

**С. В. Поршнев**

# **Математические модели информационных потоков в высокоскоростных магистральных интернет-каналах**

*Рекомендовано УМО по образованию в области  
Инфокоммуникационных технологий и систем связи в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 и 11.04.02 –  
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
квалификации (степени) «бакалавр» и «магистр»*

**Москва  
Горячая линия – Телеком  
2016**

УДК 621.395

ББК 32.882

П60

**Поршнев С. В.**

**П60** Математические модели информационных потоков в высокоскоростных магистральных интернет-каналах. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 232 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0508-5.**

Рассмотрены существующие математические модели информационных потоков в интернет-каналах, в том числе: способы описания интернет-трафика в рамках OSI-модели; классические модели интернет-трафика (пуассоновская модель сетевого трафика, on-off источники, abt-модель, самоподобные модели трафика); модели процесса передачи данных по компьютерным сетям (модель М/М/1, жидкостная модель интернет-трафика); программные средства моделирования трафика, в том числе, сетевой симулятор NS-2. Особое внимание уделено жидкостной модели интернет-трафика, а также ее дальнейшей модификации – гибридной жидкостной модели, позволяющей учесть, с одной стороны, статистические свойства источников трафика, с другой, современные механизмы, обеспечивающие заявленное провайдером гарантированное качество обслуживания пользователей сети Интернет. Представлены результаты анализа статистических свойств реального трафика, передаваемого в современных высокоскоростных интернет-каналах, а также примеры использования гибридной жидкостной модели информационных потоков для исследования особенностей функционирования сетевого оборудования магистральных интернет-каналов.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 и 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» квалификации (степени) «бакалавр» и «магистр», будет полезно аспирантам и специалистам.

**ББК 32.882**

Адрес издательства в Интернет [www.techbook.ru](http://www.techbook.ru)

*Все права защищены.*

*Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя*

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

[www.techbook.ru](http://www.techbook.ru)

© С. В. Поршнев

# Оглавление

<b>Список сокращений</b> .....	3
<b>Введение</b> .....	4
Список литературы к введению .....	7
<b>Глава 1. Способы описания Интернет-трафика в рамках OSI-модели. Протоколы TCP/IP и UDP</b> .....	9
1.1. Основные сведения о стандарте Open Systems Interconnection .....	9
1.2. Протокол TCP .....	12
1.2.1. Уровни протокола TCP/IP .....	12
1.2.2. Механизм передачи данных по протоколу TCP .....	13
1.2.3. Механизмы установления и окончания соединения по протоколу TCP .....	15
1.2.4. Алгоритм управления потоком данных, используемый в протоколе TCP .....	17
1.3. Протокол UDP .....	20
1.4. Выводы .....	21
1.5. Контрольные вопросы к главе 1 .....	21
1.6. Список литературы к главе 1 .....	22
<b>Глава 2. Подходы, используемые при моделировании Интернет-трафика</b> .....	24
2.1. Модели генераторов трафика .....	25
2.1.1. Пуассоновская модель сетевого трафика .....	26
2.1.2. On-Off источники .....	33
2.1.3. Abt-модель .....	37
2.1.4. Самоподобные модели трафика .....	38
2.2. Модели систем массового обслуживания, используемые для описания информационных потоков в компьютерных сетях .....	60
2.2.1. Модели систем массового обслуживания без потерь .....	60
2.2.2. Модели систем массового обслуживания с отказами .....	71
2.2.3. Модели СМО с очередями .....	76
2.2.4. Модель замкнутой системы .....	84
2.2.5. Модели СМО с различными дисциплинами подключения каналов к обслуживанию .....	88
2.2.6. Модели непуассоновских систем массового обслуживания и стохастических сетей .....	92
2.2.7. Модели многофазных систем .....	95
2.2.8. Модели сетей массового обслуживания .....	98

2.2.9. Применение моделей СМО для описания Интернет-трафика .....	105
2.3. Жидкостная модель Интернет-трафика .....	106
2.4. Программные средства моделирования Интернет-трафика .	113
2.4.1. Программные реализации генераторов трафика .....	113
2.4.2. Пакетные сетевые симуляторы (на примере симулятора NS-2).....	114
2.5. Выводы .....	119
2.6. Контрольные вопросы к главе 2.....	120
2.7. Список литературы к главе 2 .....	123
<b>Глава 3. Гибридная жидкостная модель информационных потоков в высокоскоростных магистральных Интернет-каналах .....</b>	<b>128</b>
3.1. Модификация классического варианта жидкостной модели Интернет-трафика .....	128
3.2. Учет в жидкостной модели режима гарантированной скорости доступа и множества потоков, создаваемых различными классами пользователей .....	139
3.3. Статистическая модель источников .....	144
3.4. Гибридная модель информационных потоков в высокоскоростных магистральных Интернет-каналах .....	151
3.5. Результаты тестирования программной реализации гибридной модели информационных потоков .....	154
3.5.1. Постоянные потери пакетов в процессе передачи ...	154
3.5.2. Режим ограничения размера «окна данных» .....	155
3.5.3. Режим включения и выключения потоков, создаваемых выбранным пользователем .....	157
3.6. Выводы .....	158
3.7. Контрольные вопросы к главе 3.....	158
3.8. Список литературы к главе 3 .....	160
<b>Глава 4. Исследование реального трафика действующего магистрального Интернет-канала .....</b>	<b>163</b>
4.1. Технология предварительной обработки дампов реального трафика, передаваемого в высокоскоростном Интернет-канале .....	163
4.1.1. Выбор источника Интернет-трафика.....	164
4.1.2. Анализ структуры информации, размещенной в дампах, Интернет-трафика .....	164
4.2. Исследование влияния размера окна агрегации на статистические свойства сетевого трафика .....	167
4.3. Сравнение функции распределения реального Интернет-трафика с распределением Парето .....	169

4.4. Исследование самоподобных свойств реального Интернет-трафика.....	173
4.5. Сравнение свойств реального и моделируемого трафика....	174
4.6. Выводы .....	177
4.7. Контрольные вопросы к главе 4.....	178
4.8. Список литературы к главе 4 .....	178
<b>Глава 5. Применение гибридной жидкостной модели информационных потоков для исследования особенностей функционирования сетевого оборудования магистральных Интернет-каналов ....</b>	<b>180</b>
5.1. Исследование особенностей информационных потоков в сети Интернет в режиме ограничения скорости .....	180
5.1.1. Анализ результатов расчетов без учета вероятностного сброса пакетов ( $BC = BE$ ) .....	181
5.1.2. Анализ результатов расчетов с учетом вероятностного сброса пакетов ( $BE > BC$ ) .....	187
5.1.3. Исследование влияния изменения во времени скорости оборота пакетов на свойства Интернет-трафика. ....	188
5.2. Исследование особенностей Интернет-трафика в многопоточном режиме.....	190
5.2.1. Исследование влияния видов активности пользователей на вариабельность трафика магистрального Интернет-канала.....	191
5.2.2. Исследование влияния типов пользователей на свойства агрегированного Интернет-трафика .....	193
5.3. О допустимой загрузке высокоскоростного канала передачи Интернет-трафика .....	198
5.3.1. Анализ результатов расчетов загрузки магистрального канала средствами гибридной модели информационных потоков .....	199
5.4. Исследование влияния размера буфера сетевого маршрутизатора на качество обслуживания пользователей сети Интернет .....	202
5.5. Выводы .....	208
5.6. Контрольные вопросы к главе 5.....	209
5.7. Список литературы к главе 5 .....	210
<b>Заключение .....</b>	<b>212</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>213</b>
1. Листинг m-функции, возвращающей значение фрактальной размерности двумерного объекта .....	213

2. Листинг $m$ -функции, возвращающей значение поточечной фрактальной размерности.....	214
3. Листинг $m$ -функции, возвращающей значения показателя Херста, оцениваемое по всем значениям временного ряда .....	215
4. Листинг $m$ -функции, возвращающей значение показателя Херста в соответствии с формулой (2.49) .....	217
5. Листинг $m$ -функции, возвращающей значение показателя Херста в соответствии с формулой (2.54) .....	218
6. Листинг $m$ -функции, возвращающей значение показателя Херста, оцениваемое по всем значениям временного ряда ..	219
7. Листинг модифицированной $m$ -функции, возвращающей значение показателя Херста, оцениваемое по выбранным значениям временного ряда.....	221
8. Листинг программной реализации модифицированной жидкостной модели (основная функция) .....	222
9. Листинг программной реализации модифицированной жидкостной модели (вспомогательная функция).....	227