

Т 19  
УДК 004.942

Н.Ф. БАХАРЕВА, В.Н. ТАРАСОВ Аппроксимативные методы и модели массового обслуживания. Исследование компьютерных сетей. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2017. -327 с.

***Рецензенты:***

заведующий кафедрой информационных систем и технологий  
СГАУ, д.т.н., профессор **С.А. Прохоров;**

заведующий кафедрой мультисервисных сетей и информационной  
безопасности ПГУТИ, д.т.н., профессор **В.Г. Карташевский**

**ISBN 978-5-904029-27-2**

В книге моделирование рассматривается как средство системного анализа сложных систем, каковыми являются компьютерные сети. На основе математических операций над потоками событий получены уравнения баланса потоков на уровне средних значений и дисперсий интервалов между событиями. Их совместное решение с аппроксимативной моделью массового обслуживания общего вида позволяет определить показатели производительности компьютерных сетей. Разработанные методика и программная система анализа производительности компьютерных сетей, позволяют рассчитывать также и самоподобный трафик современных сетей телекоммуникаций.

Данная книга может быть полезна аспирантам, специалистам в области математического моделирования и проектировщикам компьютерных и телекоммуникационных сетей при их системном проектировании.

**Научное издание**

© Бахарева Н.Ф., Тарасов В.Н., 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
ГЛАВА 1. Методологические аспекты исследования производительности компьютерных сетей.....	11
1.1 Проблемы организации корпоративных сетей и подходы к их исследованию.....	11
1.2 Концепция построения моделей корпоративных сетей передачи данных как сложных систем .....	14
1.3 Анализ аппаратно-программных средств оценки количественных и качественных показателей функционирования сетей.....	21
1.4 Обзор математического и программного инструментария моделирования компьютерных сетей	28
1.4.1 Использование теории сетей массового обслуживания для исследования компьютерных сетей .....	31
1.4.2 Аналитические методы и модели анализа производительности компьютерных сетей .....	40
1.4.3 Определение показателей производительности сети путем имитационного моделирования сетевого трафика и событий .....	48
1.5 Сравнительный анализ методов построения моделей активного оборудования.....	55
1.6 Методы управления потоками в сетях пакетной коммутации .....	61
1.7 Постановка проблемы .....	65
1.8 Выводы по главе 1 .....	68
ГЛАВА 2. Математическая модель трафика в виде уравнений равновесия потоков на уровне двух первых моментов интервалов времени .....	75
2.1 Реализация математической операции мультиплексирования потоков на основе аппроксимации законов распределений.....	78
2.2 Определение неизвестных параметров аппроксимирующих функций .....	84
2.3 Определение моментных характеристик результатирующего потока .....	86
2.4 Математическое мультиплексирование потоков на	

	основе их диффузионной аппроксимации .....	93
2.5	Анализ точности полученных результатов по математическому мультиплексированию .....	99
2.6	Реализация математических операций демультимплексирования потоков .....	103
2.7	Уравнения равновесия потоков на уровне дисперсий интервалов времен .....	109
2.8	Обобщение уравнений равновесия в случае наличия избыточных потоков .....	111
2.9	Обобщение уравнений равновесия потоков в случае неоднородного трафика .....	113
2.10	Выводы по главе 2 .....	117
ГЛАВА 3. Аппроксимативная модель массового обслуживания общего вида как математическая модель функционирования ресурса сети и расчет ее характеристик.....		120
3.1	Известные методы диффузионной аппроксимации процессов функционирования СМО типа G/G/1 и исследование их точности .....	120
3.2	Двумерная диффузионная аппроксимация процессов функционирования СМО общего вида для расчета ее характеристик .....	128
3.3	СМО типа G/G/1/∞ с бесконечной очередью и расчет ее характеристик .....	131
3.4	Расчет характеристик СМО типа G/G/1/m с конечной очередью и потерями .....	138
3.5	Определение характеристик сетевых моделей через характеристики узлов .....	140
3.6	Проверка адекватности аппроксимативной модели массового обслуживания общего вида .....	142
3.7	Структура разработанной программной системы анализа производительности компьютерных сетей ....	153
3.8	Выводы по главе 3 .....	160
ГЛАВА 4. Применение разработанных методов и моделей к анализу и расчету самоподобного трафика .....		163
4.1	Введение в самоподобные процессы .....	163
4.2	Распределения с тяжелыми хвостами РТХ .....	167
4.3	Дескрипторы трафика и установление связи между коэффициентами Херста и вариации интервалов времени .....	169

4.4	Сравнительный анализ результатов расчетов классических моделей массового обслуживания и моделей на основе РТХ .....	179
4.5	Исследование на самоподобие реальных трафиковых процессов и установление связи с РТХ .....	182
4.6	Другие подходы к восстановлению моментных характеристик интервалов времени для целочисленных процессов .....	192
4.7	Выводы по главе 4 .....	196
ГЛАВА 5. Применение разработанных методов к анализу производительности сетевых структур .....		200
5.1	Моделирование фрагмента сети филиала Центробанка РФ с неоднородными потоками .....	200
5.2	Проектирование и моделирование сети кафедры ВУЗа .....	210
5.2.1	Методика сбора сетевого трафика .....	213
5.2.2	Сбор статистики для одного сегмента сети и формирование матриц вероятностей передач .....	219
5.2.3	Определение длины пакета и интенсивности обслуживания сетевых устройств .....	222
5.2.4	Анализ производительности сети кафедры в авторской программной системе .....	227
5.3	Имитационное моделирование сети кафедры в системе Opnet Modeler .....	237
5.4	Моделирование сети кампуса .....	244
5.4.1	Анализ трафика и моделирование сети в авторской программной системе .....	245
5.4.2	Имитационное моделирование сети кампуса в системе Opnet Modeler .....	257
5.5	Моделирование сети факультетов и кафедр с использованием механизма NAT .....	261
5.6	Выводы по главе 5 .....	266
ГЛАВА 6. Анализ производительности корпоративных сетей .....		269
6.1	Анализ структуры трафика сети ВУЗа .....	269
6.2	Численное моделирование сети ВУЗа в авторской программе .....	272
6.3	Имитационное моделирование сети ВУЗа в системе OPNET Modeler .....	280

6.4	Моделирование сети ВУЗа с использованием механизма NAT .....	283
6.5	Корпоративная сеть энергосбытовой компании .....	287
6.6	Анализ и расчет параметров глобальных каналов связи удаленных офисов компании .....	291
6.7	Численное моделирование корпоративной сети энергосбытовой компании .....	302
6.8	Имитационное моделирование корпоративной сети энергосбытовой компании .....	311
6.9	Выводы по главе 6 .....	320
	Заключение .....	322