

А

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова

**В.А. Воробьёв, Ю.В. Березовская**

## **ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. СТОХАСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по образованию в области прикладной информатики в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению 080800 «прикладная информатика  
(по областям)» и другим экономическим специальностям*

Архангельск  
ИПЦ САФУ  
2012

УДК [512.64+519.21](075.8)

ББК 22.143+22.171.5я73

В751

*Рецензенты:* доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики Архангельского государственного технического университета **В.Н. Попов**; кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий Поморского государственного университета имени М.В. Ломоносова **В.В. Березовский**; доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник РНЦ имени Курчатова **Л.И. Меньшиков**

**Воробьев, В.А.**

В751 Теория систем и системный анализ. Стохастические системы: учебное пособие / В.А. Воробьев, Ю.В. Березовская; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – 147 с.

ISBN 978-5-261-00616-9

Большая часть пособия посвящена рассмотрению стохастических систем, точнее эргодических динамических моделей: автономный вероятностный автомат, поток случайных событий, система массового обслуживания, сложные линейные и нелинейные системы. Для анализа таких систем используются методы теории автоматов, теории вероятностей, теории случайных процессов. Особенно выделяются марковские процессы, уравнения Колмогорова – Чепмена. Рассмотрены элементы теории массового обслуживания и различные виды систем массового обслуживания. Введены каузальные сети (К-сети) для моделирования сложных систем из взаимодействующих элементов.

Для студентов прикладных математических и экономических специальностей вузов.

УДК [512.64+519.21](075.8)

ББК 22.143+22.171.5я73

ISBN 978-5-261-00616-9

© Воробьев В.А.,  
Березовская Ю.В., 2012

© Северный (Арктический)  
федеральный университет  
им. М.В. Ломоносова, 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Условные обозначения.....	6
<b>Глава 1. Элементы общей теории систем</b>	
1.1. Система и системный анализ.....	10
1.2. Алгебраические модели систем.....	18
1.3. Динамические модели систем.....	25
Задачи к главе 1.....	31
<b>Глава 2. Марковские системы</b>	
2.1. Марковские модели систем.....	32
2.2. Асинхронные марковские модели.....	39
2.3. Элементы теории массового обслуживания.....	49
Задачи к главе 2.....	60
<b>Глава 3. Сложные системы</b>	
3.1. Сложные системы и синергетика.....	63
3.2. Сети Петри.....	65
3.3. Каузальная сеть (К-сеть).....	91
3.4. Динамические модели популяций.....	92
3.5. Метод компьютерного моделирования популяций.....	105
3.6. Моделирование простых популяций.....	115
Задачи к главе 3.....	143
<b>Библиографический список.....</b>	<b>146</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие содержит краткий обзор основных идей общей теории систем: определение системы и ее основные свойства, процедуры и задачи анализа и синтеза систем, конфигуратор системы, ее общее алгебраическое описание. Основное внимание уделено стохастическим системам, точнее, эргодическим динамическим моделям: автономный вероятностный автомат, поток случайных событий, система массового обслуживания, сложные линейные и нелинейные системы, обладающие синергией, т.е. совместным, согласованным функционированием многих элементов системы. Последняя глава является оригинальной авторской разработкой. Таким образом, пособие ориентирует читателя на прикладную теорию стохастических систем и современную синергетику.

От студента требуется некоторая математическая культура в пределах обычного курса высшей математики. Дополнительные понятия вводятся по мере надобности: понятия из алгебры и теории алгебраических систем, автоматы, графы переходов, сети Петри и каузальные сети (К-сети), введенные авторами для моделирования синергии сложных систем из взаимодействующих элементов. К-сети являются основой для популяционного моделирования сложных систем.

Издание снабжено примерами, поясняющими основные идеи и задачи теоретической части. В конце каждой главы есть сюжетные задачи для самостоятельного решения и разбора на практических и лабораторных работах. Как показывает опыт, наибольшие затруднения при решении сюжетных задач у студентов вызывает переход от словесной формулировки к математической. При этом особенно трудно осваивается задание системы интенсивностей переходов в единой системе единиц измерения времени для каждого перехода. В сюжетных задачах эти интенсивности задаются по-разному. Даны рекомендации о порядке решения практических задач.

В теоретической части учебного пособия даны стандартные методы составления уравнений для переходного и стационарного режимов эргодических и синергетических систем. Пользуясь этой методикой, студент может самостоятельно составлять дифференциальные уравнения Колмогорова – Чепмена, уравнения динамики средних для линейных систем и нелинейные уравнения для систем типа хищник-жертва, боевое столкновение, конкуренция за ресурсы и других. Практическая часть представлена примерами, для рассмотрения которых используется программа «Популяция», и задачами для самостоятельного решения. Программа «Популяция» предназначена для компьютерного моделирования сложных линейных и нелинейных систем К-сетями. Она позволяет получать динамические характеристики стохастических систем, не прибегая к составлению и решению дифференциальных уравнений.

Пособие включает библиографический список.