

Введение

Современное состояние телекоммуникационной отрасли характеризуется постоянным ростом технических возможностей оборудования, увеличением скоростей передачи данных, а также появлением новых критериев обеспечения качества обслуживания клиентов. Сегодня большинство Интернет-провайдеров осуществили переход на так называемые «безлимитные» тарифные планы, где важным критерием обеспечения качества обслуживания является предоставление заявленной скорости передачи данных. В этих условиях при проектировании современных телекоммуникационных сетей они должны знать точный ответ на вопрос: какое количество пользователей можно обслуживать при условии обеспечения заявленной скорости доступа к Интернет-каналам? Сегодня, как показывает практика, наиболее популярными остаются эмпирические методы оценки количества необходимых сетевых ресурсов (например, метод экспертных оценок), которые зачастую оказываются недостаточно точными. Это, в свою очередь, приводит либо к неоправданным затратам, либо к несоответствию между заявленным и фактическим качеством предоставляемых пользователю сетевых сервисов и, как следствие, невыполнению провайдером взятых на себя обязательств.

Результаты анализа существующих решений данной проблемы позволяют сделать вывод о том, что один из наиболее рациональных подходов, обеспечивающих, с одной стороны, адекватный выбор необходимого сетевого оборудования и не требующий при этом его приобретения, монтажа, настройки и проверочного тестирования на действующих Интернет-каналах, с другой — основан на использовании математических моделей каналов передачи данных. В этой связи знание математических моделей информационных потоков в высокоскоростных магистральных Интернет-каналах и умение их применять на практике является одной из важных профессиональных компетенций специалиста в области телекоммуникаций.

Анализ работ, посвященных проблемам построения математического описания информационных потоков в современных магистральных Интернет-каналах, позволяет предложить следующую классификацию известных подходов к моделированию Интернет-трафика:

1. *Аналитические модели* (в первую очередь, модели теории массового обслуживания, теории телетрафика).

2. *Программы-генераторы сетевого трафика* (в том числе статистические модели трафика).

3. *Сетевые пакетные симуляторы* — специализированные программные продукты, предназначенные для детального описания про-

цесса передачи данных по сети (на уровне отдельных пакетов) и учитывающие механизмы регулирования скорости потоков трафика.

4. *Жидкостные модели*, учитывающие механизмы управления скоростью потоков передачи, что позволяет существенно уменьшить число рассматриваемых событий при моделировании Интернет-трафика за счет перехода от рассмотрения процессов распространения в канале передачи данных отдельных пакетов к рассмотрению укрупненных групп пакетов. Здесь можно провести аналогию с известным в физике последовательным переходом от метода молекулярной динамики, используемого для описания движения отдельных молекул газа (пакетов), к описанию свойств газов на языке функций распределения, одновременно описывающих свойства всех частиц газа (группы пакетов), и далее к термодинамическому описанию (характеристики магистрального Интернет-канала). В таких моделях оказывается возможным учесть особенности функционирования алгоритмов ограничения скорости отдельных пользователей, применяемых в современных высокоскоростных сетях передачи данных.

Классические подходы, используемые при исследовании моделей передачи информации, подробно описаны в работах, посвященных системам массового обслуживания, например, таких авторов, как А.Я. Хинчин, Б.В. Гнеденко, Л. Клейнрок и др. [1–3]. Принципы построения таких систем легли в основу современного имитационного моделирования (ИМ), широко применяемого при проектировании сетей передачи данных.

Современный уровень развития вычислительной техники позволил создавать множество специализированных языков имитационного моделирования, а также сред моделирования сетей передачи данных — сетевых симуляторов. Появление методов генерации синтетического трафика и моделей его прохождения по сети средствами сетевых симуляторов открыло широкие возможности для изучения моделей передачи данных и их сравнения с данными о реальных каналах передачи.

Необходимо отметить, что многие исследователи (Б.С. Цыбаков, А.Я. Городецкий, В.С. Заборовский, В.В. Крылов, О.И. Шелухин, В.В. Петров и др. [4–6]) в своих работах акцентировали внимание на самоподобии сетевого трафика. Вместе с тем, известен ряд современных работ, посвященных исследованию особенностей высокоскоростных магистральных Интернет-каналов, авторам которых не удалось обнаружить самоподобные свойства сетевого трафика. Так Н. Gupta, А. Mahanti, V.J. Ribeiro [7] обнаружили, что на временных интервалах длительностью нескольких секунд самоподобные свойства проявляются, а на более коротких временных отсчетах не проявляются и

распределение сетевого трафика близко к распределению Пуассона. Принимая во внимание рост скоростей передачи данных в современных магистральных Интернет-каналах, а также сглаживающий эффект современных политик ограничения скорости, для однозначного ответа на вопрос, является ли трафик современных магистральных Интернет-каналов самоподобным, требуются дополнительные исследования.

Как известно, одним из наиболее важных факторов, определяющих реалистичность моделируемого трафика, являются статистические свойства источников (т.е. характер активности работы пользователей). Поэтому параллельно с развитием методов моделирования прохождения данных по сети продолжают развиваться методы построения статистически реалистичных источников трафика. Современные варианты статистических моделей Интернет-трафика предложены в работах F. Hernandez-Campos, F.D. Smith, В.А. Огородникова, А.С. Родионова, А.А. Назарова, Г.А. Михайлова и др. [8, 9, 11].

На сегодняшний день большой интерес при исследовании высокоскоростных Интернет-каналов представляют жидкостные модели передачи данных, предложенные группой исследователей: V. Mishra, W.B. Gong, D. Towsley. Применение данного класса моделей позволяет существенно сократить затраты машинного времени и решать задачи моделирования современных магистральных каналов на скоростях, на которых сетевые пакетные симуляторы уже не применимы.

Необходимо отметить, что каждому из перечисленных выше подходов присущи известные недостатки:

1. При использовании аналитических моделей не удается учесть особенности современных механизмов регулирования скорости (механизмы реакции на потери пакетов, ограничения потоков отдельных пользователей, влияние потоков друг на друга и т.д.).

2. При использовании программ-генераторов трафика оказывается невозможным учесть особенности передачи генерируемого трафика по каналу передачи данных, а также учесть механизмы обратной связи при потере пакетов, используемые в современных Интернет-каналах для управления скоростью передаваемого потока данных.

3. Использование пакетных симуляторов оказывается возможным только для моделирования каналов с умеренной пропускной способностью (потоки порядка десятков Мбит/с).

4. Источники трафика, применяемые в жидкостных моделях, оказываются весьма приближенными, поскольку в рамках известных моделей (см., например, [10]) не удается учесть рассогласованный (дискретный) характер действий пользователей.

Для устранения перечисленных выше недостатков жидкостной

модели Интернет-трафика в [12] предложена гибридная жидкостная модель информационных потоков, в которой дискретные запросы пользователей, разыгрываемые средствами статистических абстрактных *abt*-источников [11], преобразуются в потоки жидкостной модели. Последняя, в свою очередь, учитывает современные механизмы ограничения скорости клиентов сети Интернет, а так же механизмы сброса пакетов на маршрутизаторе. Предложенный подход представляется достаточно универсальным, поскольку позволяет учесть особенности активности пользователей сети Интернет, и одновременно обеспечивает возможность исследования влияния параметров настройки сетевого оборудования высокоскоростных магистральных Интернет-каналов на качество обслуживания отдельных пользователей.

Однако, анализ содержания известных учебников, выпущенных в последнее десятилетие [13–15], показывает, что изложенный в них материал, по сути, не выходит за рамки классических теорий телетрафика: пуассоновские процессы, модели систем массового обслуживания, сети Петри, аналитические методы и т.д. В этой связи представляется целесообразным изложить современные подходы к построению математических моделей информационных потоков в современных магистральных Интернет-каналах, сделав акцент на математических моделях Интернет-трафика.

Список литературы к введению

1. *Хинчин А.Я.* Математические методы теории массового обслуживания // Тр. Мат. Института им. В.А. Стеклова АН СССР, 1955.
2. *Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н.* Введение в теорию массового обслуживания. — М.: КомКнига, 2005. — 400 с.
3. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. — М.: Машиностроение, 1979. — 432 с.
4. *Цыбаков Б.С.* Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса // Радиотехника. — 1999. — № 5. — С.1–15.
5. *Городецкий А.Я., Заборовский В.С.* Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. — СПб.: СПбГТУ, 2000. — 102 с.
6. *Петров В.В.* То, что вы хотели знать о самоподобном телетрафике, но боялись спросить [Электронный ресурс].
Режим доступа: <http://pi.314159.ru/petroff1.pdf>
7. *Gupta H., Mahanti A., Ribeiro V.J.* Modeling, Analysis & Simulation of Computer and Telecommunication Systems // IEEE International Symposium 2009. — London ACM, 2009. — P.1–10.
8. *Огородников В.А., Пригарин С.М., Родионов А.С.* Квазигауссовская модель сетевого трафика // Автоматика и телемеханика. —

2010. — № 3. — С.117–130.
9. Назаров А.А., Лопатин И.Л. Асимптотически пуассоновские МАР-потoki // Вестник Томского государственного университета. — 2010. — № 4. — С.72–79.
 10. Misra V., Gong W.-B., Towsley D. Fluid-Based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED // ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2000. — Vol. 30. — Issue 4. — P.151–160.
 11. Hernandez-Campos F., Smith F.D., Jeray K. Generating realistic TCP workloads // In Proceedings of Computer Measurement Group (CMG) Conference, 2004.
 12. Гребенкин М.К., Поршнев С.В. Гибридная жидкостная модель магистрального Интернет-канала. — Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2012. — 172 с.
 13. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. — СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 2005. — 288 с.
 14. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика. — М.: РУДН, 2009. — 342 с.
 15. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. — М.: Эко-Трендз, 2010. — 392 с.