настоящее время средствами математической имитации, однако может быть дан специалистами в соответствующей сфере деятельности — экспертами, будут естественно называться «сложными». Введенная терминология [17] подчеркивает очевидный аспект двойственности между математическими и гуманитарными методами анализа и прогноза. Альтернативная терминология — трактовка математических методов анализа и прогноза как «жестких», гуманитарных — как «мягких».

Сложные системы

Дискретные и непрерывные динамические системы В имитационных моделях внутренние характеристики являются функциями времени, и соотношения модели должны однозначно определять эти функции, если известны фигурирующие в этих соотношениях характеристики, объявленные внешними. Интуитивно понятно, что для прогноза значений характеристик развивающегося во времени процесса необходимо знать значения этих характеристик в некоторый «начальный» момент времени. На самом деле необходимость иметь значения внутренних характеристик в начальный момент времени для того, чтобы с помощью модели дать прогноз их значений в последующие моменты времени, является предположением относительно характера процесса. Не будем останавливаться на анализе этого предположения, поскольку отказ от него приводит к «экзотическим» процессам, для которых трудно найти какие-либо реальные аналоги. (С этим обстоятельством и связана «интуитивная очевидность», о которой шла речь выше.) Таким образом, начальные значения внутренних характеристик моделей, описывающих развивающиеся во времени процессы, следует считать внешними характеристиками этого процесса. Более общей ситуацией для получения прогноза значений внутренних характеристик модели является необходимость знать не только их начальные значения, но и их значения в каждый момент времени некоторого временного отрезка, предшествующего начальному моменту времени.

Пусть известен отрезок времени $[t_0, T]$, на котором желательно получить прогноз значений некоторых характеристик, а t_k — некоторый момент времени, принадлежащий отрезку $[t_0, T]$. Пусть значения характеристик, которые подлежат прогнозу, известны в момент t_k . Замкнутая модель, удовлетворяющая предположениям, о которых шла речь в предыдущем абзаце, должна позволить вычислить значения интересующих нас характеристик в моменты t , принадлежащие отрезку $[t_k, T]$.

Что необходимо знать для того, чтобы, располагая значениями характеристик в некоторый момент t_k , узнать их значения в некоторый следующий момент $t_{k+1} = t_k + \Delta t$? Ответ очевиден: необходимо (и достаточно) знать средние скорости изменения этих характеристик на отрезке $[t_k, t_{k+1}]$ в зависимости от их значений в данный момент t_k . Предположим, что характеристики, о которых идет речь, уже разделены на внутренние и внешние, т. е. известны все «внешние» воздействия на изучаемый процесс, который на эти внешние воздействия не оказывает влияния. Обозначим значения внутренних характеристик процесса, подлежащего моделированию, в момент t_k через $y_1(t_k), \dots, y_n(t_k)$; значения внешних характеристик в момент t_k , влияющие на внутренние, через $u_1(t_k), \dots, u_r(t_k)$; средние скорости изменения характеристик $y_1(t_k), \dots, y_n(t_k)$ на отрезке $[t_k, t_{k+1}]$ через $f_i(t_k, y_1(t_k), \dots, y_n(t_k), u_1(t_k), \dots, u_r(t_k))$, $i = 1, \dots, n$. Тогда, располагая значениями $y_1(t_k), \dots, y_n(t_k)$ внутренних характеристик и значениями $u_1(t_k), \dots, u_r(t_k)$ внешних характеристик в момент t_k , можно вычислить значения $y_1(t_{k+1}), \dots, y_n(t_{k+1})$ внутренних характеристик в момент t_{k+1} . Для этого разобьем отрезок $[t_0, T]$ на K частей точками $t_0, t_1, \dots, t_k, \dots, t_K = T$. Пусть для простоты $t_{k+1} - t_k = \Delta t$, $k = 0, 1, \dots, K - 1$. Если известны значения $y_1(t_0), \dots, y_n(t_0)$ внутренних характеристик в момент t_0 и средние скорости $f_i(t_k, y_1(t_k), \dots, y_n(t_k), u_1(t_k), \dots, u_r(t_k))$, $i = 1, \dots, n$, на каждом отрезке $[t_k, t_{k+1}]$, то с помощью следующих соотношений можно вычислить значения $y_1(t_k), \dots, y_n(t_k)$ внутренних характеристик при всех t_k , $k = 1, \dots, K$: $y_i(t_{k+1}) = y_i(t_k) + \Delta t f_i(t_k, y_1(t_k), \dots, y_n(t_k), u_1(t_k), \dots, u_r(t_k))$, $i = 1, \dots, n, k = 0, 1, \dots, K - 1$. (1.1)

В математике соотношения (1.1) называются дискретной динамической системой. Внешние характеристики $u_1(t_k), \dots, u_r(t_k)$, $k = 0, 1, \dots, K - 1$, часто называют входами в систему (1.1), а внутренние характеристики $y_1(t_k), \dots, y_n(t_k)$ — выходами. Иногда интерес представляют не все внутренние характеристики, а меньшее количество их функций и функций внешних характеристик: $z_l = Z_l(t, y_1, \dots, y_n, u_1, \dots, u_r)$, $l = 1, \dots, L$. (1.2) В этом случае функции (1.2) называются выходами системы. Когда выше при определении

имитационного моделирования говорилось о вычислении значений некоторых характеристик моделируемого процесса, имелись в виду именно выходы (1.2). Иногда выходы (1.2) называют также показателями. Может случиться так, что существует вытекающая из (1.1) более простая модель, содержащая меньшее количество внутренних характеристик, которая тем не менее позволяет вычислить все выходы (1.2) с необходимой точностью. Такая модель называется реализацией модели (1.1) относительно выходов (1.2). Система (1.1) определяет значения внутренних характеристик изучаемого процесса в дискретные моменты времени t_k , $k = 1, \dots, K$. Если процесс таков, что можно говорить о значениях $y_1(t), \dots, y_n(t)$ при любом (вещественном) значении t промежутка $[t_0, T]$ и естественно считать функции $y_1(t), \dots, y_n(t)$ непрерывными и имеющими производные, то вместе с дискретной моделью (1.1) можно попытаться описать процесс с помощью «непрерывной» модели, которая имеет вид $dy_i/dt = f_i(t, y_1, \dots, y_n, u_1, \dots, u_r)$, $i = 1, \dots, n$. (1.3) Здесь функции $f_i(t, y_1, \dots, y_n, u_1, \dots, u_r)$, $i = 1, \dots, n$, являются «мгновенными» скоростями изменения соответствующих внутренних характеристик. Если значение Δt в (1.1) достаточно мало, то можно считать, что это те же самые функции, которые фигурируют в дискретной модели (1.1). Если модель является имитационной, то, как следует из приведенного выше объяснения этого термина, вычислить значения показателей (1.2) возможно только воспроизводя течение процесса, который описывается моделью (1.3), на компьютере. Практически это означает, что зависимость значений внутренних характеристик от времени и/или внешних характеристик не выражается с помощью элементарных функций.

Замечание 1.1. Класс элементарных функций — степенные, тригонометрические, обратные к тригонометрическим, показательные, логарифмические, результаты их сложения, вычитания, умножения, деления, суперпозиции, выполняемые в произвольном порядке. Производная элементарной функции является элементарной функцией. Однако первообразная элементарной функции не всегда является элементарной. В

настоящее время не существует алгоритма, с помощью которого можно было бы ответить на вопрос: является первообразная предъявленной элементарной функции элементарной функцией? В то же время имеются элементарные функции, для которых доказано, что их первообразная не является элементарной функцией. То же касается динамических систем как дискретных, так и непрерывных. Если правая часть такой системы является элементарной функцией, а при составлении модели это, как правило, так и есть, то решение этой системы (как функция времени — целочисленного или дискретного, и/или внешних характеристик) обязательно принадлежит классу элементарных функций. В настоящее время не существует алгоритма, позволяющего ответить на вопрос: является ли решение для заданных правых частей системы, являющихся элементарными функциями, элементарной функцией? Для некоторых элементарных функций доказано, что решение соответствующих им динамических систем не является элементарной функцией. В этом случае и в случае, когда неизвестно, является ли решение системы элементарной функцией, принято говорить, что «у системы нет аналитического решения». Это словосочетание не точно отражает существо дела, поскольку понятия «элементарная функция» и «аналитическая функция» не совпадают. Не входя в обсуждение соотношения между этими понятиями, укажем лишь, что очень часто решение динамической системы является аналитической функцией времени и/или внешних характеристик (т. е. раскладывается в сходящийся степенной ряд по независимым переменным), но не является элементарной функцией. Точно так же словосочетания «у системы есть аналитическое решение» и «система решается аналитически» означают, что решение системы является известной элементарной функцией времени и/или внешних характеристик. При этом оно может и не быть, вообще говоря, аналитической функцией. 18Поэтому для компьютерного воспроизведения течения процесса необходимо от модели (1.3) переходить к ее конечно разностной аппроксимации. Одним из вариантов такой аппроксимации является модель (1.1), которая получается из (1.3) заменой производных dy_i/dt , $i = 1, \dots, n$,

конечными разностями: $dy_i/dt \approx (y_i(t + \Delta t) - y_i(t))/\Delta t$, $i = 1, \dots, n$. Величина Δt в (1.1) называется шагом дискретизации модели (1.3). Возможны более сложные способы дискретизации непрерывной системы (1.3), имеющие целью при заданной точности вычислений внутренних характеристик системы получить их за меньшее количество вычислений, чем это имеет место при простейшей дискретизации (1.1) системы (1.3). Из выполненных рассуждений следует также, что дискретные динамические системы можно считать «стандартной формой» имитационных моделей, поскольку при численном решении на компьютере непрерывная динамическая система дискретизируется.