

На правах рукописи

СИМОНИНА

Ольга Александровна

**МОДЕЛИ
РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ QoS
В СЕТЯХ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2005

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Согласно принципам построения сетей следующего поколения (Next Generation Network - NGN), основанных на документах МСЭ-Т, в качестве технологической базы построения транспортного уровня NGN предполагается технология IP. Модель такой IP-ориентированной мультисервисной сети, учитывающей особенности современной сетевой инфраструктуры, может быть представлена двумя основными уровнями: уровнем услуг и транспортным уровнем.

В рамках развития NGN как единой сети общего пользования решаются задачи двух типов: краткосрочные - стирание существующей разницы в транспортировке речи и данных, предоставление новых возможностей в области развития услуг, сравнительная простота реализации при меньших затратах относительно существующих сетей; долгосрочные - построение простой и эффективной единой сети для всех видов приложений, удешевление сетевых компонентов, активное развитие новых видов услуг.

Вопросы построения мультисервисных сетей активно исследуются в работах отечественных (Б.С. Гольдштейн, А.Е Кучерявый, А.Н. Назаров, Н.А Соколов, С.Н. Степанов, М.А. Шнепс-Шнеппе, Г.Г. Яновский) и зарубежных (U. Black, J. Davidson, S. Fisher, J.M. Garcia, D. McDysan, D. Minoli, F.A. Tobagi) авторов.

В данной диссертационной работе ставятся и решаются задачи, связанные с разработкой моделей оценок показателей качества обслуживания в NGN с учетом особенностей трафика таких сетей. В ряде публикаций (M. Crovella, W. Leland, S. Molnar, K. Park, M. Taqqu, W. Willinger) показано, что трафик IP-сетей может описываться с использованием самоподобных процессов.

Теоретические исследования самоподобных процессов в СМО рассматриваются в работах М.Н. Неймана (1998), Б.С. Цыбакова (1999), В.С. Зборовского (2000), О.И. Шелухина (2003).

Однако вопросы исследования качества обслуживания (Quality of Service, QoS) в IP-ориентированных мультисервисных сетях с учетом свойств самоподобия трафика остаются открытыми, что и определяет актуальность диссертационной работы.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка моделей расчета показателей качества в сетях NGN с учетом особенностей трафика IP-ориентированных мультисервисных сетей и влияния оконечных устройств.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- анализ трафика различных приложений в IP-ориентированных мультисервисных сетях с учетом свойств самоподобия;
- разработка моделей расчета значений основных показателей сквозного QoS для различных приложений;
- оценка влияния оконечных устройств на показатели QoS для речевого пакетного трафика;

- исследование взаимного влияния трафика различных приложений в мультисервисных сетях с позиций обеспечения качества обслуживания.

Методы исследования. Проводимые исследования базируются на теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории фрактальных процессов и методах имитационного моделирования. Для численного анализа используется программный математический пакет MatLab 6.5. Имитационное моделирование фрагмента мультисервисной сети выполнено с помощью пакета моделирования сетей ns-2.

Научная новизна. Основные результаты диссертации, обладающие научной новизной:

1. Классификация трафика в мультисервисных сетях с учетом следующих характеристик: типа приложений, чувствительности к показателям QoS и законов распределения трафика;
2. Разработка моделей оценки показателей QoS (потерь и задержек) для мультисервисной сети с учетом свойств самоподобия трафика;
3. Разработка модели оценки вероятности потерь речевого трафика в мультисервисной IP-ориентированной сети в сквозном соединении с учетом влияния оконечных устройств;
4. Решение задачи оценки взаимного влияния трафика двух типов – реального времени и эластичного, с позиций обеспечения качества обслуживания, определение условий, при которых трафик реального времени и эластичный трафик могут передаваться в одном агрегированном потоке без использования механизмов управления потоками.

Практическая ценность. Основным практическим результатом диссертационной работы является получение оценок для расчета потерь и задержек в сквозном соединении в IP-ориентированных мультисервисных сетях, которые могут быть использованы при проектировании мультисервисных сетей следующего поколения.

Реализация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы использованы в разработках НТЦ «Протей» и в учебном процессе СПб-ГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Апробация работы и публикации. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях:

1. *Симонова О.А.* Повышение QoS пакетной передачи речи путем сглаживания эффектов потерь в кодеках IP-телефонии // Всероссийская конференция «Сети связи следующего поколения»: сб. тр. СПб: «Петеркон», 22-6 февраля, 2003.
2. *Симонова О.А.* Использование метода прогнозирования временных рядов для обеспечения QoS IP-телефонии на стороне получателя // 5-я МНТК «ПТСПИ'2003»: мат-лы. Владимир-Суздаль, 1-4 июля, 2003.

3. *Simonina O.A., Galkin A.M., Yanovsky G.G.* Analysis of IP-oriented multiservice networks characteristics with consideration of traffic's self-similarity properties // IEEE Russia Northwest section: proceedings. St-Petersburg, May 18-25, 2005,

а также на научно-технических конференциях и семинарах СПбГУТ.

Основные положения диссертации изложены в 9 докладах на научно-технических конференциях, 3 научных статьях и в 1 учебном пособии. Всего по теме диссертации опубликовано 13 печатных работ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Классификация трафика в мультисервисных сетях по приложениям.
2. Модели оценки основных показателей качества обслуживания – потерь и задержек – в мультисервисных сетях.
3. Модели влияния параметров оконечных устройств на показатели качества обслуживания.
4. Результаты анализа взаимного влияния трафика в мультисервисных сетях.

Личный вклад автора. Основные результаты теоретических и прикладных исследований получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль при постановке и решении задач и обобщении полученных результатов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 130 страниц текста, 41 рисунок, 16 таблиц, 61 формулу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, перечислены результаты, полученные в диссертации, определены практическая ценность и области применения результатов, приведены сведения по апробации работы и представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ современного состояния мультисервисных сетей и тенденций их развития в направлении NGN. Поскольку в качестве технологической основы построения транспортного уровня мультисервисных сетей следующего поколения рекомендовано использование технологии IP, модель мультисервисной сети может быть представлена двумя основными уровнями: услуг и транспортным. Такое уровневое представление оказывается весьма полезным при построении моделей оценок сквозного QoS.

Одна из главных проблем, возникающих при переходе от специализированных сетей к единой мультисервисной сети связи, состоит в обеспечении требуемого качества обслуживания для различных услуг и приложений. Разра-

ботка механизмов обеспечения качества обслуживания в мультисервисных сетях является одной из центральных проблем в деятельности организаций по стандартизации: ITU-T, IETF, ETSI и др.

Эталонная модель мультисервисной IP-ориентированной сети, обеспечивающей сквозное качество обслуживания, т.е. каждая сеть, входящая в состав мультисервисной сети, и каждый узел этих сетей должны соответствовать соглашению по QoS, показана на рис. 1.

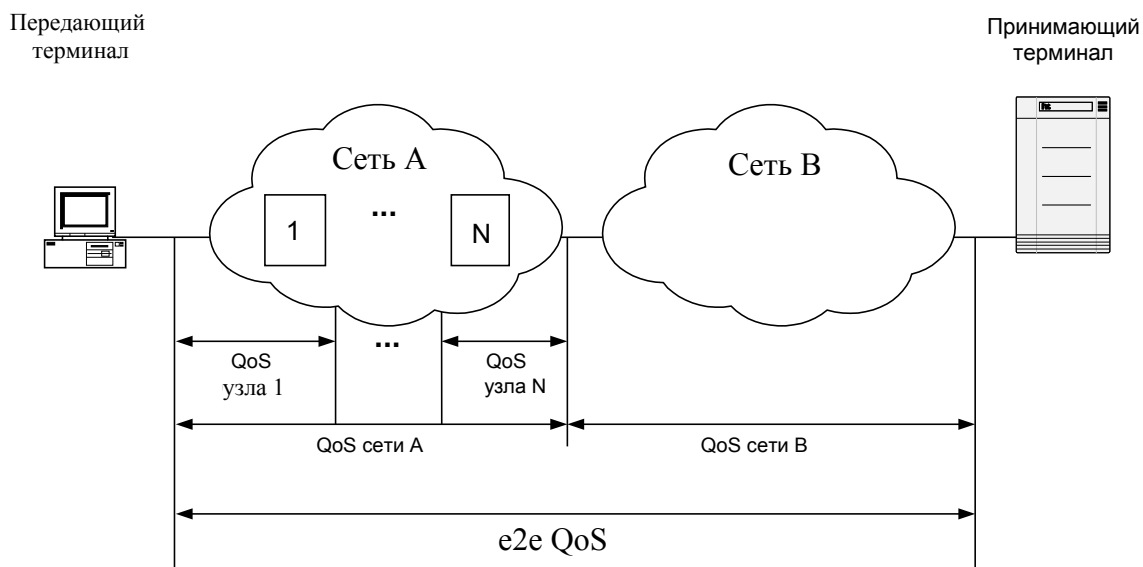


Рис.1. Эталонная модель сети с обеспечением сквозного QoS

В диссертационной работе проанализированы модели предоставления качества услуг (IntServ, DiffServ, MPLS) и показатели QoS.

Как показал анализ, проведенный в главе 1, задача обеспечения сквозного качества обслуживания в мультисервисных сетях является достаточно сложной, поскольку имеется значительное число факторов, влияющих на показатели QoS в территориально распределенных сетях. Совокупность этих факторов определена в диссертационной работе и представлена на рис. 2. Анализ влияния отдельных факторов рассматривается в дальнейших главах диссертационной работы.

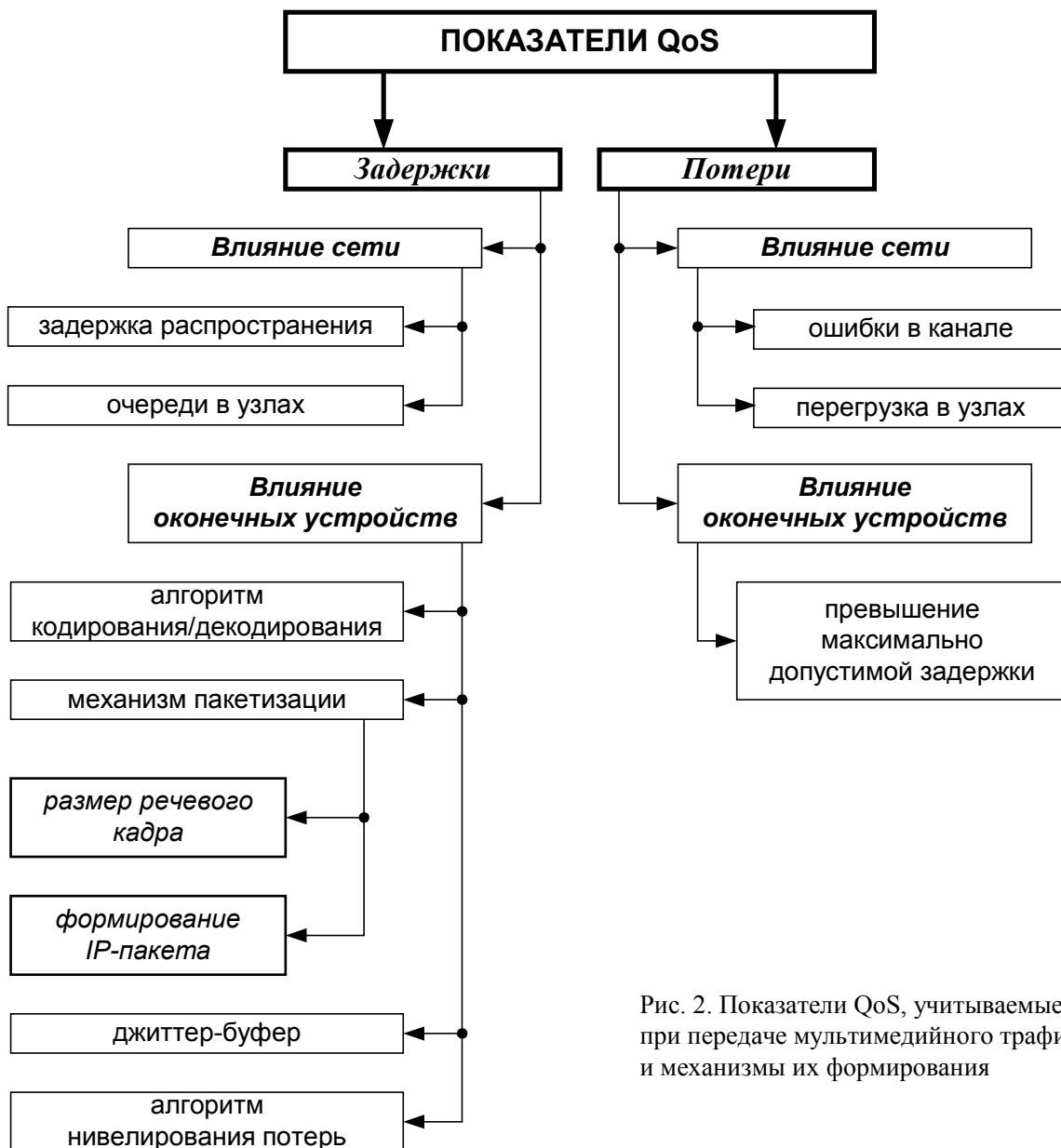


Рис. 2. Показатели QoS, учитываемые при передаче мультимедийного трафика, и механизмы их формирования

Вторая глава посвящена анализу статистических свойств трафика и методам расчета основных показателей QoS в мультисервисных сетях.

Основное влияние на показатели QoS в IP-сетях оказывают протоколы транспортного уровня TCP и UDP. Статистический анализ трафика в современных IP-сетях (S. Molnar, 2000) показывает, что доля трафика TCP достигает 90%, еще около 9% приходится на долю трафика UDP и приблизительно 1% занимает трафик служебных протоколов. При переходе к мультисервисным IP-сетям возрастает доля трафика UDP по сравнению с трафиком TCP в связи с ростом приложений реального времени. При этом возникает ряд проблем, связанных, в первую очередь, с задачей обеспечения качества обслуживания приложений, использующих протокол UDP.

В общем случае трафик мультисервисной сети можно разделить на три основных класса: реального времени, потоковый и эластичный (табл. 1).

Таблица 1

Классификация трафика мультисервисной IP-сети по приложениям

Трафик	Приложения	Чувствительность к показателям QoS
Реального времени	IP-телефония Видеоконференцсвязь	К задержке К джиттеру задержки Малая к потерям
	Процессы управления Игры on-line	К задержке К джиттеру задержки К потерям
Потоковый	Аудио по требованию Видео по требованию Интернет-вещание	Малая к задержке К джиттеру задержки К потерям
Эластичный	Конференция документов	Малая к задержке Малая к джиттеру задержки Высокая к потерям
	Анимация Передача файлов E-mail	Очень малая к задержке Малая к джиттеру задержки Высокая к потерям

На основе анализа проведенных исследований (S. Molnar, M. Taqqu, M. Crovella и др.) в диссертационной работе предложены классификация трафика по приложениям и сопоставление каждому типу приложений законов, позволяющих наиболее полно описать поведение трафика на конкретном уровне модели IETF. Результаты классификации представлены в табл. 1 и 2. В табл. 2 приняты следующие обозначения: А – закон распределения входящего потока, В – закон распределения длин блоков данных.

Таблица 2

Законы распределения для типов трафика на разных уровнях модели TCP/IP

Тип трафика	Уровень	Закон распределения		Публикация
		А	В	
VoIP	Прикладной	P	P	Molnar, 2002
FTP/TCP	Транспортный	P	W и LN	Van Mieghem, 2001 Downey, 2003
SMTP/TCP	Транспортный	M	M	Molnar, 2000
HTTP/TCP	Транспортный	P	LN и P	Crovella, 1996 Van Mieghem, 2001
IP	Сетевой	P	P	Paxson, 1995
Ethernet	Канальный	P	P	Taqqu, 1997

Как видно из табл. 2, для описания трафика в мультисервисных IP-сетях наиболее широко применяется распределение Парето. Кроме того, для трафика определенных приложений ограничено используются распределения Вейбулла, логнормальное и пуассоновское. Важно отметить, что распределение Парето, как и распределения Вейбулла и логнормальное, относится к распределени-

ям с тяжелым хвостом и обладает бесконечной дисперсией в диапазоне $1 < \alpha < 2$, где показатель α характеризует «тяжесть» хвостов распределения и определяет пачечную структуру процесса. Такие процессы относятся к самоподобным процессам.

Таким образом, поведение трафика мультисервисной IP-сети характеризуется различными законами распределения, отличными от пуассоновского, в основном, законом Парето. В качестве модели СМО может быть выбрана система с общими распределениями входного потока и процессов обслуживания типа G/G/m. Задача расчета систем вида G/G/m для указанных входных процессов и процессов обслуживания (Парето, Вейбулла, логнормального) затруднена тем, что дисперсии этих процессов бесконечны. Учитывая широкое применение закона Парето для описания трафика в IP-ориентированных сетях, в дальнейшем рассматривается только система с распределениями Парето.

Введем ограниченное распределение случайной величины, которое позволяет, не меняя формы распределения, указать ее минимальное и максимальное значения. Тогда основные параметры распределения Парето будут иметь следующий вид:

$$M[x] = \frac{\alpha (Lk^\alpha - L^\alpha k)}{(1 - \alpha)(L^\alpha - k^\alpha)}, \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\alpha}{(L^\alpha - k^\alpha)} \left(\frac{L^2 k^\alpha - L^\alpha k^2}{(2 - \alpha)} - \frac{\alpha (Lk^\alpha - L^\alpha k)^2}{(1 - \alpha)^2 (L^\alpha - k^\alpha)} \right), \quad (2)$$

$$C^2 = \frac{(1 - \alpha)^2 (L^\alpha - k^\alpha)}{\alpha (Lk^\alpha - L^\alpha k)^2} \left(\frac{L^2 k^\alpha - L^\alpha k^2}{(2 - \alpha)} - \frac{\alpha (Lk^\alpha - L^\alpha k)^2}{(1 - \alpha)^2 (L^\alpha - k^\alpha)} \right), \quad (3)$$

где L – максимальный размер блока данных, k – минимальный размер блока данных. Под длиной блока данных понимается: размер пакета, генерируемого приложениями, например, IP-телефонии, или размер пачки пакетов, образующейся в результате работы приложения или прохождения пакетов по сети.

Для расчета системы G/G/m воспользуемся результатами теории диффузионной аппроксимации, полученными в монографии Н.Б. Зелигера, О.С. Чугреева, Г.Г. Яновского (1984).

Тогда оценка среднего числа пакетов в системе G/G/m имеет вид:

$$\bar{q} = P(\rho, m) \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} + m\rho, \quad (4)$$

где $P(\rho, m)$ – вероятность того, что пакет, придя в систему, застанет все приборы занятыми. При этом $P(\rho, m)$ может быть рассчитан с использованием приближенной второй формулы Эрланга:

$$P(\rho, m) \approx m(1 - \rho) \frac{\rho^m}{1 - \rho^m} \quad (5)$$

Среднее значение числа пакетов в очереди и значение задержки в очереди определены как:

$$\bar{w} = P(\rho, m) \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2}, \quad (6)$$

$$\bar{t}_w = P(\rho, m) \frac{\bar{t}_s}{m(1 - \rho)} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2}, \quad (7)$$

\bar{t}_w – среднее время пребывания пакета в буфере, \bar{t}_s – среднее время обработки пакета прибором обслуживания. Оценки t_w для различных распределений входных потоков и процессов обслуживания приведены на рис. 3 и 4. При расчете были приняты следующие предположения: пропускная способность канала 2 Мбит/с, среднее время обработки пакета на коммутаторе $\bar{t}_s = 1 \cdot 10^{-7}$.

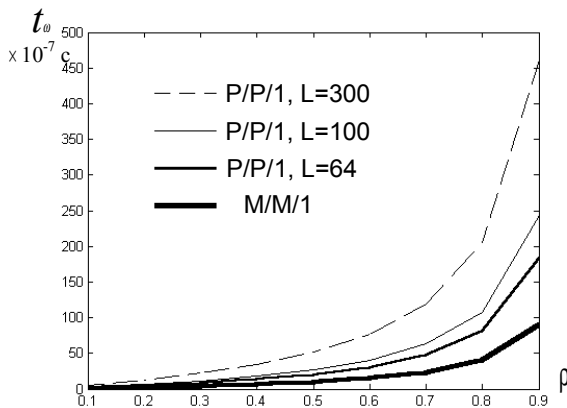


Рис. 3. Зависимость величины задержки в системе P/P/1 для различных L

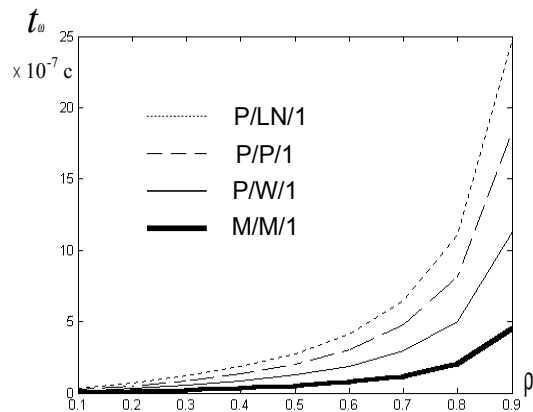


Рис.4. Зависимость величины задержки для различных законов распределения входного потока в системе P/P/1

Потери сети P_{net} обусловлены ошибками в канале (с внедрением ВОЛС потери в канале имеют величины порядка 10^{-9} , и ими можно пренебречь с учетом норм на потери в сети) и потерями в узлах сети P_{loss} . Потери в узлах сети P_{loss} определяются интенсивностью трафика, размером буфера, применяемой политикой обслуживания очередей и используемыми методами предотвращения перегрузки.

Используя формулы для оценки потерь в системе G/G/1, приведенные в монографии Н.Б. Зелигера и др.:

$$P_{loss} = \frac{1 - \rho}{1 - \rho \frac{2}{C_a^2 + C_s^2} nb + 1} \rho \frac{2}{C_a^2 + C_s^2} nb \quad (8)$$

где C_a^2 и C_s^2 – квадратичные коэффициенты вариации, соответственно, распределений входящего потока и времени обслуживания, nb – размер буфера, ρ – загрузка системы.

Зависимости потерь от загрузки системы и размера буфера для различных нагрузок показаны на рис. 5, 6.

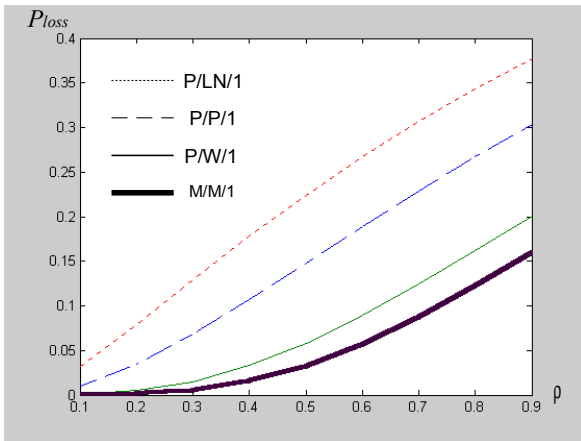


Рис.5. Зависимость вероятности потерь в системе G/G/1 для различных законов распределения входного потока

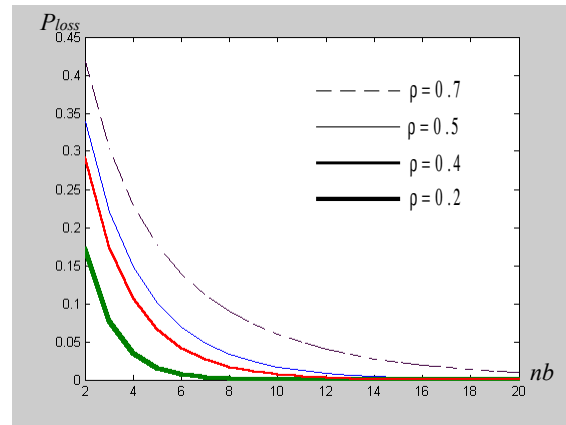


Рис.6. Зависимость вероятности потерь от размера буфера nb в системе P/P/1

В IP-сетях трафик различных источников на сетевом уровне мультиплексируется, формируя общий поток, называемый агрегированным. Далее в работе рассматривается решение задачи оценки потерь при условии, что на вход узла поступает агрегированный трафик.

В работах М. Таqqu и W. Willinger показано, что при агрегировании различных потоков результирующий поток будет обладать свойствами самоподобия, если хотя бы один из исходных потоков обладает этими свойствами.

В статье Б.С. Цыбакова (1999) доказано существование верхней и нижней асимптотических границ вероятности потерь для агрегированного потока:

$$c_2 nb^{k(1-\alpha)} \leq P_{loss} \leq c_1 nb^{k(1-\alpha)}, \quad (9)$$

где c_1 и c_2 – некоторые функции, зависящие от характеристик источников трафика, т.е. законов распределения и пачечности, nb – размер буфера источника, $k = f(\rho)$ – функция, характеризующая поведение узла. Однако Б.С. Цыбаков не определил вид функций c_1 и c_2 , отметив, что это является нерешенной задачей.

На основе соотношения (8) и в предположении, что степень пачечности α для всех потоков одинакова, в диссертационной работе показано, что:

$$c_1 = f(C_{a1}^2, C_{s1}^2) = f(\alpha, L_{min}), \quad c_2 = f(C_{a2}^2, C_{s2}^2) = f(\alpha, L_{max}), \quad (10)$$

где L_{min} и L_{max} – нижняя и верхняя границы (в числе пакетов) максимально возможного размера пачки агрегированного потока.

Тогда, используя соотношение (8), можно рассчитать верхнюю и нижнюю границы вероятности потерь в системе P/P/1. На рис. 7 показаны верхняя и нижняя границы вероятности потерь, полученные при условиях: $L_{min} = 60$ и $L_{max} = 100$ пакетов.

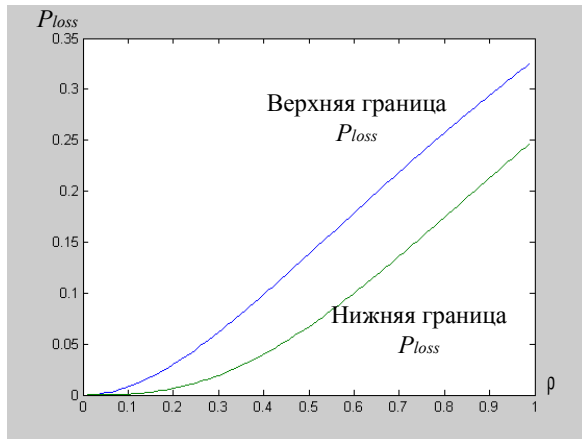


Рис. 7. Асимптотические границы вероятности потерь в системе P/P/1

В третьей главе рассмотрены вопросы оценки сквозного QoS в мультисервисных IP-сетях с учетом влияния конечных устройств.

В настоящее время в IP-телефонии наибольшее распространение получили кодеки ITU-T G.711 (64 кбит/с), G.723 (5,3 и 6,3 кбит/с) и G.729 (8 кбит/с). Как известно, применение кодеков как устройств пакетизации речи приводит к определенным проблемам, связанным с обеспечением требуемых значений показателей QoS. Одним их наиболее распространенных механизмов улучшения качества речи является механизм

нивелирования потерь (Packet Loss Concealment, PLC), обеспечивающий компенсацию пробелов в речевом потоке, вызванных потерей отдельных пакетов.

Применяемые методы PLC можно разделить на два типа.

–На стороне получателя: позволяют улучшать показатели качества обслуживания независимо от механизмов обеспечения QoS внутри сети. Обнаружение потерянного пакета на стороне получателя обеспечивается анализом номеров пакетов в заголовках RTP, после чего используются различные варианты замены потерянного пакета: комфортным шумом, предыдущим пакетом или его фрагментом.

–На стороне отправителя и получателя (обеспечение сквозного QoS): предполагается применение PLC на обоих концах соединения. Эта группа методов базируется на начальном анализе сигнала на стороне отправителя: определяются огласованные и неогласованные участки речи, и для каждого участка речи подбираются параметры, позволяющие снизить влияние потерь на качество речи.

Однако применение механизмов PLC зачастую приводит к существенному росту общесетевых задержек.

Кодек G.711 обеспечивает наименьшую задержку алгоритма кодирования $t_{codec_max} \leq 15$ мс (с учетом применения методов PLC), но требует существенно больших сетевых ресурсов, чем кодеки других типов.

Задержка, вносимая кодеками G.723 и G.729 на основе линейного пред-

сказания (LSP-кодеками), состоит из двух составляющих – задержки анализатора кодека t_{an} на передающей стороне и задержки синтезатора кодека t_{syn} на приемной стороне (рис.8). Причем t_{an} – постоянная величина, а t_{syn} – переменная, зависящая от используемых в синтезаторе кодека механизмов повышения помехоустойчивости.

Анализатор кодека формирует IP-пакеты на основании кадров речи, обеспечивая постоянную задержку анализатора кодека:

$$t_{an} = t_{fr} + t_{al},$$

где t_{fr} – длина кадра, t_{al} – задержка алгоритма кодека или пакетизации.

Задержка синтезатора кодека с учетом джиттер-буфера:

$$t_{syn} = t_j + t_{dec} + t_{plc},$$

где t_j – задержка, вносимая джиттер-буфером, t_{dec} – задержка, вносимая алгоритмом декодера, t_{plc} – задержка, вносимая механизмом нивелирования потерь.

Таким образом, общая задержка LSP-кодека имеет вид:

$$t_{codec} = t_{fr} + t_{al} + t_j + t_{dec} + t_{plc}. \quad (11)$$

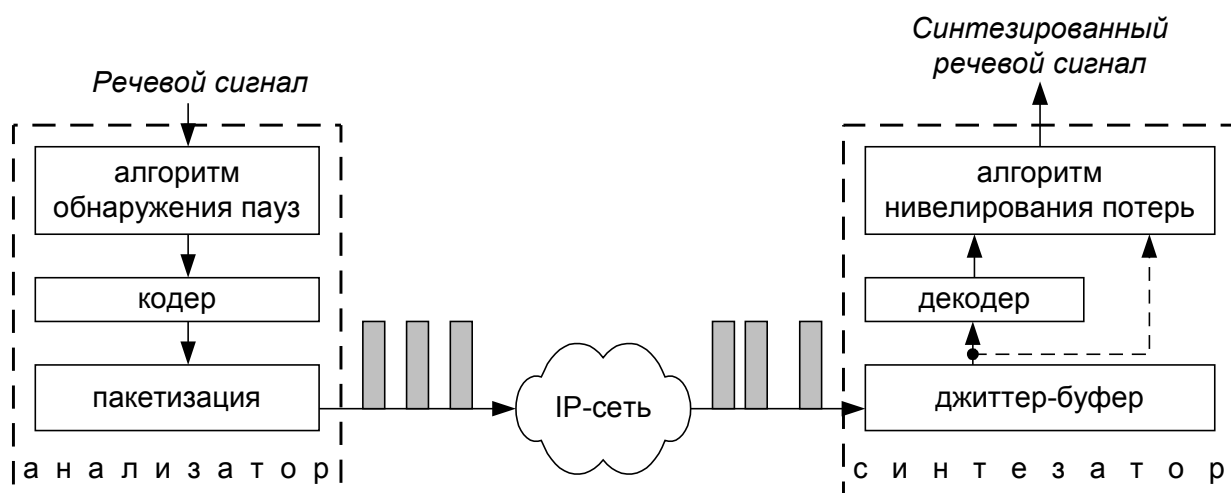


Рис. 8. Компоненты системы VoIP

На основе проведенного анализа параметров кодеков и механизмов PLC показано, что параметр t_{codec} удовлетворяет неравенству: $t_{codec} \leq 3,5 t_{fr}$.

Результаты расчетов задержек, вносимых основными типами кодеков, приведены в табл. 3, из которой видно, что для обеспечения задержки менее 200 мс (норматив ESTI, проект TIPHON) задержка сети не должна превышать 95 мс для кодека G.723 и 165 мс для G.729. Таким образом, использование кодека G.723, хотя приводит к экономии полосы пропускания, но формирует значительную задержку, которая может привести к понижению качества обслуживания из-за потерь, обусловленных превышением максимально допустимой задержки.

Оценка задержки сети с учетом задержки оконечных устройств

Кодек		G.711	G.723	G.729
Максимальная задержка алгоритма кодека, мс		15	105	35
Максимально допустимая задержка сети в зависимости от класса услуги, мс	Класс 1, < 200 мс	<185	<95	<165
	Класс 2, < 300 мс	<285	<195	<265
	Класс 3, < 400 мс	<385	<295	<365

Примечание. Нормы задержек в зависимости от класса услуги взяты из проекта TIPHON, ETSI.

Также в диссертационной работе проведены расчеты потерь в сквозном соединении P_{e2e} для трафика реального времени.

При условии независимости потерь в сети и в оконечном устройстве вероятность P_{e2e} может быть оценена по формуле:

$$P_{e2e} = 1 - (1 - P_{net})(1 - P_{ter}), \quad (12)$$

где P_{net} – потери сети; P_{ter} – потери на оконечном устройстве из-за превышения допустимой задержки (оцениваются только для трафика реального времени и потокового).

Причиной появления P_{ter} является, прежде всего, джиттер задержки. В этом случае превышение допустимого значения задержки в сети в целом для трафика реального времени окажется критичным, т.е. не будут выполнены соглашения по качеству обслуживания.

Пусть максимально допустимое значение задержки в сквозном соединении равно t_{max} . Тогда все пакеты трафика реального времени, для которых сетевая задержка $t_{net} > t_{max}$ будут потеряны. Пакеты, приходящие в джиттер-буфер, задерживаются в нем на время, необходимое для выравнивания задержки, причем максимальная задержка не превышает величины $t_j \leq t_{max} - t_{codec} - t_{net}$.

Будем считать, что одно место в буфере эквивалентно задержке на единицу времени. Тогда можно рассматривать t_{j_max} как эквивалент максимального размера джиттер-буфера.

Используя выражение (8), получим соотношение для расчета P_{ter} :

$$P_{ter} = \frac{1 - \rho}{1 - \rho \frac{2}{C_a^2 + C_s^2} t_{j_max}^{+1}} \rho \frac{2}{C_a^2 + C_s^2} t_{j_max} \quad (13)$$

Кроме того, в гл. 3 решена задача оценки взаимного влияния трафика реального времени и эластичного трафика при одновременной передаче в мультисервисной сети с позиций обеспечения качества обслуживания.

Для анализа качества обслуживания использовались P_{e2e_RT} – вероятность потерь в сквозном соединении для трафика реального времени и P_{e2e_el} – вероятность потерь в сквозном соединении для эластичного трафика. Для сравнения

вариантов распределения пропускных способностей введем показатель $\eta = B_{el}/B$, где B_{el} – пропускная способность, выделяемая для передачи эластичного трафика, B – общая пропускная способность. Показатель η меняется в пределах от 0 до 1, где $\eta = 0$ соответствует случаю, когда в сети передается только трафик реального времени, $\eta = 1$ – только эластичный трафик.

Определим условия соответствия показателей QoS соглашению по качеству обслуживания: $P_{e2e_RT} < P_{e2e_RT_max}$ и $P_{e2e_el} < P_{e2e_el_max}$. Таким образом, необходимо решить систему неравенств:

$$\begin{cases} P_{loss_el}(\eta) < P_{loss_el_max} \\ P_{loss_RT}(\eta) < P_{loss_RT_max} \end{cases}, \quad (14)$$

где $P_{loss_el}(\eta)$ и $P_{loss_RT}(\eta)$ определяются согласно выражениям (8), (12) и (13), при следующих нормах на потери, соответствующих рекомендациям ИТУ-T:

- $P_{e2e_RT_max} = 0,02$ – максимально допустимые потери для трафика реального времени;
- $P_{e2e_el_max} = 0,03$ – максимально допустимые потери для эластичного трафика;
- $nb = 100$ мест – стандартный размер буфера сетевого узла;
- $t_{j_max} = 20$ мс – максимальная величина джиттера;
- $B = 2$ Мбит/с – пропускная способность канала;
- $\alpha = 1.5$ – пачечность для каждого типа трафика определяется характеристическим показателем;
- законы распределения входящих процессов и процессов обслуживания в сетевых узлах и в джиттер-буфере описываются распределением Парето.

По полученным значениям η можно определить эффективные значения пропускных способностей B_{RT} и B_{el} .

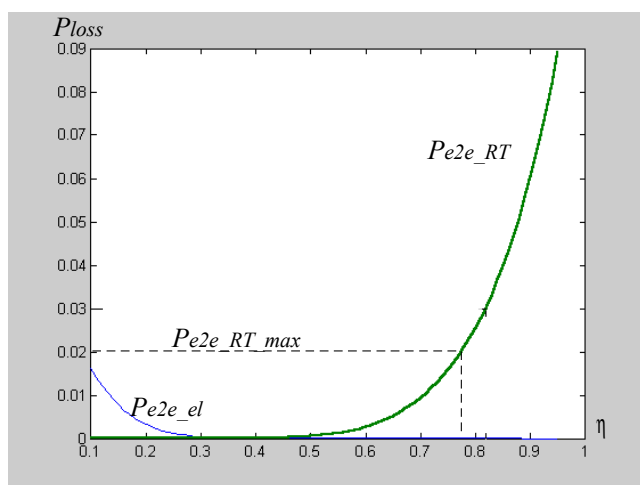


Рис.9. Расчетные значения вероятности потерь эластичного трафика и трафика реального времени

Как видно из рис. 9, при заданных исходных данных потери эластичного трафика имеют место в том случае, если трафик реального времени занимает более 30% от общей полосы пропускания. В этом случае, в соответствии с алгоритмом работы ТСР начинает действовать механизм перезапросов, что приводит к росту эластичного трафика и к увеличению потерь.

Таким образом, в главе 3 получены оценки влияния кодеков VoIP на потери и задержки трафика VoIP и взаимного влияния трафика

реального времени и эластичного трафика, передаваемых в одном канале без использования дополнительных механизмов обеспечения QoS.

В четвертой главе приведены результаты имитационного моделирования фрагмента мультисервисной сети с использованием пакета Network Simulation (ns2).

В качестве примера рассматривалась сеть (рис. 10), в которой источники формируют трафик, описываемый распределениями Парето. Сеть состоит из 6 узлов $n0 - n5$, четыре из которых являются источниками трафика ($n0, n1, n4, n5$), один – маршрутизатором ($n2$) и один – точкой назначения трафика ($n3$).

Звенья между узлами характеризуются параметрами:

- пропускная способность – 2Мбит/с;
- механизм обслуживания очереди – DropTail.

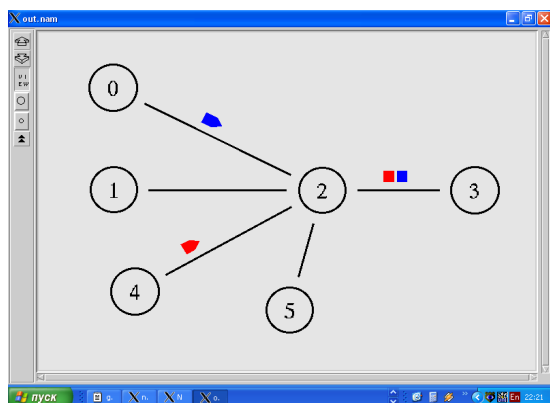


Рис. 10. Топология моделируемого фрагмента мультисервисной сети

Генератор трафика Парето имеет несколько характеристик, в том числе размер пакета, скорость источника, характеристический показатель распределения α . В данном случае размер пакета $L = 64$ байта (стандартный размер пакета VoIP), характеристический показатель распределения $\alpha = 1,5$ (показано что, это значение наиболее точно отражает свойства сетевого трафика), скорость источника переменная. Таким образом, четыре источника потоков трафика, распределенных по закону Парето, создают общий агрегированный поток на участке между узлами $n2$ и $n3$.

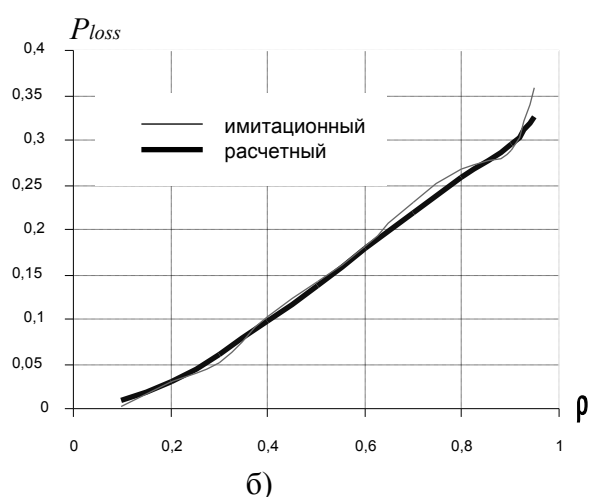
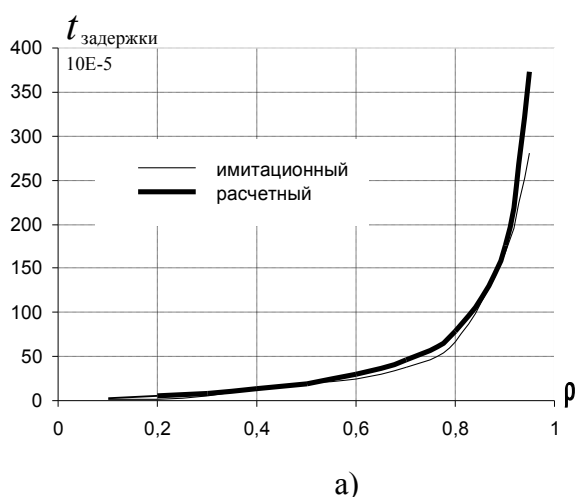


Рис. 11. Расчетная и имитационная зависимости от загрузки: времени задержки - а; вероятности потерь - б

По результатам моделирования получены оценки вероятностей потерь и средних задержек на узле (рис. 11).

Относительная погрешность моделирования

ρ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\delta_p, \%$	5,4128	5,9184	4,0476	1,5385	0,2041	1,4966	1,6841	1,4541	0,4762	2,4543
$\delta_{p_s}, \%$	0,0042	0,0024	0,0591	0,0434	0,0373	0,0555	0,2430	0,2704	0,1530	1,0253

Оценки относительной погрешности моделирования, приведенные в табл. 4, не превышают 6%, что подтверждает правильность моделей, разработанных в диссертационной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенных в диссертационной работе исследований получены следующие основные результаты.

1. Предложено применить теорию самоподобных процессов для анализа трафика IP-ориентированных мультисервисных сетей и получения соотношений для расчета показателей качества обслуживания в таких сетях.

2. Проведена классификация свойств трафика мультисервисных сетей по приложениям, определены признаки самоподобия на различных уровнях эталонной модели IETF в соответствии с характеристиками законов распределения вероятностей.

3. Разработаны модели расчета основных показателей качества обслуживания – задержек и потерь, с учетом свойств самоподобия трафика мультисервисных сетей. Определены основные характеристики агрегированного трафика в транспортном сегменте мультисервисных сетей с учетом характеристик составляющих потоков.

4. Исследовано влияние типа кодека на задержку пакетов в сквозном соединении мультисервисных сетей. Предложена модель оценки влияния джиттер-буфера на потери трафика реального времени.

5. Решена задача взаимного влияния трафика реального времени и эластичного трафика в мультисервисных сетях с позиций обеспечения гарантированного QoS. Показано, что доля трафика реального времени не должна превышать 30% от общей пропускной способности сети для регламентированных норм на потери и задержки.

6. Проведено моделирование фрагмента мультисервисной сети с учетом свойств самоподобия трафика на базе пакета ns2. Результаты моделирования подтверждают правильность предложенных аналитических моделей.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Симонина О.А.* Использование метода прогнозирования временных рядов для сглаживания эффекта потерь пакетов в кодеках IP-телефонии // 54-я НТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: мат-лы / СПбГУТ. СПб, 2002. С. 23 - 24.
2. *Симонина О.А.* Анализ статистической модели прогнозирования речевых параметров в режиме реального времени // 55-я НТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: мат-лы / СПбГУТ. СПб, 2003. С. 18.
3. *Симонина О.А.* Повышение QoS пакетной передачи речи путем сглаживания эффектов потерь в кодеках IP-телефонии // Всероссийская конференция «Сети связи следующего поколения»: сб. тр. СПб: «Петеркон», 2003. С. 171-174.
4. *Симонина О.А.* Использование метода прогнозирования временных рядов для обеспечения QoS IP-телефонии на стороне получателя // 5-я МНТК «ПТСПИ'2003»: мат-лы. Владимир-Суздаль, 2003. С.
5. *Симонина О.А.* Расчет параметров качества обслуживания сетей нового поколения // 56-я НТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: мат-лы / СПбГУТ. СПб, 2004. С. 17.
6. *Симонина О.А., Глазунов А.С., Четвертухин В.Г.* Сети ЭВМ и телекоммуникации. методические указания к курсовому проектированию / СПбГУТ. СПб, 2004.
7. *Симонина О.А.* Расчет параметров качества обслуживания мультисервисных сетей при моделировании трафика процессами с самоподобными свойствами // 57-я НТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: мат-лы / СПбГУТ. СПб, 2005. С. 14.
8. *Симонина О.А., Пьянкова Л.М.* Сравнительный анализ параметров качества обслуживания транспортных технологий // 57-я НТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: мат-лы / СПбГУТ. СПб, 2005. С. 20.
9. *Симонина О.А., Галкин А.* Моделирование трафика мультисервисной IP-сети с использованием пакета NS2 // 57-я НТК профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: мат-лы / СПбГУТ. СПб, 2005. С. 19-20.
10. *Симонина О.А., Яновский Г.Г.* Характеристики трафика в сетях IP // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб. 2005. № 171. С. 8-12.
11. *Simonina O.A., Galkin A.M., Yanovsky G.G.* Analysis of IP-oriented multiservice networks characteristics with consideration of traffic's self-similarity properties // IEEE Russia Northwest section: proceedings. St-Petersburg, 2005. V. 5. С. 155-158.
12. *Симонина О.А., Галкин А.М., Бартолломеи С.* VoIP: новые возможности для предприятия // Вестник связи. 2005. № 5. С. 191-196.
13. *Симонина О.А., Галкин А.М.* Метод расчета характеристик IP-ориентированных мультисервисных сетей с учетом свойств самоподобия трафика // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб. 2005. № 172. С. 6-10.

Подписано к печати 00.00.2005.

Объем 1 печ. л. Тираж 60 экз.

Тип. СПбГУТ. 191186 СПб, наб р. Мойки, 61