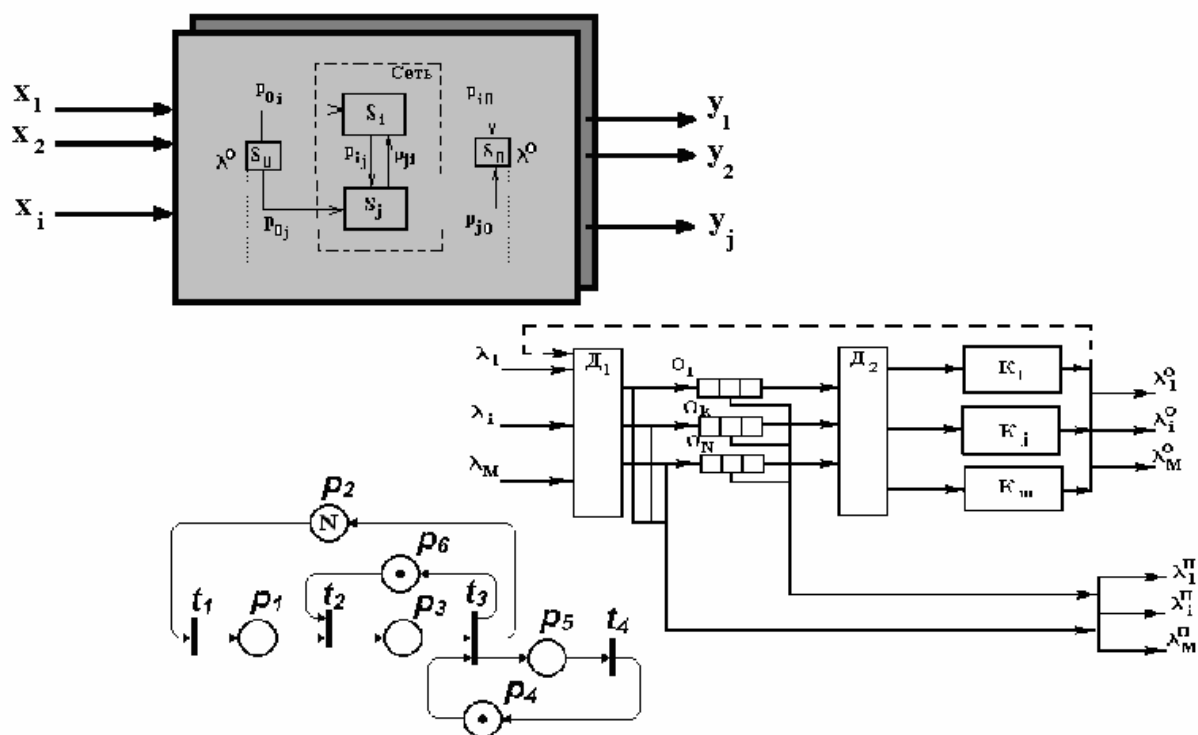


С.П. БОБКОВ, Д.О. БЫТЕВ

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Учебное пособие



Иваново 2008

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет  
Международный университет бизнеса и новых технологий (институт)

**С.П. БОБКОВ, Д.О. БЫТЕВ**

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ**

Учебное пособие

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области прикладной информатики  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов высших учебных заведений.*

Иваново 2008

УДК 681.3

Бобков С.П. Моделирование систем: учеб. пособие / С.П. Бобков, Д.О. Бытев; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2008. – 156 с. - ISBN

Цель учебного пособия – дать студентам общее представление о современных методах моделирования технических и технико-экономических систем и объектов.

В пособии рассматриваются общие вопросы и современная методология моделирования, непрерывные и дискретные детерминированные модели объектов и систем, стохастические модели с дискретным и непрерывным временем. Большое внимание уделено методам имитационного моделирования систем с вероятностными характеристиками. Дается обзор других подходов к моделированию сложных систем, таких как информационно-энтропийный, использование нейронных сетей и сетей Петри.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям подготовки 080801 «Прикладная информатика» и 230201 «Информационные системы и технологии». Кроме того, пособие может быть полезным для студентов других специальностей и направлений.

Табл.7. Ил.92. Библиогр.:10 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра прикладной математики Ивановского государственного энергетического университета; доктор физико-математических наук В.А.Соколов, (Ярославский государственный университет).

ISBN 5-9616-0268-6

© ГОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет», 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ....	6
1.1. Классификация видов моделирования .....	6
1.2. Классификация математических моделей .....	8
1.3. Параметры моделей и фазовые переменные .....	9
1.4. Требования к математическим моделям .....	11
1.5. Понятие математической схемы моделирования .....	12
1.6. Общая методика создания математических моделей .....	13
1.7. Основные понятия системного подхода к созданию математических моделей .....	16
2. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ .....	20
2.1. Математические модели технических объектов .....	20
2.1.1. Компонентные функциональные уравнения объектов .....	20
2.1.2. Фазовые переменные и их аналогии .....	23
2.1.3. Топологические уравнения .....	24
2.1.4. Примеры создания моделей технических объектов .....	25
2.1.5. Модели технологических аппаратов .....	29
2.2. Конечные автоматы .....	31
2.2.1. Понятие конечного автомата .....	31
2.2.2. Способы описания и классы конечных автоматов .....	32
2.2.3. Другие виды конечных автоматов .....	37
3. СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ .....	39
3.1. Элементы теории марковских случайных процессов .....	39
3.1.1. Понятие случайного процесса .....	39
3.1.2. Дискретные цепи Маркова .....	40
3.1.3. Стационарное распределение вероятностей .....	43
3.1.4. Непрерывные марковские цепи .....	45
3.1.5. Уравнения А.Н. Колмогорова .....	46
3.1.6. Потоки событий .....	48
3.2. Основы теории массового обслуживания .....	51
3.2.1. Обобщенная структурная схема СМО. Параметры и характеристики .....	52
3.2.2. Разомкнутые СМО с ожиданием и терпеливыми заявками .	58
3.2.3. Предельные варианты разомкнутой СМО .....	62
3.2.4. Общий случай разомкнутой СМО .....	64
3.2.5. Замкнутые СМО .....	68
3.2.6. Сети массового обслуживания с простейшими потоками событий .....	73
3.3. Вероятностные автоматы .....	77

4. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ .....	81
4.1. Определение метода имитационного моделирования .....	81
4.2. Основные понятия имитационного моделирования .....	83
4.3. Основные этапы имитационного моделирования .....	85
4.4. Время в имитационных моделях. Псевдопараллелизм .....	86
4.5. Обобщённые алгоритмы имитационного моделирования .....	88
4.6. Моделирование случайных факторов .....	97
4.6.1. Моделирование базовых случайных величин .....	98
4.6.2. Моделирование непрерывных случайных величин с произвольным распределением .....	101
4.6.3. Моделирование дискретных случайных величин .....	104
4.6.4. Моделирование случайных событий и их потоков .....	106
4.7 Моделирование случайных процессов .....	110
4.7.1 Дискретные цепи Маркова .....	110
4.7.2 Непрерывные цепи Маркова .....	112
4.8. Обработка и анализ результатов имитационного моделирования .	115
4.8.1. Оценка вероятностных параметров .....	116
4.8.2. Оценка корреляционных параметров .....	116
4.8.3. Расчет средних по времени параметров СМО .....	117
4.9. Планирование экспериментов с имитационными моделями .....	118
4.10. Общие проблемы имитационного моделирования .....	121
5. ОБЗОР АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ .....	123
5.1. Сети Петри .....	123
5.1.1. Определение сети Петри .....	123
5.1.2. Функционирование сети Петри .....	124
5.1.3. Анализ сетей Петри .....	128
5.2. Нейронные сети .....	131
5.2.1. Понятие нейронной сети .....	131
5.2.2. Искусственный нейрон .....	132
5.2.3. Основные виды активационных функций искусственных нейронов .....	134
5.2.4. Виды простейших нейронных сетей .....	138
5.2.5. Рекуррентные и самоорганизующиеся нейронные сети ...	145
5.2.6. Общие замечания по использованию нейронных сетей ....	150
5.3. Информационно-энтропийный подход к моделированию систем	151
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	156
.....	