

В.М. Градов, Г.В. Овечкин,
П.В. Овечкин, И.В. Рудаков

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



УЧЕБНИК

**В.М. ГРАДОВ, Г.В. ОВЕЧКИН,
П.В. ОВЕЧКИН, И.В. РУДАКОВ**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УЧЕБНИК

*Рекомендовано
Научно-методическим советом «РГРТУ»
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки 1.02.03.03 —
математическое обеспечение и администрирование
информационных систем
(квалификация «бакалавр»)*

Москва
КУРС
ИНФРА-М
2019

УДК 004.94(075.8)
ББК 32.973.2я73
Г75

ФЗ
№ 436-ФЗ

Издание не подлежит маркировке
в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1

Рецензенты:

В.В. Золотарев — доктор технических наук, профессор Института космических исследований РАН.

А.Н. Пылькин — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной и прикладной математики ФГБОУ ВПО «Рязанского государственного радиотехнического университета».

Градов В.М., Овечкин Г.В., Овечкин П.В., Рудаков И.В.

Г75 Компьютерное моделирование: Учебник/ В.М. Градов, Г.В. Овечкин, П.В. Овечкин, И.В. Рудаков — М.:КУРС: ИНФРА-М, 2019. — 264 с.

ISBN 978-5-906818-79-9 (КУРС)

ISBN 978-5-16-012263-2 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-105145-0 (ИНФРА-М, online)

Рассматриваются теория и практика построения компьютерных моделей. Подробно изложены вопросы построения генераторов случайных величин с заданными законами распределения, приведены рекомендации и методики проверки их качества. На конкретных примерах показаны основные приемы моделирования с помощью метода статистических испытаний. Подробно изложены вопросы моделирования систем массового обслуживания. Рассмотрены основы стратегического и тактического планирования машинного эксперимента. Представлены основы построения моделей с помощью инструментальных средств моделирования Pilgrim.

В части описания методов и технологий численного моделирования дается материал, составляющий ядро вычислительных средств математического эксперимента, касающийся аппроксимации функций (включая линейную, нелинейную и многомерную интерполяции, наилучшее среднеквадратичное приближение), определения интегралов функций одной и многих переменных, построения и алгоритмизации математических моделей, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных.

Учебник подготовлен для студентов учреждений высшего профессионального образования по направлению подготовки 02.03.03 — Математическое обеспечение и администрирование информационных систем (квалификация «бакалавр») и полностью соответствует Федеральному Государственному образовательному стандарту по данному направлению.

УДК 004.94(075.8)

ББК 32.973.2я73

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

ISBN 978-5-906818-79-9 (КУРС)

ISBN 978-5-16-012263-2 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-105145-0 (ИНФРА-М, online)

© Градов В.М., Овечкин Г.В.,

Овечкин П.В., Рудаков И.В., 2016

© КУРС, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	5
1.1. Понятие модели и моделирования	5
1.2. Классификация видов моделирования	6
1.3. Имитационное моделирование	8
1.4. Основные этапы создания и использования компьютерных моделей	11
1.5. Системный подход к проектированию сложных систем	13
1.6. Блочный-иерархический подход к моделированию сложных систем	14
1.7. Декомпозиция сложных систем	17
1.8. Методы формализации сложных систем	20
Контрольные вопросы	25
Глава 2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ БАЗОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ	26
2.1. Общие сведения	26
2.2. Арифметические генераторы случайных чисел	28
2.2.1. Конгруэнтный (линейный) метод	29
2.2.2. Комбинации генераторов случайных чисел	34
2.2.3. Арифметические процедуры	37
2.2.4. Алгоритмы на основе нелинейных формул	37
Контрольные вопросы	39
Глава 3. МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ	40
3.1. Гистограмма частот равновероятного распределения	40
3.2. Статистическая функция распределения	42
3.3. Статистические оценки параметров распределения	42
3.4. Распределение на плоскости	47
3.5. Критерий χ^2 Пирсона	48
3.6. Критерий Колмогорова	52
3.7. Критерий серий	54
3.8. Проверка равномерности по косвенным признакам	58

3.9.	Комбинаторные тесты	60
3.9.1.	Покер-тест	60
3.9.2.	Критерий коллекционера	62
	Контрольные вопросы	63

Глава 4.	МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН С ЗАДАННЫМ ЗАКОНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	65
4.1.	Метод обратных функций	65
4.2.	Метод кусочно-линейной аппроксимации	68
4.3.	Моделирование случайной величины по эмпирическим данным	71
4.4.	Метод отбора	74
4.5.	Генерация нормально распределенных случайных величин	76
4.5.1.	Метод аппроксимации	78
4.5.2.	Использование центральной предельной теоремы	79
4.5.3.	Метод Бокса и Маллера	81
4.5.4.	Метод Марсальи и Брея	82
4.6.	Генерация случайных величин со специальными законами распределения	84
4.6.1.	Моделирование экспоненциального распределения	84
4.6.2.	Моделирование бета-распределения	84
4.6.3.	Моделирование гамма-распределения	87
4.6.4.	Моделирование логарифмически-нормального закона распределения	89
4.6.5.	Моделирование распределения Вейбулла	91
	Контрольные вопросы	93

Глава 5.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЙ	94
5.1.	Моделирование произвольного дискретного распределения	94
5.2.	Моделирование распределения Бернулли	96
5.3.	Моделирование биномиального распределения	97
5.4.	Моделирование случайной величины с геометрическим распределением	99
5.5.	Моделирование распределения Пуассона	101
5.6.	Моделирование простого события	102
5.7.	Моделирование полной группы несовместных событий	104
5.8.	Моделирование сложных событий	106
	Контрольные вопросы	108

Глава 6.	МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ	110
6.1.	Метод Монте-Карло	110
6.2.	Одномерное случайное блуждание	117
6.3.	Двумерное случайное блуждание	119
6.4.	Простое случайное блуждание с поглощающими экранами	121
6.5.	Модель падения дождевой капли	122
6.6.	Персистентное случайное блуждание	123
	Контрольные вопросы	124
Глава 7.	МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	125
7.1.	Основные характеристики систем массового обслуживания	125
7.2.	Системы с одним устройством обслуживания	128
7.3.	Многоканальные системы массового обслуживания	132
7.4.	Замкнутые системы массового обслуживания	136
7.5.	Компьютерное моделирование систем массового обслуживания	141
	Контрольные вопросы	148
Глава 8.	ПЛАНИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	149
8.1.	Основные понятия	149
8.2.	Стратегическое планирование эксперимента	152
8.3.	Тактическое планирование компьютерного эксперимента	153
8.3.1.	Начальные условия и их влияние на достижение установившегося режима	153
8.3.2.	Оценивание среднего значения выборочной совокупности	154
8.3.3.	Применение теоремы Чебышева	156
8.3.4.	Оценивание процентных отношений	157
8.3.5.	Оценивание дисперсии совокупности	159
8.3.6.	Автокоррелированные данные	160
	Контрольные вопросы	161
Глава 9.	ПАКЕТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	162
9.1.	Назначение пакетов имитационного моделирования	162
9.2.	Пакет имитационного моделирования Pilgrim	163

9.3.	Основные объекты модели.	164
9.4.	Типы узлов имитационной модели.	166
9.5.	Команды управления узлами.	171
9.6.	Параметры транзактов и параметры состояния узлов.	172
9.7.	Табличные результаты моделирования	174
9.8.	Язык описания моделей	175
9.9.	Графический конструктор Gem.	179
9.10.	Пример разработки имитационной модели	182
	Контрольные вопросы	191

Глава 10. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ . . . 192

10.1.	Аппроксимация функций	192
10.1.1.	Интерполяция функций одной и нескольких переменных	192
10.1.2.	Наилучшее среднеквадратичное приближение.	203
10.2.	Численное интегрирование функций одной переменной	207
10.3.	Вычисление кратных интегралов	214
10.4.	Модели на основе дифференциальных уравнений в частных производных.	220
10.4.1.	Постановки задач	221
10.4.2.	Основные понятия метода конечных разностей	222
10.4.3.	Построение разностных схем	226
	Контрольные вопросы	235

Глава 11. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ 236

11.1.	Лабораторная работа № 1. Изучение базовых генераторов псевдослучайных чисел.	236
11.2.	Лабораторная работа № 2. Проверка качества генераторов псевдослучайных чисел	237
11.3.	Лабораторная работа № 3. Генерирование случайных величин с заданным законом распределения	238
11.4.	Лабораторная работа №4. Генерирование случайных величин с нормальным законом распределения	241
11.5.	Лабораторная работа № 5. Генерирование случайных величин с часто используемыми законами распределения	242
11.6.	Лабораторная работа № 6. Моделирование методом Монте-Карло	242

11.7.	Лабораторная работа № 7. Моделирование случайных блужданий	246
11.8.	Лабораторная работа № 8. Моделирование систем массового обслуживания	248
11.9.	Лабораторная работа № 9. Тактическое планирование эксперимента	252
11.10.	Лабораторная работа № 10. Моделирование систем массового обслуживания при помощи инструментальных средств моделирования Pilgrim	252
11.11.	Лабораторная работа № 11. Аппроксимация функций одной и двух переменных	252
11.12.	Лабораторная работа № 12. Модели на основе дифференциальных уравнений в частных производных и численное интегрирование	254

Список рекомендованной литературы	257
--	------------