

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ОБРАЗОВАНИЯ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

В.В. ПАНИЧЕВ,  
Н.А. СОЛОВЬЕВ

# **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»

Оренбург 2009

УДК 519.876.5  
ББК 22.18  
С 56

Рецензент  
кандидат технических наук И. Шевченко

**С 56**      **Паничев В.В.**  
**Компьютерное моделирование: учебное пособие / В.В. Паничев,**  
**Н.А. Соловьев – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 130 с.**

**ISBN 5-06-004087-9**

В пособии рассмотрены основы теории моделирования систем; принципы и методы математического и имитационного моделирования динамических систем и систем массового обслуживания. Теоретический материал дополнен примерами и задачами с решениями, вопросами для самопроверки.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 230105.65 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», при изучении дисциплины «Компьютерное моделирование».

УДК 519.876.5  
ББК 22.18

© Паничев В.В., 2009  
© ГОУ ОГУ, 2009

ISBN

## Содержание

Введение .....	5
1 Принципы построения математических моделей систем.....	6
1.1 Основные понятия теории моделирования систем.....	6
1.1.1 Понятие модели. Виды моделирования.....	6
1.1.2 Этапы компьютерного моделирования.....	8
1.1.3 Принципы моделирования.....	10
1.1.4 Математическая модель.....	11
1.1.5 Классификация математических моделей.....	14
1.2 Моделирование сложных систем.....	18
1.2.1 Основные понятия и определения.....	18
1.2.2 Модель сложной системы.....	20
1.2.3 Ограничения на параметры и характеристики модели.....	22
1.2.4 Общий подход к формированию математических моделей.....	23
1.3 Типовые математические схемы моделирования.....	25
Вопросы для самоконтроля.....	29
2 Принципы имитационного моделирования систем.....	30
2.1 Статистическое моделирование систем.....	30
2.1.1 Характеристика методов моделирования вероятностных объектов.....	30
2.1.2 Формирование базовой последовательности случайных чисел.....	33
2.1.3 Моделирование случайных событий.....	35
2.1.4 Моделирование случайных величин.....	36
2.2 Имитационное моделирование сложных систем.....	39
2.2.1 Характеристика имитационных моделей.....	39
2.2.2 Принципы изменения модельного времени .....	40
2.2.3 Этапы имитационного моделирования системы .....	43
2.2.4 Способы имитации поведения системы .....	47
Вопросы для самоконтроля.....	48
3 Эксперимент с моделью. Обработка результатов моделирования.....	49
3.1 Планирование эксперимента.....	49
3.1.1 Методы теории планирования.....	49
3.1.2 Стратегическое планирование эксперимента.....	50
3.1.3 Обеспечение точности и достоверности результатов моделирования.....	53
3.2 Статистический анализ результатов моделирования.....	60
3.2.1 Оценивание вероятностных распределений и их числовых характеристик.....	60
3.2.2 Проверка адекватности моделей.....	63
3.2.3 Проверка устойчивости и чувствительности моделей.....	67
3.2.4 Критерии согласия.....	69
3.3 Статистическое исследование зависимостей.....	72
анализ.....	
7.2 Корреляционный анализ.....	
анализ.....	

3.3.1 Дисперсионный анализ.....	72
3.3.2 Корреляционный анализ.....	74
3.3.3 Регрессионный анализ.....	76
Вопросы для самоконтроля.....	77
4 Моделирование динамических систем.....	78
4.1 Идентификация динамических систем.....	78
4.2 Алгоритмизация непрерывно – детерминированных моделей.....	81
4.2.1 Решетчатые функции. Разностные и рекуррентные уравнения.....	81
4.2.2 Алгоритмизация НДМ на основе z преобразований.....	85
4.2.3 Особенности алгоритмизации моделей систем автоматического управления.....	89
Вопросы для самоконтроля.....	92
5 Моделирование систем массового обслуживания.....	93
5.1 Аналитические модели систем массового обслуживания.....	93
5.1.1 Потoki событий.....	93
5.1.2 Марковские случайные процессы.....	95
5.1.3 Непрерывно-вероятностные модели.....	102
5.2 Имитационное моделирование процессов функционирования систем массового обслуживания.....	108
5.2.1 Формирование воздействий.....	108
5.2.2 Способы построения моделирующего алгоритма.....	110
5.2.3 Особенности имитации процесса функционирования систем.....	112
5.2.4 Моделирующие алгоритмы процессов функционирования системы.....	113
5.3 Имитационное моделирование систем массового обслуживания с помощью систем моделирования.....	121
5.3.1 Имитация потоков заявок и обслуживаний.....	121
5.3.2 Модели накопителей и каналов обслуживания.....	123
5.3.3 Модели типовых схем систем массового обслуживания.....	124
Вопросы для самоконтроля.....	128
Литература.....	130