

На правах рукописи

Макаров Игорь Сергеевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАФИКА
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ЗАЯВОК НА ИНТЕРВАЛАХ
ОБСЛУЖИВАНИЯ**



Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства
телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Поволжский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики (ФГОБУВПО ПГУТИ)

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор Лихтциндер Б.Я.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Васин Н.Н.

доктор технических наук,
профессор Прохоров С.А.

Ведущая организация: Самарский государственный технический университет.

Защита состоится 21 марта 2012 г. В 14-00 на заседании диссертационного совета Д219.003.02 при Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010 г. Самара, ул. Льва Толстого, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОБУВПО ПГУТИ.

Автореферат разослан 20 февраля 2012г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д219.003.02,
Доктор технических наук, профессор



Мишин Д.В.

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Телекоммуникационные технологии в последние годы переживают масштабные перемены, связанные с интеграцией сетей и услуг связи. Появляются новые сервисы, традиционные сервисы и услуги переходят на платформу IP, количество потребителей таких сервисов растет очень высокими темпами. По данным Минкомсвязи России рост числа пользователей сети Интернет в России за 2008 г. составил 34%, в 2009-2010 гг. рост несколько замедлился, однако, общее число пользователей, по данным специалистов, к концу 2010 г. достигло 45 миллионов человек. Более 15 миллионов домохозяйств по всей России используют широкополосный доступ (ШПД) в сеть Интернет, и по прогнозам аналитиков, это число к 2012 г. увеличится до 25 миллионов. Появление новых инфокоммуникационных услуг и сервисов вызвало развитие технологий, в которых на первое место встают вопросы качества предоставления услуг.

Для решения проблем анализа телекоммуникационных систем необходимо располагать соответствующими моделями и инженерными методами, позволяющими на основе данных измерений оценивать качество предоставления услуг и прогнозировать характеристики их работы. Для этого широко применяется теория систем массового обслуживания (СМО). Указанным вопросам посвящены фундаментальные работы таких авторов как Л. Клейнрок, С.А. Майоров, Т.Л. Саати, Е.С. Вентцель, А.Л. Лифшиц, А.К. Эрланг и ряда других.

Ведущее место в общей математической модели СМО занимает модель входящего потока заявок, поступающих в систему на обслуживание (модель трафика). От правильного выбора этой модели зависит точность расчета основных характеристик СМО, определяющих работу системы в целом. Однако, из-за отсутствия адекватных моделей трафика таких сетей часто для анализа и синтеза упрощенно, и со значительной потерей точности используют пуассоновскую модель.

Проблемы построения мультисервисных сетей и анализа трафика активно исследовались в работах отечественных и зарубежных авторов (В.М. Вишневский, Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый, В.Н. Тарасов, О.И. Шелухин, А.П. Пшеничников, W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, D.V. Wilson и др.).

Увеличение объема предоставляемых услуг приводит к необходимости быстрой реорганизации сети, появлению новых абонентов и перераспределению нагрузок. Все это вызывает необходимость быстрой оценки требуемой пропускной способности

интерфейсов доступа. Применявшиеся ранее формулы оценки размеров очередей пригодны исключительно для пуассоновских потоков, и, при расчетах трафика, дают погрешности превышающие 100 – 200%.

В этих условиях разработка новых методов анализа трафика мультисервисных сетей, обеспечивающих простоту расчетов и их приемлемую точность, становится особенно актуальной

Цель работы. Разработка интервального метода определения характеристик трафика и показателей производительности мультисервисных сетей.

Основные задачи исследования:

- разработать метод анализа трафика мультисервисных сетей на основе распределения вероятностей числа заявок СМО на интервалах обработки;
- получение аналитических соотношений для потоков заявок общего вида, обобщающих формулы определения размера очередей СМО;
- разработать модели трафика мультисервисных сетей, на основе анализа числа пакетов, поступающих в СМО за интервал обслуживания;
- разработать алгоритмы определения параметров мультисервисного трафика методами имитационного моделирования;
- разработать программный комплекс и получить результаты экспериментального исследования характеристик реального трафика мультисервисных сетей.

Методы исследования. Основные теоретические и экспериментальные исследования диссертационной работы выполнены с применением методов теории вероятностей, математической статистики, теории телетрафика, теории случайных процессов, вычислительных методов, реализованных в пакете Matlab, и имитационного моделирования.

Достоверность результатов.

Достоверность результатов подтверждается корректностью постановки задачи, применением строгого математического аппарата, а также сравнением результатов с результатами, полученными с помощью известных моделей.

Научная новизна работы.

- предложен интервальный метод анализа трафика мультисервисных сетей на основе распределения вероятностей числа заявок СМО на интервале обработки;
- получены аналитические соотношения, обобщающие формулы определения размера очередей СМО для потоков заявок общего вида;

- разработаны модели трафика мультисервисных сетей на основе анализа числа пакетов, поступающих в СМО за интервал обслуживания;
- разработаны алгоритмы определения основных параметров трафика методами имитационного моделирования.

Практическая ценность.

Предложенный в работе метод позволяет преобразовать известные соотношения теории телетрафика, используемые при работе с пуассоновскими потоками и применить их для анализа трафика общего вида.

Разработанные методы и модели трафика мультисервисных сетей позволяют произвести оценку их производительности с учетом неоднородности входящих потоков заявок.

Разработанные рекомендации позволяют повысить производительность и устранить возможные перегрузки оборудования мультисервисных сетей в процессе их эксплуатации и реорганизации.

Основные положения, выносимые на защиту:

- метод анализа трафика мультисервисных сетей на основе распределения вероятностей числа заявок СМО на интервале обработки;
- аналитические соотношения, обобщающие формулы определения размера очередей СМО для потоков заявок общего вида;
- модели трафика мультисервисных сетей на основе анализа числа пакетов, поступающих в СМО за интервал обслуживания;
- алгоритмы определения основных параметров трафика методами имитационного моделирования;
- программный комплекс и результаты экспериментального исследования характеристик реального трафика мультисервисных сетей.

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы внедрены в ООО «Инфо-Лада» г. Самара и в учебный процесс кафедры МСИБ ГОУ ВПО ПГУТИ, что подтверждено актами внедрения, приведенными в приложении.

Апробация работы

Основное содержание работы докладывалось и обсуждалось на XIV Международной научно-технической конференции «Радиолокация. Навигация. Связь» (Воронеж, 2008г.), на IX и X Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (Казань, 2008-2009 г.), на IV Международной конференции «Современные проблемы радиоэлектроники, телекоммуникаций и приборостроения», на XV, XVI, XVII Российской научной конференции, (ПГУТИ 2009г, 2010г.)

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 19 опубликованных работах. Публикации включают 3 работы в изданиях

из перечня ВАК, 3 статьи, 1 публикация трудов международных научных конференций, 12 тезисов докладов.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть работы содержит 146 страниц машинописного текста, 53 рисунков, 10 таблиц. Список литературы включает 89 наименований.

Краткое содержание работы

Во введении сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана ее актуальность и практическая значимость, определена новизна и обоснована достоверность полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, кратко изложено содержание диссертационной работы.

Первая глава посвящена методам анализа мультисервисного трафика.

Отмечен глобальный характер распространения современных мультисервисных сетей. Составлен обзор методов анализа трафика таких сетей и исследований, ведущихся в этом направлении.

Показано что для анализа трафика мультисервисных сетей нельзя применять пуассоновскую модель. В пакетных мультисервисных сетях связи потоки пакетов (трафик) существенно отличаются от модели пуассоновского потока, описываемого экспоненциальной функцией распределения интервала времени между моментами поступления соседних пакетов. Здесь потоки пакетов формируются множеством различных источников запросов на предоставляемые сетью услуги и сетевыми приложениями, обеспечивающими услуги передачи видео, данных, речи и др. Источники запросов, участвуя в процессе создания потока пакетов, существенно отличаются между собой значениями удельной интенсивности нагрузки. Интенсивность нагрузки результирующего потока пакетов в каждый момент времени зависит от того, какими приложениями обслуживаются источники запросов и каково соотношение их численности для различных приложений. На структуру трафика также оказывают влияние и технологические особенности применяемых алгоритмов обслуживания. Если, например, услуга обеспечивается несколькими приложениями, или, если в используемых протоколах применяется повторная передача неверно принятых пакетов, то моменты возникновения запросов на установление сеансов связи сильно коррелированы. Из-за этого в процессе обслуживания исходные потоки претерпевают значительные изменения и в итоговом трафике появляются долгосрочные зависимости в интенсивности поступления пакетов.

Таким образом, трафик уже не является простой суммой множества независимых стационарных и ординарных потоков, что свойственно пуассоновским потокам телефонных сетей связи. В мультисервисных сетях с коммутацией пакетов трафик является разнородным, а потоки разных приложений требуют обеспечения соответствующих уровней качества обслуживания.

Во второй главе представлены теоретические выводы и характеристики мультисервисного трафика на основе анализа распределения вероятностей числа заявок на интервалах обслуживания. Указанные заявки объединяются в пачки, и определяются математические ожидания и дисперсии числа заявок в пачках.

Рассмотрены два способа расположения заявок, по отношению к заданному интервалу обслуживания τ .

Первый способ основан на принципах определения интервальных корреляционных функций, когда моменты начала каждой пачки совпадают с началом интервала обслуживания (рис. 1а).

При втором способе моменты начала каждой пачки распределены произвольно по отношению к интервалам обслуживания (рис 1б).

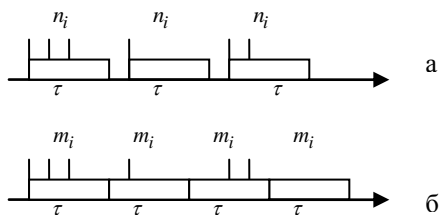


Рис.1

В качестве образцового распределения временных интервалов между заявками выбрано Γ -распределение, поскольку при суммировании нескольких интервалов, суммарный интервал также удовлетворяет Γ -распределению. Кроме того, экспоненциальное распределение интервалов при пуассоновском потоке также является частным случаем Γ -распределения.

Указанные свойства позволили получить аналитические соотношения для первого ($\overline{n(\tau)}$) и второго ($\overline{n^2(\tau)}$) моментов числа заявок на интервале времени τ .

$$\overline{n(\lambda \tau)} = \sum_{i=1}^{\infty} \int_0^{\lambda \tau} \frac{x^{i\eta-1} e^{-x}}{\Gamma(i\eta)} dx, \quad (1)$$

где η - величина, обратная коэффициенту вариации интервалов между заявками ν_g^2 .

На рисунке 2 представлены зависимости $n(\lambda\tau)$ для потоков с различными коэффициентами вариации (ν_g^2).

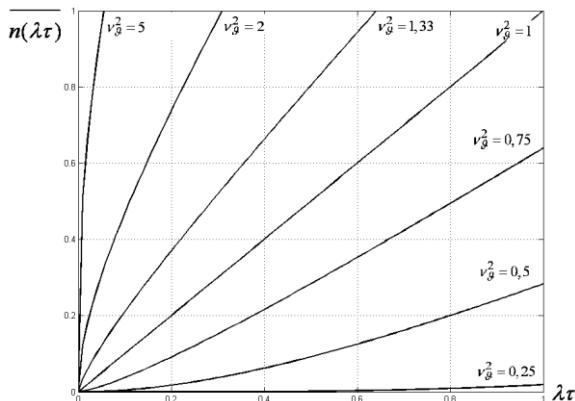


Рис.2

Из соотношения (1) и графиков следует, что, лишь для экспоненциального потока ($\nu_g^2 = 1$), зависимость $n(\tau)$ совпадает с $\rho = \lambda\tau$.

Показано, что при случайном расположении моментов времени начала каждой пачки (рис 1б) математическое ожидание $\overline{m(\tau)}$ числа заявок в пачках линейно зависит от интервала обслуживания τ , и $\overline{m(\tau)} = \lambda\tau = \rho$, независимо от закона распределения интервалов между заявками.

Поэтому в качестве основного, был выбран метод случайного распределения интервалов по отношению к заявкам. Пример такого расположения представлен на рис. 3.

На основании анализа процесса обработки потока было получено базовое рекуррентное соотношение

$$q_i(\tau) = q_{i-1}(\tau) + m_i(\tau) - \delta_i;$$

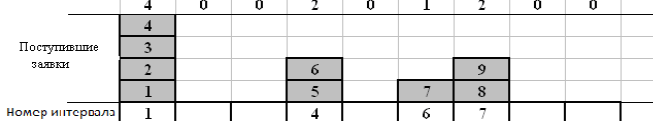
$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{if } q_{i-1}(\tau) \neq 0 \text{ or } m_i(\tau) \neq 0, \\ 0 & \text{if } q_i(\tau) = 0 \text{ and } m_i(\tau) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где $q_i(\tau)$ - длина очереди на i -ом интервале;

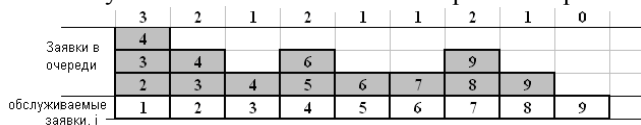
$m_i(\tau)$ - число заявок, поступивших на i -ом интервале.



3.а – Поступление заявок в систему



3.б – Поступление заявки в течение интервалов обработки



3.в – Формирование очередей на каждом интервале обработки

Рис.3

Анализ (2) позволил получить обобщенную формулу для определения среднего значения длины очереди $q(\tau)$ в СМО с постоянным временем обработки τ .

$$q(\tau) = \frac{\overline{m^2(\tau)} - \overline{m(\tau)} + 2 \cdot \text{cov}[q_{i-1}(\tau) \cdot m_i(\tau)]}{2 \cdot (1 - \overline{m(\tau)})}$$

Здесь необходимо подчеркнуть, что $\overline{m(\tau)} = \lambda \tau = \rho$.

После преобразования получим

$$q(\rho) = \frac{D_m(\rho) + 2 \text{cov}[q_{i-1}(\rho) m_i(\rho)]}{1(1 - \rho)} - \frac{\rho}{2}, \quad (3)$$

где $D_m(\rho)$ - дисперсия значений $m(\rho)$;

$\text{cov}[q_{i-1}(\rho); m_i(\rho)]$ - ковариация $q_{i-1}(\rho)$ и $m_i(\rho)$.

Указанное выражение обобщает формулу Хинчина-Поллячека и справедливо для СМО с любыми потоками заявок. В частности, для пуассоновского потока зависимость между $q_{i-1}(\tau)$ и $m_i(\tau)$ отсутствует и $\text{cov}[q_{i-1}(\tau) \cdot m_i(\tau)] = 0$.

Дисперсия числа заявок в пачках $D_m(\tau) = \overline{m(\tau)}$, и, следовательно, мы приходим к формуле Хинчина-Поллячека в ее обычном виде.

Все рассмотренные выше характеристики определялись для постоянных значений времени обслуживания τ . Если τ является случайной величиной, с заданным законом распределения вероятностей

$W(\tau)$, то для определения средней длины очереди необходимо применить соотношение

$$\bar{q} = \int_0^{\infty} \overline{q(\tau)} \cdot W(\tau) d\tau$$

Значения первого и второго моментов чисел поступающих заявок, приходящихся на одну обслуженную заявку, определяются соотношениями

$$\bar{n} = \int_0^{\infty} \overline{n(\tau)} \cdot W(\tau) d\tau, \quad \bar{n}^2 = \int_0^{\infty} \overline{n^2(\tau)} \cdot W(\tau) d\tau.$$

Известно, что математические ожидания, дисперсии, коэффициенты корреляции и коэффициенты загрузки сумм независимых потоков заявок равны сумме значений соответствующих величин исходных потоков. Соотношение (3) позволяет легко получить выражение для суммарной очереди от Q независимых потоков, при их мультиплексировании.

$$D_{m\Sigma}(\tau) = \sum_{j=1}^Q D_{m_j}(\tau), \quad \mu_{m\Sigma}(\tau) = \sum_{j=1}^Q \mu_{m_j}(\tau), \quad R_{\Sigma}(\tau) = \sum_{j=1}^Q \rho_j(\tau),$$

где $\mu_{m_j}(\tau) = \text{cov}[q_{j,i-1}(\tau), m_{ji}(\tau)]$.

Следовательно,

$$\overline{q_{\Sigma}(\tau)} = \frac{D_{m\Sigma}(\tau) + 2\mu_{m\Sigma}(\tau) - R_{\Sigma}(\tau)}{2[1 - R_{\Sigma}(\tau)]}.$$

Указанное соотношение справедливо при суммировании любого числа потоков заявок с одинаковыми приоритетами и одинаковыми временами обслуживания τ .

В мультисервисном трафике значения τ различны для разных протоколов. Поэтому их можно представить в виде массива конечного числа постоянных величин. Предлагается определить суммарные значения для каждой из величин τ_j , $j = 1, 2 \dots Q$, а затем, определить их математические ожидания, с учётом вероятностей появления заявки каждого типа:

$$D_{m\Sigma} = \sum_{j=1}^Q \frac{\lambda_j}{\lambda_{\Sigma}} D_{m\Sigma}(\tau_j), \quad \mu_{m\Sigma} = \sum_{j=1}^Q \frac{\lambda_j}{\lambda_{\Sigma}} \mu_{m\Sigma}(\tau_j),$$

$$R_{\Sigma} = \sum_{j=1}^Q \frac{\lambda_j}{\lambda_{\Sigma}} R_{\Sigma}(\tau_j) = \sum_{j=1}^Q \lambda_j \tau_j = \sum_{j=1}^Q \rho_j.$$

Третья глава посвящена вопросам определения параметров трафика методами имитационного моделирования.

В начале главы приводится обоснование выбора среды моделирования, в качестве которой выбрана среда MatLab 2007.

Соотношение (2) позволяет методами имитационного моделирования определить зависимости всех основных элементов (3) от времени τ для любого входного потока.

Результаты моделирования представлены на рис. 4.

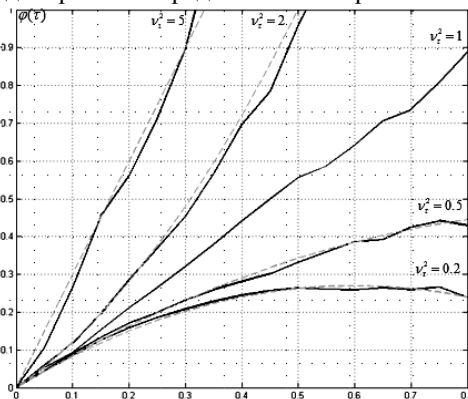


Рис. 4

В качестве исходного, моделируется трафик с Γ -распределением временных интервалов между заявками. Обработывая полученные данные, в соответствии с (2), определяем характеристики $\varphi(\rho) = D_m(\rho) + 2 \text{cov}[q_{i-1}(\rho); m_i(\rho)]$.

С помощью разработанного программного обеспечения произведена аппроксимация характеристик $\varphi(\tau)$ методом наименьших квадратов для различных значений коэффициента вариации потоков с Γ -распределением. Аппроксимирующие кривые показаны на рисунке 4 пунктирными линиями.

Здесь используется аппроксимация полиномом второй степени (4).

$$\varphi(\rho) = k_1 \cdot \rho^2 + k_2 \cdot \rho \quad (4)$$

Относительная погрешность аппроксимации в диапазоне измерения ρ от 0 до 0.8 не превышают 5%.

Коэффициенты, определенные в (4), полностью характеризуют трафик, с точки зрения создаваемых им средних значений длины очереди.

Алгоритм, реализующий предложенный метод, изображен на рис. 5.

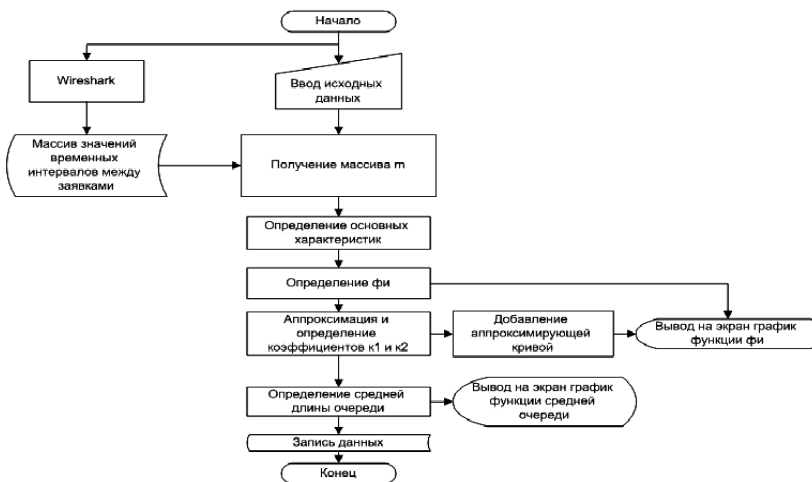


Рис.5

В диссертационной работе проведено подробное описание каждого блока представленного выше алгоритма. Созданная в MatLab имитационная модель мультисервисного трафика, с заведомо известным распределением временных интервалов между заявками, и реализованный на ней алгоритм анализа трафика мультисервисных сетей, подтвердили правильность сделанных ранее выводов, проведенных формульных преобразований и вычислений. Это показало состоятельность полученной в работе обобщенной формулы Хинчина-Поллячека.

В четвертой главе представлено описание программного комплекса, реализующего разработанный интервальный метод анализа мультисервисного трафика. Приведено описание анализатора протоколов, использованного для определения необходимых статистических данных, а также результаты исследований реального трафика, подтверждающие правильность приведенного анализа.

В результате работы над кандидатской диссертацией было создано программное приложение, позволяющее анализировать реальный трафик мультисервисной сети и определять его основные параметры.

В основе работы данного приложения лежит методика анализа трафика, базирующаяся на формуле Хинчина – Поллячека, адаптированной для получения необходимых параметров непуассоновских потоков.

Программа разработана в среде Mat Lab 2007. Интерфейс представлен на рис. 6. Программа выполнена в среде визуального программирования GUIDE (Graphic User Interface Designer), являющейся

подпрограммой MatLab. Deskрипторная графика позволяет конструировать детали графического пользовательского интерфейса. При этом различные функции и m-файлы вызываются из графического окна общего стандартного вида. [2].

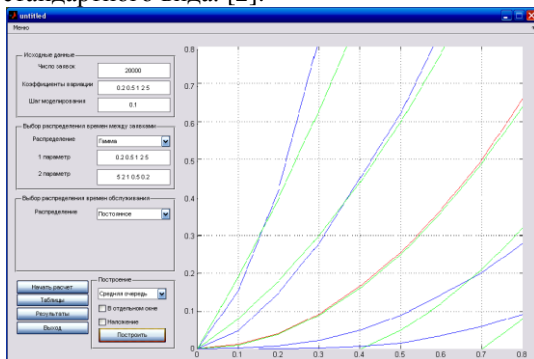


Рис. 6

Для подтверждения сделанных в работе выводов были собраны статистические данные по реальному трафику мультисервисной сети. Для этой цели использовался программный продукт – сниффер Wireshark.

Для освоения работы со сниффером была собрана простейшая схема. Она представляла собой маршрутизатор, подключенный к двум сетевым картам одного терминала. В системе создавалась искусственная нагрузка различного уровня.

Приведены результаты исследований мультисервисного трафика сети Оренбургского Государственного Университета. В результате анализа трафика были получены коэффициенты, полностью характеризующие исследуемый трафик с точки зрения создаваемых им средних значений очереди.

Проводились исследования мультисервисного трафика на базе оборудования и узлов, предоставленных ООО «Инфо-Лада».

В течение длительного интервала времени собирались статистические данные по моментам прихода и ухода пакетов с сетевой карты, временам задержки в маршрутизаторе и т.д.

На рис. 7 представлен график функции $\varphi(\tau)$, полученный в результате анализа реального трафика. Аппроксимация такой функции осуществлялась полиномом второй степени. На рис. 7 приведен график зависимости $\varphi(\tau)$, полученный в результате анализа трафика сети ООО «Инфо-Лада». Кривая имеет следующие коэффициенты: $k_1 = 1, k_2 = 0.5$.

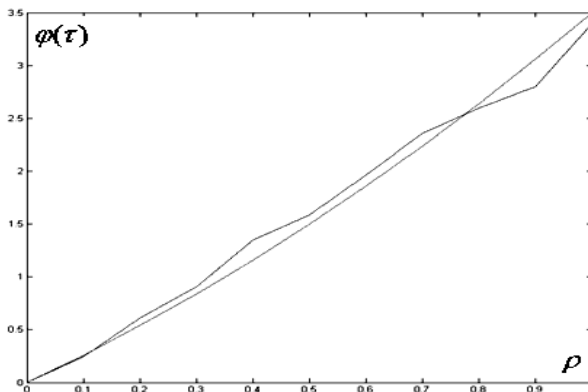


Рис. 7

В заключении сформулированы основные результаты работы.

1. Разработан новый метод получения и обработки характеристик мультисервисного трафика на основе анализа числа пакетов, поступающих в СМО за интервал обслуживания.

2. С помощью разработанного метода получены аналитические соотношения для основных характеристик мультисервисного трафика, позволяющие более чем на порядок повысить точность определения размера очередей в буферах коммутаторов мультисервисных сетей.

3. Разработанные алгоритмы и программный комплекс, позволили определить характеристики реального трафика при произвольных законах распределения временных интервалов между событиями во входном потоке.

4. Разработанная методика сбора и обработки статистической информации применялась на этапе исследования IP сети Оренбургского Государственного Университета, а также на базе доступа к оборудованию и узлам оператора связи ООО «Инфо-Лада». Эксперимент показал эффективность использования созданного программно-технического комплекса при модернизации указанных сетей и изменении их нагрузочных характеристик.

Публикации по теме диссертации

1. Макаров И.С. Обобщение формулы Хинчина-Поллячека для неэкспоненциальных потоков / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // Труды XIV Международной научно-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 2008г., с. 885-892.
2. Макаров И.С. Определение средней доли недообслуживания вызовов в справочных системах / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров, Н.М. Татарина // Труды Всероссийской конференции «Проведение научных исследований в

- области обработки, хранения, передачи и защиты информации», 2 том, Ульяновск, 2009г., с. 556-558.
3. Макаров И.С. Метод определения средней доли недообслуживания вызовов в СМО / Б.Я. Лихтциндер, Н.М. Татарина, И.С. Макаров // Тезисы докладов X Международной научно-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Самара, 2009г., с. 78-79.
 4. Макаров И.С. Экспериментальное определение средней доли недообслуживания заявок в СМО / Б.Я. Лихтциндер, Н.М. Татарина, И.С. Макаров // Тезисы докладов X Международной научно-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Самара, 2009г., с. 85-86.
 5. Макаров И.С. Доля недообслуженных заявок в СМО / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // Тезисы докладов X Международной научно-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Самара, 2009г., с. 87-88.
 6. Макаров И.С. Имитационное моделирование механизмов качества обслуживания очередей / М.А. Малина, И.С. Макаров, Д.А. Коньков // Тезисы докладов X Международной научно-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Самара, 2009г., с. 88-89.
 7. Макаров И.С. Имитационное моделирование алгоритма “Leaky bucket” для системы дистанционного мониторинга на энергообъектах / И.С. Макаров, М.А. Малина // Тезисы докладов X Международной научно-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Самара, 2009г., с. 83-85.
 8. Макаров И.С. Трафик технологического мониторинга распределенных объектов энергетики и связи / Б.Я. Лихтциндер, М.А. Малина, И.С. Макаров // Тезисы докладов X Международной научно-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Самара, 2009г., с. 91-93.
 9. Макаров И.С. The distributed monitoring system of distant energy objects on basis of “Technotronics” Ltd. Equipment / М.А. Малина, И.С. Макаров // Труды IX Международной конференции «Interactive systems and technologies», Ульяновск, 2009г., с.253-254.
 10. Макаров И.С. Методика анализа трафика сети / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // Тезисы IX Международной научно-техн. конф. «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Казань, 2008г., с. 112-113.
 11. Макаров И.С. Аппроксимация характеристик поризвольных потоков заявок в СМО / Б.Я. Лихтциндер, Л.Б. Иванова, И.С. Макаров // IV Международная конференция «Современные проблемы радиоэлектроники, телекоммуникаций и приборостроения», Винница, 2009г., с. 53-56.
 12. Макаров И.С. Закон Вейбулла в системах анализа надежности / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // IV Международная конференция «Современные проблемы радиоэлектроники, телекоммуникаций и приборостроения», Винница, 2009г., с. 41-43.
 13. Макаров И.С. Средняя доля недообслуживания заявок в системах массового обслуживания / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // Инфокоммуникационные технологии, т.7, №4, 2009г., с. 66-70.

14. Макаров И.С. Обслуживание пачечных потоков заявок в системе массового обслуживания / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров, Н.М. Татарина // «XVII Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава научных сотрудников и аспирантов», Самара, 2010г., с 44.
15. Макаров И.С. Определение средней длины очереди СМО через корреляционные моменты числа заявок на интервалах обслуживания / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // Инфокоммуникационные технологии, №1, 2011г., с. 72-77.
16. Макаров И.С. Методика анализа пачечного потока в СМО / Б.Я. Лихтциндер, Л.Б. Иванова, И.С. Макаров // X Международная конференция «Контроль и управление в сложных системах», Винница, 2010г., с 35-38.
17. Макаров И.С. Определение средней длины очереди СМО через корреляционные моменты числа заявок на интервалах обслуживания / Б.Я. Лихтциндер, Л.Б. Иванова, И.С. Макаров // V Международная конференция «Современные проблемы радиоэлектроники, телекоммуникаций и приборостроения», Винница, 2011г., с 74-77.
18. Макаров И.С. Программа- анализатор трафика / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // «XVIII Российская научная конференция профессорско-преподавательского става, научных сотрудников и аспирантов», Самара, 2011г., с 53.
19. Макаров И.С. Алгоритм определения средней длины очереди СМО через обобщенную формулу Хинчина-Поллячека / Б.Я. Лихтциндер, И.С. Макаров // Вестник самарского государственного технического университета, №1, 2012г., с 41-45.

Подписано в печать 17.02.2012.

Формат 60 x 84/16. Бумага ксероксная. Печать оперативная.

Объем – 1,0 усл. п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 135.

Отпечатано в типографии ООО «Инсома-пресс»

443080, г. Самара, ул. Санфировой, 110 А; тел.: 222-92-40