

УДК: 004.94(075.8)

УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ПО ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Р.Ф. Маликов, А.Р. Усманова (Уфа)

В данной работе мы представляем учебники и пособия по имитационному моделированию, которые были переизданы в этом году (рис.1).



Рис. 1. Учебные пособия по имитационному моделированию

Основы математического моделирования

Книга [1], посвященная основам математического (аналитического, численного и вероятностного) и технологиям компьютерного моделирования реальных процессов, явлений и объектов, вышла вторым изданием в издательстве «Юрайт». Здесь после каждой главы мы ввели вопросы и задания для самопроверки.

Данный курс является вводным пособием по изучению основ математического и компьютерного моделирования реальных объектов. Содержание курса соответствует триаде математического моделирования, сформулированной академиком А. А. Самарским: «модель – алгоритм – программа».

В курсе приведены методы создания аналитических, численных и вероятностных моделей, технологии компьютерного моделирования.

Курс состоит из двух разделов. Первый раздел посвящен основам аналитического и компьютерного моделирования физических явлений, процессов и систем.

В первой теме вводятся общие понятия о моделях, математическом моделировании, приводится классификация моделей, рассматриваются этапы математического моделирования и дается характеристика различных методов процесса моделирования физических систем и объектов.

Вторая тема посвящена различным подходам к построению математических моделей физических объектов и явлений.

В третьей теме рассматриваются основы теории подобия, основной акцент сделан на методы масштабирования уравнений, необходимых для компьютерного моделирования физических объектов.

В четвертой теме в краткой форме даются логико-эвристические предписания к построению дискретной математической модели физического объекта. Здесь

рассмотрены методы численного решения математических моделей физических объектов, представленных в виде обыкновенных дифференциальных уравнений.

В пятой теме изложены технологии компьютерного моделирования в системе Excel и в часто используемых для моделирования системах компьютерной математики Maple, MathCAD и среды моделирования динамических систем Anydynamics.

В шестой теме приведено более 40 лабораторных работ по компьютерному моделированию физических процессов, объектов и систем. В каждой работе приведена постановка задачи, математические модели в виде дифференциальных уравнений или систем уравнений, даны рекомендации и задания для проведения вычислительного эксперимента и результаты моделирования.

Во втором разделе курса рассмотрен метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) как одна из методологий имитационного моделирования. На задачах нейтронной и квантовой физики показаны технологии применения метода статистических испытаний (Монте-Карло). Понимание метода статистических испытаний приходит только при решении задач и общении с компьютером, поэтому для некоторых задач в качестве примера приведены также алгоритмы, программы решения и результаты моделирования.

В седьмой теме даны краткие сведения из теории вероятности и сущность метода Монте-Карло. Проведена условная классификация вероятностно-статистического моделирования по типу решаемых задач, анализ достоинств и недостатков вероятностных методов, применяемых при решении математических задач.

В восьмой теме приведены технологии решения линейных, обыкновенных дифференциальных уравнений, вычисления интегралов, дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического и параболических типов методом вероятностного моделирования.

В девятой теме рассмотрены задачи нейтронной физики, нелинейной оптики, молекулярной физики, решаемые методами Монте-Карло.

В списке литературы приведены книги, рекомендуемые для более глубокого изучения основ математического и компьютерного моделирования. В приложениях 1-3, 6 и 9 представлены листинги компьютерных программ решения ряда сложных задач на языках программирования.

Компьютерное моделирование динамических систем в среде Rand Model Designer

Учебное пособие [2] издано также издательством «Юрайт» и представляет собой практикум по компьютерному моделированию интерактивных многокомпонентных имитационных моделей сложных динамических систем в среде AnyDynamics. На сайте компании «MVSTUDIUM Group» [3] выложены для скачивания и приведены ряд учебников и пособий по методологии моделирования динамических сложных систем, написанных Ю.Б. Колесовым и Ю.Б. Сениченковым, основными разработчиками среды моделирования AnyDynamics. Учебное пособие [2] состоит из шести глав.

Первая глава курса носит вводный характер. Здесь вводятся общие понятия о математическом, компьютерном моделировании. Рассматривается классическая схема исследования на основе численного моделирования, понятия об уровнях сложности компьютерных моделей и методологиях освоения технологий компьютерного моделирования динамических систем.

Во второй главе рассматриваются понятия о визуальном моделировании, приводится анализ программной интегрированной среды компьютерного моделирования Rand Model Designer (Anydynamics).

В третьей главе рассмотрены технологии разработки компьютерной модели динамических систем, представленных в виде обыкновенных дифференциальных уравнений. Представлены задачи для учебного моделирования в среде RMD. Приведена методология исследования линейных и нелинейных динамических систем.

В четвертой главе рассмотрены технологии создания компьютерных моделей гибридных систем. Представлены задачи на учебно-исследовательское моделирование для самостоятельного решения.

В главе пятой приведены технологии исследования линейных и нелинейных дискретных и непрерывных динамических систем в среде Rand Model Designer (Anydynamics). Представлены задачи на учебно- и научно-исследовательское моделирование динамических систем, описываемых непрерывными дифференциальными и дискретными уравнениями.

В шестой главе изложены возможности системы Rand Model Designer для исследования сложных нелинейных динамических систем. Рассмотрены две научно-исследовательские задачи. Первая задача относится к исследованию инжекторных лазеров, в основе описания которых лежит нелинейная система дифференциальных уравнений. Вторая задача относится к задачам нелинейной оптики к разделу нанофотоники. Здесь рассматривается задача взаимодействия суперкристалла с оптическим излучением.

Практикум по дискретно-событийному моделированию сложных систем в среде GPSS Studio.

Программная платформа разработки дискретно-событийных имитационных моделей, приложений и цифровых двойников ALINA GPSS (GPSS Studio) была создана отечественной компанией ООО «Элина-Компьютер» [4], и разработчиками был издан учебник [5]. Нами в дополнение к этому учебнику был написан практикум [6].

В первой главе этого практикума даны основные сведения по системе программирования GPSS и среде моделирования GPSS Studio. Представлена парадигма об уровнях имитационного моделирования [7], согласно которой выработаны методические рекомендации по разработке имитационных моделей и проведению имитационных исследований (производственных процессов, транспортных сетей, систем массового обслуживания, информационных процессов в узлах компьютеров и вычислительных сетей) в среде GPSS Studio.

Во второй главе для формирования научно-исследовательской компетентности студентов на основе имитационного моделирования представили разработки имитационных моделей в виде лабораторных работ для учебно-познавательного моделирования. Эти модели не совсем сложны по объему и логике, достаточно просты в разработке. Построение одной учебной модели укладываются в рамки учебного процесса в форме лабораторных и практических занятий. Эти модели являются прототипами для построения учебных моделей для других классов систем массового обслуживания (СМО) и подобных объектов. Здесь на алгоритме построения этих учебно-познавательных моделей студенты знакомятся с основными методологиями и информационными системами и технологиями имитационного моделирования, приобретают знания и навыки разработки моделей в среде имитационного моделирования GPSS Studio.

В третьей главе приведены три примера по учебно-исследовательскому моделированию в среде имитационного моделирования GPSS Studio. Приведены задачи для учебно-исследовательского моделирования информационных процессов в узлах компьютера и вычислительных сетях. Здесь разработка одной имитационной установки (модели) занимает несколько занятий или такого рода задачи выполняются в рамках курсовой работы по моделированию на 3 курсе и курсового проектирования на 4 курсе.

Здесь происходит обучение не по готовым разработкам, ученик самостоятельно проектирует и разрабатывает имитационные модели по аналогии для других классов СМО и аналогичных или подобных объектов и систем.

В четвертой главе представлены примеры по *научно-исследовательскому моделированию*. В этих работах представлен небольшой укороченный анализ предметной области, проект имитационной модели, реализация имитационной модели в среде имитационного моделирования GPSS Studio и некоторые результаты машинных экспериментов. Эти разработки были проведены в рамках выпускных квалификационных работ на уровне бакалавриата. Эти разработанные модели достаточно сложны и функциональны и имеют научную значимость и практическую ориентированность при соответствующей доработке имитационных моделей с заказчиками проектов.

Таким образом, в работе представлены учебные пособия, написанные авторами для освоения методологий статистического моделирования, моделирования динамических систем и дискретно-событийных процессов.

Литература

1. **Маликов Р.Ф.** Основы математического моделирования. Учеб. пособие. Изд-е 2-е. – М: Изд-во Юрайт, 2025. – 403.
2. **Маликов Р. Ф.** Компьютерное моделирование динамических систем в среде Rand Model Designer : учебник для вузов. – Москва : Изд-во Юрайт, 2025. – 219 с.
3. Официальный сайт компании «MVSTUDIUM Group»: <https://www.mvstudium.com> [Электронный ресурс] (дата обращения 25.09.2025).
4. Официальный сайт компании ООО «Элина-Компьютер»: <http://elina-computer.ru> [Электронный ресурс] (дата обращения 25.09.2025).
5. **Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В.** Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА–М, 2018. – 283 с.
6. **Маликов Р.Ф.** Практикум по дискретно-событийному моделированию сложных систем в среде GPSS Studio [Текст]: практикум. Издание 3-е, изм. и доп. / Р.Ф. Маликов, А.Р. Усманова. – М.: Инфра-Инженерия, 2025. – 368с.
7. **Усманова А.Р., Маликов Р.Ф., Исхаков А.Р.** Формирование научно-исследовательских компетенций инженеров на основе цифровых технологий моделирования // Инженерное образование, вып 26, 2019. С.56-65. <http://aeer.ru/ru/magazine26.htm>.