

На правах рукописи

Саламех Немер

**АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СКОРОСТИ
ЗВЕНЬЕВ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПРИ СОВМЕСТНОМ
ОБСЛУЖИВАНИИ НЕОДНОРОДНОГО ТРАФИКА
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Специальность 05.12.13 –
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2016 г.

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) на кафедре «Сети связи и системы коммутации»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Степанов Сергей Николаевич**, и.о. зав. кафедрой «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ

Официальные оппоненты:

Цитович Иван Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (ИППИ РАН), г. Москва

Масленников Андрей Геннадьевич, к.т.н., директор по управлению и развитию продуктов, представительства акционерного общества «Майтел Европа АГ» в г. Москва

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт связи» (ФГУП ЦНИИС)

Защита состоится « 28 » февраля 2017 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.219.001.04 при ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» по адресу: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, МТУСИ, ауд. А-448.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МТУСИ

<http://srd-mtuci.ru/index.php/ru/council>

Автореферат разослан « ___ » 2016 г.

Ученый секретарь,
диссертационного совета Д. 219. 001. 04
кандидат технических наук, доцент

Максим Валерьевич Терешонок

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Повышение загрузки ресурса мультисервисных сетей связи при сохранении требуемых норм качества обслуживания трафика является важной задачей, решение которой необходимо для организации эффективной работы сетевой инфраструктуры операторов связи. Известно, что при совместном обслуживании неоднородного трафика коммуникационных приложений реального времени наблюдается перераспределение канального ресурса в пользу потоков заявок с малыми потребностями в скорости передачи информации. Для устранения отрицательных последствий этого явления предлагается применять либо резервирование, либо раздельное занятие ресурса звеньев сети. Для теоретического обоснования процедуры выбора конкретного сценария необходима разработка моделей, реализующих эти сценарии, а также алгоритмов расчета характеристик использования ресурса передачи информации.

Таким образом, исследование моделей и алгоритмов оценки характеристик пропускной способности соединительных линий сетей связи, учитывающих особенности поступления и обслуживания мультисервисного трафика, является актуальной задачей, имеющей большое значение для повышения эффективности совместного использования ресурса передачи информации. Ее решение позволит менеджменту телекоммуникационных компаний получить теоретическое обоснование проводимым мероприятиям, направленным на повышение качества работы мультисервисных сетей связи при совместном обслуживании неоднородного трафика сервисов реального времени.

Степень разработанности темы. Поставленная задача решается на базе моделей и методов теории телетрафика, а также возможностей, заложенных в механизмы управления процессом совместного обслуживания трафика в современных мультисервисных сетях связи. Различным аспектам решения этой задачи посвящены работы российских и зарубежных авторов Башарина Г.П., Гольдштейна Б.С., Ершова В.А., Кучерявого А.Е., Пшеничникова А.П., Рослякова А.В., Степанова С.Н., Самуйлова К.Е., Соколова Н.А., Цитовича И.И., Клейнрока Л., Iversen V., Ross K., Virtamo J. и др. Отдельные вопросы построения и исследования моделей линий концентрации мультисервисного трафика рассматривались в диссертационных исследованиях: Дибя В.Н., До Суан Тху., Тимошина М.М., Широкова В.Л., Щека А.Ю. и др. авторов, в частности, в работе Щека А.Ю. исследовалось обслуживание трафика реального времени, образованного конечным числом пользователей. Анализ этих и других опубликованных результатов показывает актуальное с точки

зрения практики направление исследований, которое еще не получило достаточного отражения в теоретических публикациях, посвященных данной теме. Речь идет о моделях мультисервисных сетей связи, одновременно учитывающих зависимость поступления заявок от типа трафика и наличия механизмов резервирования ресурса передачи информации.

Цели и задачи исследования. Построение и исследование модели мультисервисной сети связи с учетом зависимости поступления заявок от потребности в ресурсе передачи и степени его загрузки; разработка алгоритмов оценки характеристик пропускной способности модели; разработка методики оценки скорости соединительных линий сети, достаточной для обслуживания поступающих заявок с заданным качеством.

Научная новизна.

1. Исследована математическая модель процесса совместного обслуживания неоднородного трафика реального времени в мультисервисных сетях. В модели учитывается: зависимость поступления заявок от потребности в ресурсе передачи (пуассоновская модель для низкоскоростного трафика, модель Энгсета для высокоскоростного трафика); зависимость вероятности допуска заявки к обслуживанию от величины свободного ресурса и от степени его загрузки.

2. Даны формальные определения основным показателям совместного обслуживания заявок на передачу трафика сервисов реального времени. Среди них для каждого из рассмотренных видов трафика: доля потерянных заявок, средний объем занятого канального ресурса. Величины характеристик выражены через значения стационарных вероятностей пребывания модели в состояниях с различным числом заявок каждого из рассмотренных видов, находящихся на обслуживании. В общем случае значения характеристик оценивались с использованием имитационного моделирования или с помощью приближенного метода, основанного на процедуре просеивания потока поступающих заявок.

3. Исследован частный случай модели с двумя потоками неоднородного трафика реального времени. Построен алгоритм оценки показателей совместного обслуживания заявок, основанный на составлении и решении системы уравнений равновесия итерационным методом Гаусса-Зейделя. Показано, что построенный алгоритм прост в реализации, и может быть использован практически для всех значений входных параметров.

4. Разработана процедура оценки скорости звеньев мультисервисной сети связи, в которой допускается наличие потоков заявок на передачу трафика сервисов реального времени от конечных групп пользователей и возможность применения процедур резервирования ресурса передачи информации для

преимущественного обслуживания трафика высокоскоростных мультимедийных приложений. Проведено численное исследование условий совместного обслуживания неоднородного трафика реального времени.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в построении и исследовании модели мультисервисной сети, в которой учтена зависимость поступления и обслуживания заявок от потребности в ресурсе передачи и зависимость вероятности допуска заявки к обслуживанию от величины необходимого свободного ресурса и от степени его загрузки. Общий характер предположений позволяет применять математическую модель и созданные на ее основе расчетные алгоритмы для большинства практически важных задач. Разработанный инструментарий рекомендуется использовать при проектировании и эксплуатации мультисервисных сетей связи. Методы оценки пропускной способности мультисервисных сетей, разработанные соискателем, были использованы в компании SYRIAN TELECOM при проведении мероприятий, направленных на повышение эффективности работы инфраструктуры сети связи г. Дамаска, Сирийской Арабской Республики, а также в учебном процессе на кафедре "Сети связи и системы коммутации" (ССиСК) Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ). Реализация результатов работы подтверждена соответствующими актами, которые приведены в приложении.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи применяются методы теории телетрафика, теории вероятностей и вычислительной математики.

Положения, выносимые на защиту.

1. Анализ публикаций и опыта эксплуатации мультисервисных сетей связи показал, что при совместном обслуживании неоднородного трафика коммуникационных приложений реального времени наблюдается неконтролируемое оператором перераспределение канального ресурса в пользу потоков заявок с малыми потребностями в ресурсе передачи информации. Для устранения отрицательных последствий этого явления предлагается применять либо резервирование, либо отдельное использование ресурса звеньев сети.

2. Построенная модель мультисервисной сети связи адекватно отражает особенности формирования неоднородного трафика реального времени и дает возможность анализировать результаты применения механизмов резервирования и отдельного использования ресурса передачи информации для повышения эффективности его занятия.

3. Разработанные точные и приближенные алгоритмы позволяют находить значения характеристик передачи трафика современных инфокоммуникационных приложений и использовать полученные результаты

для анализа свойств совместного обслуживания заявок на передачу неоднородного трафика реального времени.

4. Предложенные правила выбора начальных значений скорости передачи звеньев сети и процедура их последовательного увеличения, основанная на анализе характеристик реализации алгоритма просеивания поступающих заявок, дает возможность рассчитать требуемую величину ресурса линий сети с учетом особенностей формирования и обслуживания неоднородного трафика приложений реального времени.

5. Разработанные модели и алгоритмы рекомендуется использовать в научно-исследовательских и проектных организации для решения задач оценки величины ресурса передачи информации мультисервисных линий при совместной передаче неоднородного трафика сервисов реального времени.

Степень достоверности и апробация результатов. Полученные теоретические результаты обоснованы применением математических методов теории телетрафика, подтверждены численными экспериментами. Достоверность положений и выводов диссертации подтверждается апробацией работы, основные результаты которой обсуждались и докладывались на международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2010, 2014гг.», на конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем» (Москва, РУДН, 2011, 2012, 2013 гг.), на отраслевой научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» Москва, МТУСИ, 2015г., на научной сессии Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, посвященной дню Радио (М., РНТОРЭС, 2011, 2012, 2013 гг.), на кафедре ССисК МТУСИ. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 4 в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России.

Основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков и 1 таблицу. Список литературы состоит из 120 наименований. Приложения изложены на 5 страницах машинописного текста.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, обозначена цель исследований, показана научная новизна и практическая значимость результатов диссертации, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы выполнен анализ путей развития сетей связи нового поколения. Показано, что телекоммуникационные сети совершенствуются в направлении создания условий для предоставления абонентам неограниченного набора сервисов с требуемыми характеристиками качества обслуживания. Решение этих задач осуществляется на базе пакетных технологий. Теоретические положения, необходимые для их решения,

сформулированы в рамках концепции сетей связи следующего поколения NGN.

Расширение спектра услуг приводит к появлению сервисов, требующих существенно большую скорость передачи информационного потока, нежели традиционные услуги голосовой связи. Отмечено, что эти услуги развиваются более быстрыми темпами. Опыт эксплуатации мультисервисных сетей показал, что при совместном обслуживании неоднородного трафика коммуникационных приложений реального времени наблюдается неконтролируемое оператором перераспределение канального ресурса в пользу потоков заявок с малыми потребностями в ресурсе передачи информации. Для устранения отрицательных последствий этого явления предлагается применять либо резервирование, либо раздельное использование ресурса. Для обоснования процедуры выбора конкретного сценария необходимо построить модели, реализующие эти сценарии, а также алгоритмы расчета их характеристик. Первая глава заканчивается постановкой задачи исследования.

Вторая глава посвящена построению модели сети связи, в которой учитываются особенности совместного формирования и обслуживания мультисервисного трафика. К ним относится наличие в сети абонентов, которые имеют существенные требования к ресурсу передачи информации. В анализируемой ситуации изменение количества активных абонентов меняет интенсивность потока предложенного трафика. Для учета этого явления используется вероятностная модель входного потока Энгсета. В сети также присутствуют абоненты требующие установления соединения для передачи обычного речевого трафика. Поскольку требования к ресурсу передачи невелики, а число абонентов составляет существенную величину, то можно считать выполненным предположение о пуассоновском характере поступления заявок анализируемого потока.

Сеть состоит из некоторого числа узлов, связанных между собой соединительными линиями. Звенья сети занумерованы и их общее число равно J . Через R_k обозначено множество номеров соединительных линий сети, используемых при обслуживании заявки k -го потока. Через N_j обозначено множество номеров потоков заявок, при обслуживании которых используется j -ая линия сети, а через v_j обозначена скорость передачи j -ой линии сети $j = 1, \dots, J$, выраженная в единицах канального ресурса. Множество номеров линий, входящих в R_k , называется k -ым маршрутом.

В сети имеются n потоков заявок на установление соединения с целью передачи трафика сервисов реального времени. Из числа n рассматриваемых потоков n_1 потоков формируются группами, состоящими из конечного числа пользователей (множество номеров этих потоков обозначено через ω_1), а n_2 потоков – группами, состоящими из бесконечного числа пользователей (множество номеров этих потоков – ω_2). Для обслуживания заявки k -го потока требуется b_k канальных единиц во всех звеньях k -го маршрута. Время

обслуживания заявки, имеет экспоненциальное распределение с параметром равным α_k . Если требуемого ресурса нет, то поступившая заявка получает отказ. Последовательность использования звеньев сети задана маршрутной матрицей $R = \|r_{j,k}\|$, где значение $r_{j,k}$ отлично от нуля, если j -ое звено сети используется для обслуживания заявки k -го потока.

Для каждого потока заданы интенсивности предложенного трафика a_k . Значение a_k определяет среднее число потенциальных соединений при обслуживании заявок k -го потока. Если анализируемый поток заявок пуассоновский с интенсивностью λ_k , то выполняется соотношение $a_k = \lambda_k / \alpha_k$. Если анализируемый поток заявок образован конечной группой пользователей, то предполагается известными их количество s_k . Выполняется соотношение $\gamma_k = a_k / (s_k - a_k)$, позволяющее найти параметр γ_k , определяющий частоту поступления заявок абонента k -го потока. Перечисленные исходные данные известны либо из результатов измерений, либо определяются после проведения маркетинговых исследований. Для построенной модели сети выполняется свойство мультипликативности, поэтому далее будем предполагать, что интенсивности поступающих потоков выражены в эрлангах, а время обслуживания заявки имеет экспоненциальное распределение с параметром единица.

В качестве примера анализируемой процедуры формирования потоков заявок на рисунке 1 приведена схема сети из 7 узлов и 6 соединительных линий. По сети ведется пересылка информации двух потоков заявок на передачу трафика сервисов реального времени. Первый поток образован бесконечным числом пользователей. Для передачи трафика используются звенья сети с номерами {1,2}. Второй поток образован конечным числом пользователей. Для передачи трафика используются звенья сети с номерами {1,3}.

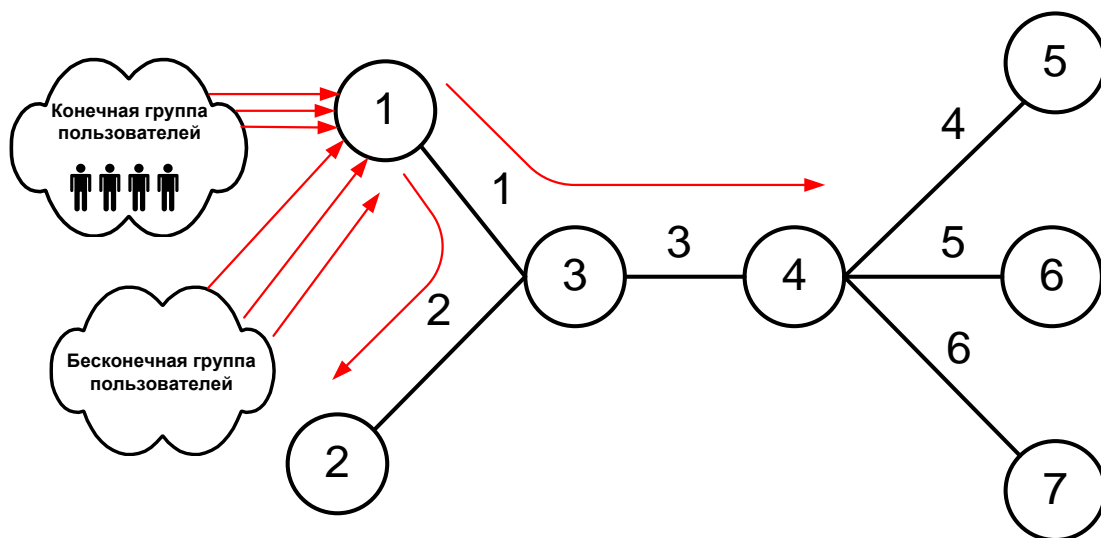


Рисунок 1. Пример сети из 7 узлов и 6 линий

Функционирование модели во времени описывается многомерным марковским процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t))$, где $i_k(t)$ — число заявок k -го потока, находящихся в момент времени t на обслуживании, $k = 1, 2, \dots, n$. Через $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ обозначена стационарная вероятность нахождения на обслуживании i_k заявок k -го потока, $k = 1, 2, \dots, n$.

Пусть B_k — множество состояний модели, в каждом из которых заявка k -го потока получает отказ из-за нехватки ресурса, S — множество состояний модели и значения $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ известны.

Для оценки доли потерянных заявок $\pi_{c,k}$ в случае $k \in \omega_1$ и π_k в случае $k \in \omega_2$ используются равенства:

$$\pi_{c,k} = \frac{\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in B_k} p(i_1, i_2, \dots, i_n)(s_k - i_k)}{\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_n)(s_k - i_k)}; \quad \pi_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in B_k} p(i_1, i_2, \dots, i_n).$$

Для $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ выполняется свойство мультипликативности. Будем предполагать, что потоки с номерами от 1 до n_1 поступают от конечных групп пользователей, а потоки с номерами от $n_1 + 1$ до n от бесконечных групп пользователей. Тогда справедливы соотношения для всех $(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S$

$$P(i_1, i_2, \dots, i_n) = \frac{1}{N} \frac{\prod_{j=0}^{i_1-1} (s_1 - j) \gamma_1}{i_1!} \dots \frac{\prod_{j=0}^{i_{n_1}-1} (s_{n_1} - j) \gamma_{n_1}}{i_{n_1}!} \times \frac{a_{n_1+1}^{i_{n_1+1}}}{i_{n_1+1}!} \dots \frac{a_n^{i_n}}{i_n!},$$

$$N = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} \frac{\prod_{j=0}^{i_1-1} (s_1 - j) \gamma_1}{i_1!} \dots \frac{\prod_{j=0}^{i_{n_1}-1} (s_{n_1} - j) \gamma_{n_1}}{i_{n_1}!} \times \frac{a_{n_1+1}^{i_{n_1+1}}}{i_{n_1+1}!} \dots \frac{a_n^{i_n}}{i_n!}.$$

Следующая из анализируемых особенностей связана с использованием механизма контроля за распределением ресурса передачи информации в форме резервирования. С общих позиций действие процедуры резервирования формализовано с использованием функции внутренней блокировки $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$, $(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S$. Если в состоянии (i_1, i_2, \dots, i_n) хотя бы в одном из звеньев k -го маршрута нет b_k свободных единиц ресурса, то $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n) = 1$. Если ресурс имеется, то заявка принимается с вероятностью $1 - \varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$, а с дополнительной вероятностью $\varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)$ получает отказ.

Для оценки доли потерянных вызовов $\pi_{c,k}$ в случае $k \in \omega_1$ и π_k в случае $k \in \omega_2$ используются равенства:

$$\pi_{c,k} = \frac{\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} P(i_1, i_2, \dots, i_n)(s_k - i_k) \varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n)}{\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} P(i_1, i_2, \dots, i_n)(s_k - i_k)},$$

$$\pi_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} P(i_1, i_2, \dots, i_n) \varphi_k(i_1, i_2, \dots, i_n).$$

Для вычисления значений характеристик используется имитационное моделирование или приближённые алгоритмы, основанные на процедуре просеянного трафика.

В качестве примера реализации программы имитационного моделирования рассмотрена сеть из 7 узлов и 6 линий, показанная на рисунке 2. По сети ведется пересылка информации для 9 потоков заявок на передачу трафика сервисов реального времени. Маршруты следования потоков определены следующим перечнем узлов: 1-ый — {1,3,2}, 2-ой — {1,3,4}, 3-ий — {1,3,4,5}, 4-ый — {3,4,6}, 5-ый — {2,3,4,6}, 6-ой — {2,3,4,7}, 7-ой — {5,4,6}, 8-ой — {5,4,7}, 9-ый — {3,4}. На рисунке отмечены все потоки трафика, использующие третье звено.

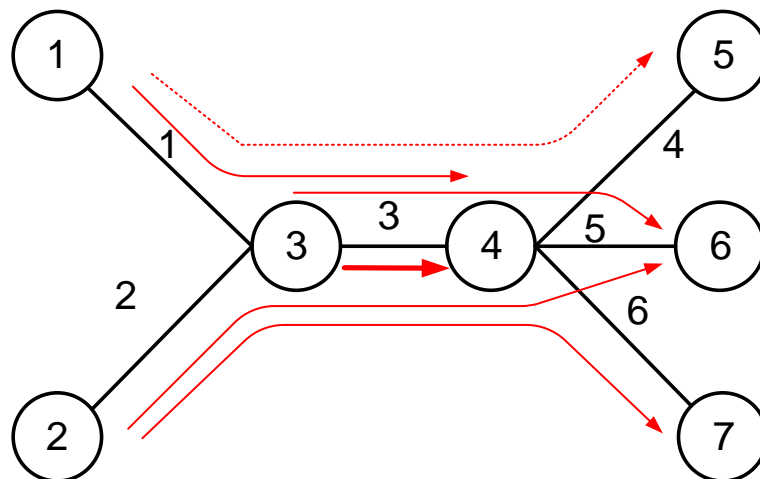


Рисунок 2. Сеть, использованная при имитационном моделировании

Для обслуживания заявок всех потоков кроме 9-го необходимо использование одной 1 канальной единицы (к.е.) (низкоскоростной трафик, например, относящийся к передаче речевых сообщений), а для обслуживания заявки 9-го потока необходимо 30 к.е. ресурса (высокоскоростной трафик, например, относящийся к передаче видеосообщений). Параметры ресурса: $v_1 = 130$ к.е., $v_2 = 23$ к.е., $v_3 = 130$ к.е., $v_4 = 130$ к.е., $v_5 = 23$ к.е., $v_6 = 18$ к.е.

На рисунке 3 приведены зависимости доли потерянных заявок для 3-го и 9-го потоков от изменения $a_3[i] = 10 \times i$; $a_9[i] = a_3[i] / b_9$, $i = 1, 2, \dots, 12$ от 0 до 120 Эрл, остальные значения $a_k = 5$ Эрл, $k = 1, 2, \dots, n$, $k \neq 3$ и $k \neq 9$. По оси абсцисс отложено значение $\rho = (a_2 + a_3[i] + a_4 + a_5 + a_6 + a_9[i] b_9) / v_3$. Оно показывает величину потенциальной загрузки единицы канального ресурса 3-го звена,

выраженную в эрланго-каналах. Цифрой 1 обозначена диаграмма для 3-го потока (низкоскоростной трафик), а цифрой 2 — для 9-го потока (высокоскоростной трафик). Видно, что низкоскоростные заявки могут практически полностью вытеснить с обслуживания высокоскоростные заявки. Это показано на рисунке 4, где приведены значения среднего числа канальных единиц занятых на обслуживание низкоскоростного (кривая 1) и высокоскоростного (кривая 2) трафика.

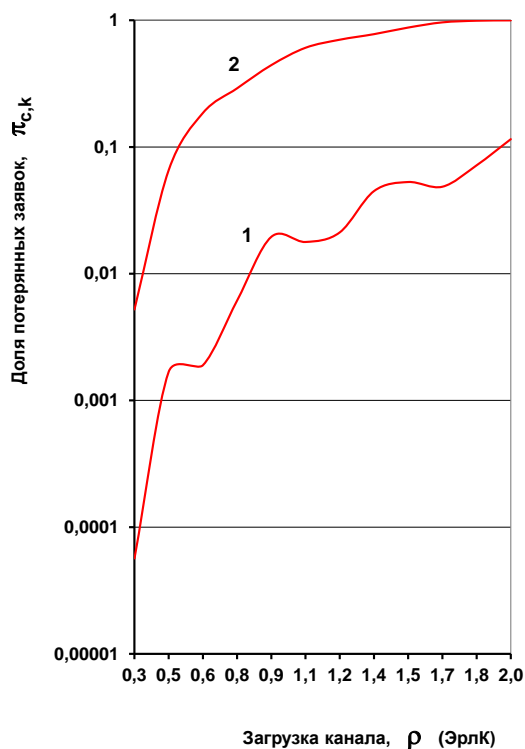


Рисунок 3. Потери заявок неоднородного трафика

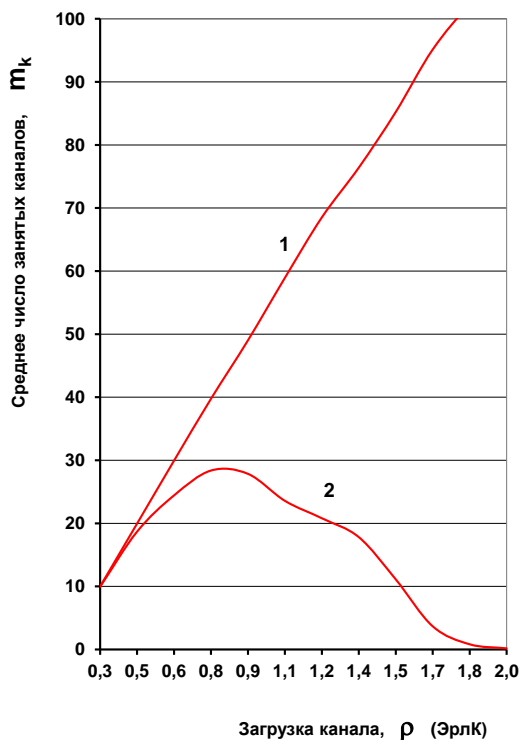


Рисунок 4. Занятость ресурса неоднородным трафиком

Для устранения отрицательных последствий неконтролируемого перераспределения ресурса передачи информации можно использовать два подхода. Первый — основан на реализации процедуры резервирования пропускной способности для обслуживания высокоскоростного трафика. В этой ситуации заявки на передачу низкоскоростного трафика будут получать отказ в доступе несмотря на наличие ресурса достаточного для их обслуживания. Таким образом можно сделать примерно равными значения потерь заявок всех потоков. Однако это приведет к недоиспользованию передаточных возможностей линий сети. Второй подход заключается в разделении потоков низкоскоростного и высокоскоростного трафика и передаче их по отдельным соединительным линиям. Таким образом можно опять сделать примерно равными значения потерь заявок разных потоков. Для каждого сценария требуется оценить эффективность использования канальной единицы, которая достигается за счет статистического мультиплексирования. Для обоснования

процедуры выбора сценария используются модели и алгоритмы, построенные в данной главе.

В третьей главе исследованы возможности расчета введенных показателей с использованием построенной модели. Оценка характеристик возможна либо на реализации точных методов для частных случаев модели, представляющих из себя однозвенные конструкции с несколькими входными потоками заявок, либо на реализации приближенных методов, также построенных с помощью однозвенных моделей. В данной главе анализируются оба этих подхода. Интересным частным случаем является двухпоточковая модель звена. Один поток образован конечной группой пользователей. Предполагается, что поступающие заявки относятся к обслуживанию высокоскоростного трафика. Второй поток относится к обслуживанию низкоскоростного трафика. Схема функционирования и параметры модели показаны на рисунке 5.

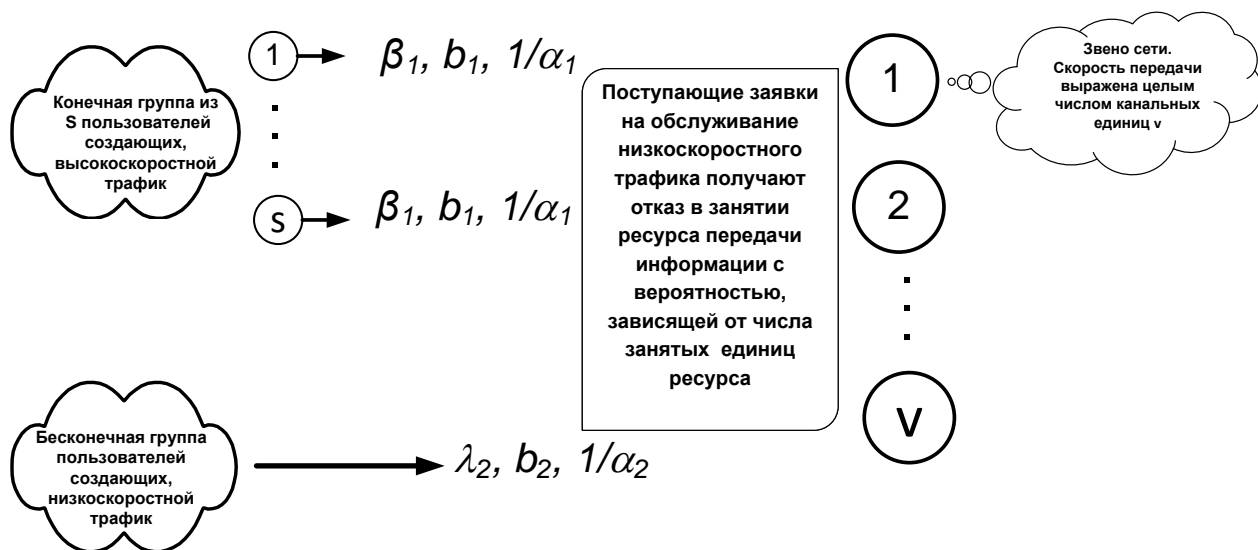


Рисунок 5. Модель однозвенной 2-х потоковой сети

Вероятности $P(i_1, i_2)$ стационарных состояний модели связаны системой уравнений равновесия, имеющей вид

$$\begin{aligned}
 P(i_1, i_2)((s - i_1)\beta_1 I(i \leq v - b_1) + \lambda_2(1 - \varphi_2(i)) + i_1\alpha_1 I(i_1 > 0) + i_2\alpha_2 I(i_2 > 0)) = \\
 = P(i_1 - 1, i_2)(s - i_1 + 1)\beta_1 I(i_1 > 0) + P(i_1, i_2 - 1)\lambda_2(1 - \varphi_2(i - b_2))I(i_2 > 0) + \\
 + P(i_1 + 1, i_2)(i_1 + 1)\alpha_1 I(i + b_1 \leq v) + P(i_1, i_2 + 1)(i_2 + 1)\alpha_2 I(i + b_2 \leq v).
 \end{aligned}$$

Здесь $I(\cdot)$ — индикаторная функция, равная единице, если условие сформулированное в скобках выполняется. Решение системы уравнений равновесия удовлетворяет условию нормировки.

Число уравнений в полученной системе исчисляется несколькими тысячами. Для ее решения можно использовать стандартные алгоритмы, развитые в линейной алгебре. В 3-ей главе дана формулировка расчетной схемы, основанная на использовании итерационной процедуры Гаусса-

Зейделя и проведены численные исследования зависимости характеристик от изменения входных параметров модели.

Для приближённой оценки характеристик модели мультисервисной сети с учетом внутренней блокировки использован метод просеивания заявок. При этом предполагается, что потери заявок на отдельных звеньях сети не зависят друг от друга. Тогда для оценки значения π_k вероятности потерь заявок k -го потока используется выражение

$$\pi_k \approx 1 - \prod_{j \in R_k} (1 - D_{k,j}), \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Для оценки $D_{k,j}$ в третьей главе составлена система уравнений, которая решалась методом последовательных подстановок.

В четвертой главе рассмотрено решение задачи планирования канального ресурса звеньев мультисервисной сети при обслуживании неоднородного трафика реального времени. Для устранения неконтролируемого перераспределения ресурса в пользу низкоскоростного трафика предлагается использовать либо резервирование ресурса для преимущественного обслуживания высокоскоростного трафика, либо его раздельное использование. Выбор конкретного сценария зависит от экономических аспектов работы сети. При этом оценка характеристик совместного обслуживания трафика выполняется с помощью разработанных в диссертации методов. Результаты численного расчета, выполненные в 4-ой главе, показали, что при разбросе требований к скорости передачи информации, превышающем 20–30 раз, может оказаться невыгодным с точки зрения эффективности загрузки единицы канального ресурса использование резервирования ресурса по сравнению с применением его раздельного использования (уменьшение загрузки единицы ресурса достигает 10 %).

После выбора сценария использования ресурса методом перебора решается задача оценки скорости звеньев сети. Начальные значения скоростей либо известны заранее, либо берутся равными общей величине проходящего потенциального трафика. Далее формулируется итерационная процедура перехода к следующему шагу алгоритма. Для этого рассматриваются значения доли потерянных заявок для всех n анализируемых потоков трафика. Находится номер k потока с максимальным значением доли потерянных заявок. Потери заявок k -го потока определяются потерями на отдельных звеньях k -го маршрута. Если для оценки потерь заявок k -го потока использовался метод просеивания заявок, то величины потерь $D_{k,j}$ заявок k -го потока на всех звеньях k -го маршрута, известны. Находится номер j звена с максимальным значением потерь заявок. Далее канальный ресурс j -го звена увеличивается на определенное число единиц и повторяется расчет значений доли потерянных заявок $\pi_{c,k}$, $k = 1, 2, \dots, n$ пока значение максимальных потерь не станет меньше нормы. Реализация метода показана на примере сети, представленной на рисунке 6.

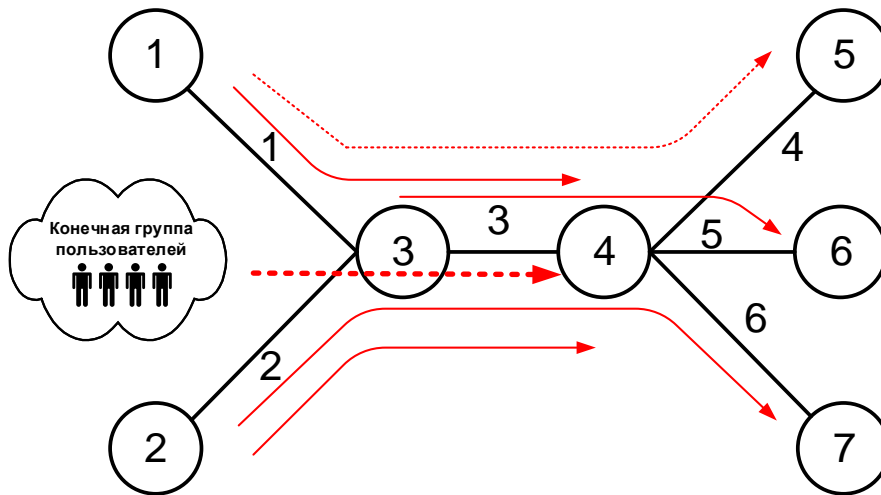


Рисунок 6. Сеть, использованная при анализа мультиплексирования

Маршруты следования потоков определяются узлами: 1-ый — {1,3,2}, 2-ой — {1,3,4}, 3-ий — {1,3,4,5}, 4-ый — {3,4,6}, 5-ый — {2,3,4}, 6-ой — {2,3,4,7}, 7-ой — {5,4,6}, 8-ой — {5,4,7}, 9-ый — {3,4}. На рисунке отмечены все потоки трафика, использующие в качестве промежуточной соединительной линии третье звено сети. Для простоты все потоки кроме 9-го используют одну единицу ресурса, а для обслуживания заявки 9-го потока требуется 10 единиц. Для контроля за распределением ресурса используется процедура резервирования.

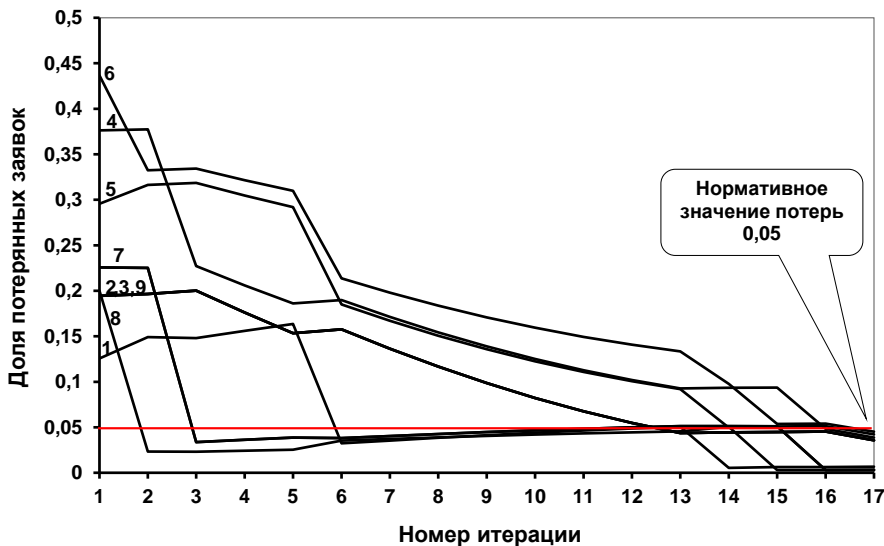


Рисунок 7. Результаты промежуточного вычисления значений потерь

Результаты промежуточного вычисления значений потерь заявок при реализации процедуры оценки скорости звеньев сети методом просеивания поступающего потока заявок показаны на рисунке 7. Номер кривой указывает на номер потока. Добавочный ресурс выбран равным 5. Значение нормативных потерь π равно 0,05. Требуемые значения потерь заявок будут получены на 17-

ом шаге алгоритма и достигаются при следующем выборе скоростей звеньев сети: $v_1 = 130$ к.е., $v_2 = 33$ к.е., $v_3 = 180$ к.е., $v_4 = 130$ к.е., $v_5 = 28$ к.е., $v_6 = 28$ к.е. Результаты имитационного моделирования показывают, что погрешность используемой процедуры приемлема для практических приложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы состоят в следующем.

1. Выполнен анализ особенностей построения и эксплуатации мультисервисных сетей связи. Исследование показало, что при совместном обслуживании неоднородного трафика реального времени наблюдается неконтролируемое оператором перераспределение канального ресурса в пользу потоков заявок с малыми потребностями в ресурсе передачи информации. Для устранения отрицательных последствий этого явления предлагается применять либо резервирование, либо раздельное использование ресурса звеньев сети.

2. Для обоснования процедуры выбора конкретного сценария распределения ресурса сети разработана модель, состоящая из произвольного числа узлов и соединительных линий. Поступление заявок на передачу трафика реального времени следует либо пуассоновской модели (низкоскоростной трафик), либо модели Энгсета (высокоскоростной трафик). Вероятность допуска заявки к обслуживанию зависит как от величины свободного ресурса, так и от степени его загрузки. Разработанная модель может быть использована для оценки достаточности ресурса в звеньях сети при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени.

3. В рамках построенной модели сформулированы определения для основных характеристик совместного обслуживания заявок на передачу трафика реального времени. В общем случае их значения оценивались с использованием имитационного моделирования или с помощью приближенного метода, основанного на процедуре просеивания поступающих заявок. Проведено численное исследование точности приближенного метода, которое на рассмотренных примерах показало, что погрешность оценки характеристик лежит в пределах 5-15 %.

4. Исследован частный случай модели с двумя потоками заявок, один из которых образован конечной группой пользователей (высокоскоростной трафик), другой – бесконечной (низкоскоростной трафик). Ресурс резервируется для преимущественного обслуживания высокоскоростного трафика. Для оценки характеристик рекомендуется использовать алгоритм, основанный на решении системы уравнений равновесия методом Гаусса-Зейделя.

5. Для оценки скорости звеньев анализируемой модели мультисервисной сети связи построен итерационный метод, основанный на процедуре перебора. Сформулированы правила выбора начальных значений скорости передачи звеньев сети и их последовательного увеличения, основанные на применении

характеристик потерь заявок на отдельных звеньях сети, полученных в результате реализации алгоритма просеивания поступающих заявок.

6. Результаты численного исследования показали, что при совместном обслуживании неоднородного трафика и разбросе требований к скорости передачи, превышающем 20–30 раз, может оказаться невыгодным с точки зрения эффективности загрузки единицы ресурса использование резервирования для выравнивания показателей обслуживания трафика по сравнению с отдельным занятием ресурса. Разница в значениях коэффициента использования единицы ресурса может достигнуть 10% и выше. Точные оценки могут быть получены для конкретных топологий с помощью разработанных в диссертации расчетных процедур.

7. Результаты исследования рекомендуется использовать в научно-исследовательских и проектных организациях для решения задач оценки величины ресурса передачи информации мультисервисных линий при совместной передаче неоднородного трафика реального времени.

Список публикаций по теме диссертации Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Богомоллова Н.Е., Саламех Немер. Анализ параметров трафика сетей WiMAX при различных алгоритмах шифрования // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – Том 5. – № 7. – С.134– 135.
2. Саламех Немер. Процесс динамической маршрутизации разноприоритетного MPLS-трафика // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. –Том 7. – № 7. – С.109– 111.
3. Степанов С.Н., Саламех Немер. Построение и анализ двухпоточковой модели звена с конечным числом абонентов и возможностью внутренних блокировок // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. –Том 10. – № 9. – С.30–37.
4. Степанов С.Н., Саламех Немер. Построение и анализ обобщенной модели передачи мультисервисного трафика реального времени в сетях связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2016. – Т. 8. – № 4. – С.37–44.

В других изданиях

5. Богомоллова Н.Е., Саламех Немер. Исследование влияния алгоритмов шифрования на самоподобие трафика в сетях стандарта WiMAX // Труды Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2010». М.: Энергоатомизд, 2010. – Ч. 3. – С. 139 –141.
6. Богомоллова Н.Е., Саламех Немер. Повышение пропускной способности сети пакетной коммутации речи // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование

- высокотехнологичных систем». – М.: РУДН, 2011. – С.12–14.
7. Богомолова Н.Е., Саламех Немер. Разработка модели маршрутизации в сети с мультипротокольными метками // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». – М.: РУДН, 2012. – С.24–26.
 8. Богомолова Н.Е., Саламех Немер. Исследование алгоритмов маршрутизации разноскоростных соединений в сетях MPLS // Труды Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2014». – М.: Энергоатомизд, 2014. – Ч. 5. – С. 86 –89.
 9. Саламех Немер. Влияние стандартных алгоритмов шифрования на процесс сглаживания трафика в сетях WiMAX // Труды международной конференции, посвященной дню Радио . – М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2011. – С.288 –299.
 10. Саламех Немер. Анализ алгоритмов маршрутизации в сети с мультипротокольными метками // Труды международной конференции, посвященной дню Радио . – М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2012. – С.212 – 214.
 11. Саламех Немер. Метод выравнивания нагрузки разноприоритетного трафика в сетях MPLS // Труды международной конференции, посвященной дню Радио . – М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2013. – С.36 – 38.
 12. Саламех Немер. Задача оптимального распределения нагрузки при маршрутизации в сетях MPLS // Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем». – М.: РУДН, 2013. – С.36–38.
 13. Саламех Немер. Задача оптимизации IP –трафика в MPLS сети // Труды международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2013». – 2013. – С.214– 217.
 14. Саламех Немер. Разработка алгоритма оценки пропускной способности звеньев мультисервисной сети связи при обслуживании трафика сервисов реального времени // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». – М.: МТУСИ, –2015. – С. 58.
 15. Степанов С.Н., Саламех Немер. Анализ методов оценки скорости звеньев мультисервисной сети связи при обслуживании трафика сервисов реального времени // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». – М.: МТУСИ, 2015. – С. 40–41.