

МАГИСТРАТУРА

М. П. Трухин

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ И СИСТЕМ

СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ



[www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)

**ЭБС  
ЛАНЬ®  
ЛАНЬ**



**М. П. ТРУХИН**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СИГНАЛОВ И СИСТЕМ  
СИСТЕМА МАССОВОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

*Научный редактор  
профессор, доктор технических наук  
С. В. Поршнев*



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ · МОСКВА · КРАСНОДАР  
2022

УДК 004  
ББК 32.973.202я73

**Т 80** Трухин М. П. Моделирование сигналов и систем. Система массового обслуживания : учебное пособие / М. П. Трухин; под научной редакцией С. В. Поршнева. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 232 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Текст : непосредственный.

**ISBN 978-5-8114-3922-5**

Рассмотрены методология и технология компьютерного моделирования на основе конечных автоматов и конечных полей. Обсуждаются модели радиоканалов передачи данных и коммуникационных систем с кодовым разделением каналов, реализованные в системе моделирования MATLAB.

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих вопросы системного моделирования и обработки сигналов, в том числе программные и аппаратные методы защиты информации в телекоммуникационных системах.

УДК 004  
ББК 32.973.202я73

Обложка  
*П. И. ПОЛЯКОВА*

© Издательство «Лань», 2022  
© М. П. Трухин, 2022  
© Издательство «Лань»,  
художественное оформление, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. МОДЕЛИ СИСТЕМ И ПОТОКОВ В МАССОВОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ..	9
1.1. Системы массового обслуживания .....	10
1.1.1. Элементарное устройство обслуживания .....	12
1.1.2. Сети массового обслуживания .....	14
1.1.3. Математическая схема СМО .....	15
1.2. Способы описания систем массового обслуживания .....	17
1.2.1. Классификация СМО .....	18
1.2.2. Показатели эффективности функционирования СМО .....	22
1.3. Математические модели потоков событий .....	24
1.3.1. Определения и термины .....	24
1.3.2. Пуассоновский поток .....	29
1.3.3. Модели на основе пуассоновского потока .....	37
1.3.4. Потоки с ограниченным последствием (потоки Пальма) .....	50
1.3.5. Потоки восстановления .....	59
Вопросы и упражнения к главе 1 .....	65
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ .....	67
2.1. Системы массового обслуживания с отказами .....	68
2.1.1. Одноканальная СМО с отказами .....	68
2.1.2. Многоканальная СМО с отказами .....	70
2.2. Системы с ограничением на длину очереди (стационарный случай) .....	75
2.2.1. Одноканальная СМО с ожиданием .....	75
2.2.2. Многоканальная СМО с ожиданием .....	80
2.3. Системы с ограничением на время пребывания в очереди .....	85
2.3.1. СМО с ограниченным временем ожидания .....	85
2.4. Дифференциальные модели динамических процессов в СМО .....	89
Вопросы и упражнения к главе 2 .....	95

<b>3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.</b>	97
3.1. Дискретно-событийное моделирование СМО.	98
3.1.1. Компоненты имитационной модели.	98
3.1.2. Структура концептуальной модели имитации СМО	99
3.2. Алгоритм имитационной модели СМО с очередью и несколькими каналами.	101
3.2.1. Взаимодействие буфера и каналов.	102
3.2.2. Формирование статистики моделирования.	104
3.3. Программная модель многоканальной СМО с очередью.	105
3.3.1. Генерация потоков.	105
3.3.2. Основной модуль имитационной модели	106
3.3.3. Модули обработки потоков.	108
3.3.4. Блоки формирования дисциплин очередей.	111
3.4. Моделирование компьютерной системы с режимом разделения времени.	114
3.4.1. Описание модели «Сервер».	114
3.4.2. Программная модель СМО «Сервер»	117
3.4.3. Библиотека функций simlib.	125
3.4.4. Применение компонентов библиотеки simlib.	136
Вопросы и упражнения к главе 3.	139
<b>4. ИНТЕРАКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.</b>	141
4.1. Создание графического интерфейса в MATLAB	141
4.1.1. Подсистема GUIDE.	142
4.1.2. Проектирование графического интерфейса.	148
4.2. Интерактивная модель СМО М/М/1/1	149
4.2.1. Графический интерфейс.	149
4.2.2. Управление интерактивной моделью.	151
4.3. Обработка и представление результатов моделирования СМО.	153
Вопросы и упражнения к главе 4.	159

5. ИНСТРУМЕНТЫ ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ. ....	161
5.1. Визуальное моделирование в пакете Simulink.....	162
5.1.1. Визуальный инструментарий системы MATLAB .....	162
5.1.2. Характеристика пакета Simulink. ....	163
5.1.3. Управление модельным временем в Simulink. ....	166
5.2. Блоки моделирования СМО.....	170
5.2.1. Разработка блока генерации пуассоновского потока .....	170
5.2.2. Стандартные блоки СМО .....	178
5.2.3. Пользовательская библиотека блоков моделирования СМО.....	182
5.3. Дискретно-событийное моделирование в Stateflow... ..	184
5.3.1. Основные сведения о пакете Stateflow .....	185
5.3.2. Элементы разработки SF-диаграмм. ....	189
5.4. Событийное моделирование СМО в StateFlow+Simulink.....	195
5.4.1. Структура моделируемой СМО .....	196
5.4.2. Блок источника задач. ....	198
5.4.3. Блок приёмника задач. ....	200
5.4.4. Блок буфера (очереди). ....	205
5.4.5. Блок сервера (канала обработки) .....	209
Вопросы и упражнения к главе 5 .....	211
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	213
ПРИЛОЖЕНИЕ. Библиотека программных модулей имитационного моделирования систем массового обслуживания simlib .....	215