

На правах рукописи

**АНДРИАНОВ ГЛЕБ АНДРЕЕВИЧ**

**Разработка алгоритма управления трафиком  
транзитной сети по данным о качестве обслуживания**

Специальность 05.13.01 — Системный анализ, управление  
и обработка информации

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва — 2010 г.

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича РАН

Официальные оппоненты – д.т.н., профессор Степанов С.Н.  
к.т.н., профессор Пшеничников А.П.

Ведущая организация — ГОУ ВПО Российский университет дружбы народов (РУДН).

Защита состоится “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2010 г. в \_\_\_\_\_ час. на заседании диссертационного совета Д. 002.077.01 при Институте проблем передачи информации им. А.А.Харкевича по адресу: 127994, Москва, пер. Б.Каретный, дом 19, стр. 1, ауд. 615.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИППИ РАН.

Автореферат разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д. 002.077.01  
доктор физико-математических наук \_\_\_\_\_ И.И.Цитович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время все большая доля трафика приходится на сети с коммутацией пакетов, услуги телефонной связи осуществляются поверх IP сетей. Но, тем не менее, услуга телефонной связи обладает закономерностями, сценариями действий абонентов при осуществлении услуги, такими, что эти закономерности не зависят от лежащих ниже уровней (сетевого, уровня каналов, физического уровня), на которых данная услуга построена. Поведение абонента, пользующегося услугой телефонной связи, поверх какого бы протокола данная услуга ни осуществлялась, останется прежним, останутся актуальными используемые показатели качества обслуживания, поток вызовов, передаваемых по сети с коммутацией пакетов, на уровне пользователя будет подчиняться тем же закономерностям, что и в телефонии классической. Таким образом, уточнение этих закономерностей не потеряло актуальности.

Развитие средств связи привело к тому, что у пользователя появилась возможность выбора не только оператора связи, но и способа доступа к услуге. Это обстоятельство позволяет пользователю предъявлять более жесткие требования к качеству связи, поэтому операторы связи должны более полно учитывать качество предоставляемых услуг, чтобы не потерять абонента. Таким образом, изменяются исходные параметры анализируемой сети: усложняется поведение абонента, предъявляются более жесткие требования к качеству обслуживания, усложняются алгоритмы обслуживания запросов, учитывающие состояния сети.

Еще одна тенденция в оказании услуг телефонной связи — возрастание конкуренции между операторами связи. Началась непрерывная борьба за абонентов, которая по сути своей выливается в несколько составляющих: более низкие тарифы, более широкий спектр дополнительных услуг, более высокое качество оказания основной услуги. Сети операторов дальней связи (это совпало с геометрической прогрессией в увеличении производительности вычислительной техники) начали оснащаться не только оборудованием для предоставления услуги, но и оборудованием для непрерывного контроля (мониторинга) качества и управления качеством услуг. От контроля, связанного с производением проверочных вызовов и обработки результатов таких тестовых наборов, операторы перешли к мониторингу тех вызовов, которые производят сами абоненты услуги.

Для анализа характеристик обслуживания трафика, в том числе при наличии повторных вызовов, применяются модели обслуживания с потерями. Исследования в данной области велись на протяжении многих лет. Отметим работы таких ученых как Г.П.Башарин, А.П.Пшеничников, К.Е.Самуйлов, Б.А.Севастьянов, С.Н.Степанов, А.Д.Харкевич, V.Iversen, F.Kelly, L.Kleinrock и др. Однако, указанные выше обстоятельства требуют переосмысления и уточнения отдельных положений разработанной теории.

Последнее десятилетие, связанное с демонополизацией рынка дальней связи и огромным прогрессом в области компьютерных систем, во-первых, показало насущную необходимость в управлении трафиком на основе данных о качестве обслуживания, во-вторых, дало возможность для реализации такого управления. С прогрессом в области информационных технологий и ростом производительности аппаратно-программных комплексов мониторинга сети операторам связи открылись новые возможности, перед операторами встали новые научно-технические задачи. Чтобы управлять всплесками трафика абонентов, необходимо было решить задачу уточнения функции плотности вероятности распределения интенсивности телефонной нагрузки. Для того, чтобы построить адекватный критерий оценки качества обслуживания при оказании услуг телефонной связи, с насущной необходимостью встала задача учета повторных вызовов при интерпретации результатов измерений. Теоретические задачи, поставленные и решенные в работе, ставила перед исследователем сама практика: данные задачи возникали при разработке систем управления трафиком на сетях операторов связи. Все это подтверждает актуальность темы диссертации.

**Цель работы.** Целью диссертационного исследования является разработка алгоритма присвоения приоритетов операторам при маршрутизации трафика дальней связи на основе, среди прочего, данных о качестве обслуживания трафика.

**Методы исследования.** Для решения поставленной задачи использовались методы теории массового обслуживания, методы теории сетей связи, компьютерное моделирование.

**Научная новизна работы** заключается в следующем. Разработана концептуальная схема процесса обслуживания запросов на передачу информации в сети связи транзитного оператора, учитывающая поведение

как пользователя, так и оборудования оператора. На основе данных наблюдений предложена новая модель учета эффекта повторных вызовов, позволившая более точно определить зависимость числа повторных вызовов на один первичный от измеряемых потерь. В работе найден вид ФПВ распределения трафика в ЧНН по интенсивности. Результаты теории согласуются с измерениями, произведенными на реальной сети связи. В диссертации разработан алгоритм расчета приоритетов для терминирующих операторов, основанный, в том числе, на показателях качества обслуживания с учетом их искажения под влиянием повторных вызовов.

**Личный вклад.** Все новые результаты, приведенные в диссертационной работе, получены автором лично.

**Теоретическая и практическая ценность и реализация результатов работы.** Разработанная в диссертации концептуальная схема позволяет строить более адекватные модели обслуживания требований современными сетями связи. Предложенная зависимость числа повторных вызовов на один первичный от потерь дает возможность определить потери, не приводящие к повторам, и настойчивость абонента. Найденная в работе ФПВ распределения трафика позволяет корректно настроить систему обнаружения резких изменений трафика сети. На основании разработанных в диссертации моделей и методов составлен и реализован алгоритм расчета коэффициентов для определения приоритетов терминирующих операторов при направлении на них вызовов в системе управления трафиком, позволивший повысить эффективность работы системы управления трафиком дальней связи.

Результаты диссертации использованы: в ОАО «МТТ» при проектировании и эксплуатации системы управления трафиком дальней связи; в учебном процессе факультета Сети и системы связи МТУСИ. Внедрение результатов диссертации подтверждается соответствующими документами.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 62-ой Научной сессии РНТОРЭС им. А.С.Попова (Москва, 2007); 64-ой Научной сессии РНТОРЭС им. А.С.Попова (Москва, 2009); Seventh International Conference on Information Research and Applications – i.Tech 2009 (Varna, Bulgaria, 2009); XI

Всероссийском симпозиуме по прикладной и промышленной математике (Кисловодск, 2010); семинарах ИППИ РАН; научном межвузовском семинаре “Современные телекоммуникации и математическая теория телетрафика” (Москва, 2010).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Исследование сценариев обслуживания вызовов в сетях связи транзитного оператора, где проанализирован эффект возникновения в некоторых ситуациях большого числа повторных вызовов и обоснована необходимость учета повторных вызовов при использовании показателей качества обслуживания в качестве множителей при расчете приоритета для направления трафика на данного оператора. Показано, что при измерении показателей качества обслуживания необходимо избегать тех участков сети, где присутствует большое число вызовов, инициированных оборудованием.

2. Построенная модель зависимости коэффициента, представляющего собой число повторных вызовов на один первичный, от измеренных потерь по вызовам, которая снимает существовавшее несоответствие между теоретическим видом зависимости и результатами измерений на сети связи.

3. Введение в модель параметра  $p_a$  — вероятности неповторения вызова при отказе в обслуживании и методики по его измерению на современном оборудовании.

4. Уточнение распределения интенсивности трафика в ЧНН.

5. Обоснование рекомендации использовать модифицированный, “очищенный” от повторных вызовов, показатель коэффициент занятости с ответом (КЗО) при терминировании трафика на сети с низким качеством обслуживания.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы и приложения, содержащего акты о внедрении работы. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста. Она содержит 20 страниц рисунков, 1 страницу таблиц, 7 страниц списка литературы из 55 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы диссертации, ее актуальность, научная новизна, сформулированы цели и основные задачи исследования.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ путей развития нового поколения сетей связи общего пользования. Показано, что в современных сетях можно использовать модель обобщенных виртуальных каналов, для которых в части поведения абонента будут справедливы те же закономерности, что и для обычных сетей с коммутацией каналов.

В данной главе предложено условно подразделять сеть на слои, показано что в каждом таком слое существует большое число возможностей выбора для абонента при переходе на следующий слой. Введение услуги выбора транзитного оператора при каждом вызове (“hot-choice”) позволяет абоненту управлять выбором провайдера услуги вплоть до уровня МГ/МН связи. При указанных условиях повышаются требования к качеству связи. Для процесса обслуживания запросов на передачу информации в сети связи транзитного оператора разработана концептуальная схема (рис.1). На рисунке приняты следующие обозначения. Префиксы состояния: e — (enter) начальное, c — (carried) осуществленное, i — (interrupted) прерванное, b — (blocked) заблокированное, n — (not allocated) нет номера, a — (abandoned) несостоявшееся, r — (repeated) с повторением. E — (Equipment) оборудование, H — (Homo) человек. Состояния: D — (Dialing) набор номера, S — (Switching) проключение, R — (Ringing) посылка вызова, C — (Communication) разговор.

На схеме показаны варианты ветвления процессов перехода между промежуточными состояниями процесса обслуживания для каждой из фаз обслуживания. Некоторые ветви в концептуальной схеме ведут к повторению вызова абонентом, а некоторые — не приводят к повторению вызова. Это позволит впоследствии принципиально разделить все потери (сценарии обслуживания, ведущие к потерям) на те, которые приводят к повторению вызова абонентом (их вероятность обозначается через  $p$ ), и те, что не приводят к этому (их вероятность обозначается через  $p_a$ ). Необходимость разделять отказы на приводящие и не приводящие к повторению вызова абонентом обусловлена тем, что: увеличилось множество выбора абонентских устройств, сетей доступа, сетей МГ/МН связи, что позволяет абонентам, у которых есть выбор, не повторять набор

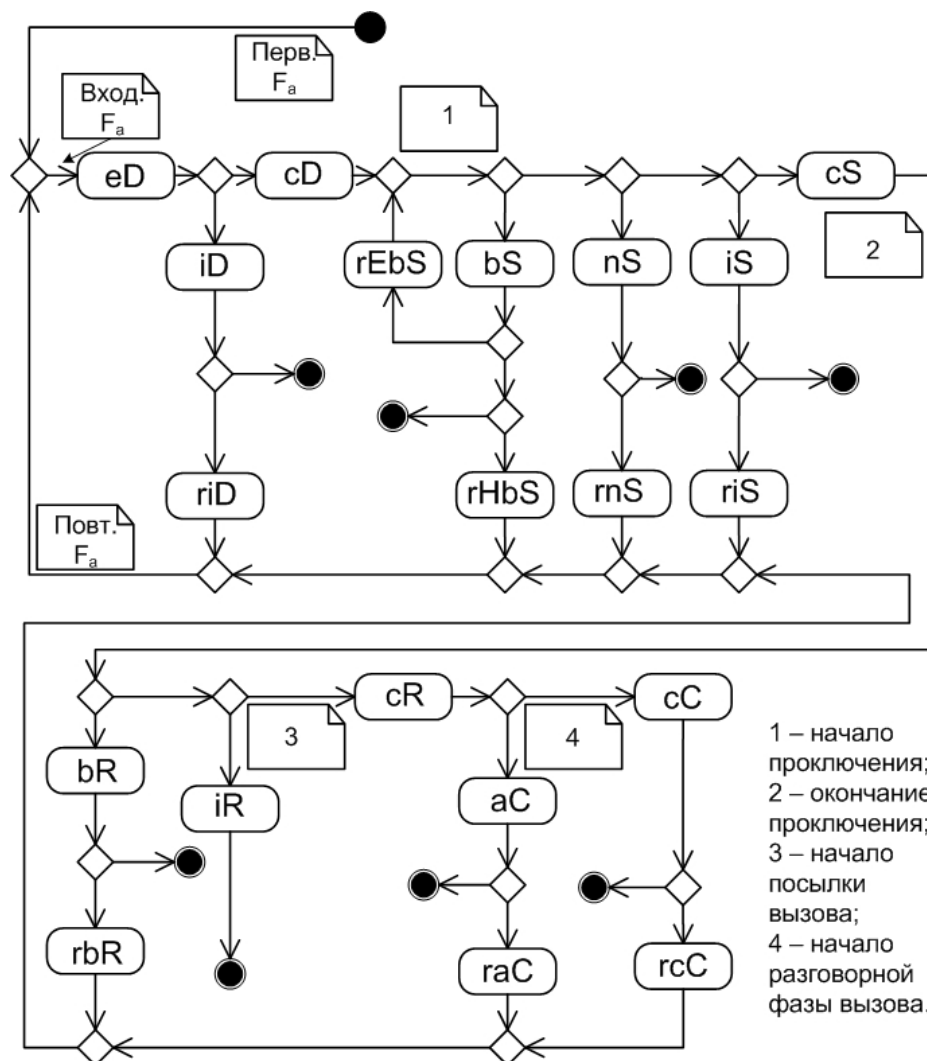


Рис. 1. Концептуальная схема обслуживания вызовов

номера; абоненты лучше информированы о причинах отказа, что влияет на их поведение в случае получения отказа; нехватка каналов в сети доступа на входящей стороне становятся причиной возникновения отказов чаще, чем транзитная сеть, данный факт влияет на поведение абонента.

Анализ концептуальной схемы обслуживания показал, что повторные вызовы могут быть как вызваны действиями абонента, так и являться результатом автоматической работы оборудования сети. Часть повторных вызовов, инициированных оборудованием, порождается вне сети транзитного оператора, то есть таких повторов невозможно избежать путем настройки оборудования, находящегося в ведении у данного оператора.



В выборке практически всегда (исключением является полное отсутствие потерь) присутствуют повторные вызовы, инициированные абонентом. Влияние данной составляющей трафика подчиняется определенной закономерности и может быть учтено путем корректировки показателей качества обслуживания. При измерениях на выходе из достаточно крупной транзитной сети может существовать большое число повторных вызовов, инициированных оборудованием сети. Таким образом, показатели качества, полученные при измерениях на входе в транзитную сеть, являются более репрезентативными.

Заканчивается глава выводами, в которых указаны и обоснованы направления дальнейших исследований.

Вторая глава диссертации посвящена анализу технической информации, необходимой для эффективной работы системы управления трафиком.

Выяснено, что при помощи анализа данных CDR (Call Detail Records – детализированных записей о вызовах) можно получить информацию, необходимую для определения постоянной составляющей потерь и настойчивости абонента. В рекомендации E.425 определен показатель NER (Network Effectiveness Ratio – коэффициент эффективности работы сети). Он представляет собой процентное отношение “успешных” с точки зрения работы сети вызовов ко всем занятиям канала. Данный показатель включает в себя как “успешные” все отвеченные вызовы и неотвеченные вызовы с причинами разъединения, CV – Cause Values, с 16 по 21. Измеренные потери “из-конца-в-конец”,  $q = 1 - \frac{NER}{100\%}$ . Значения причин разъединения ОКС-7 не всегда допускают однозначную интерпретацию. В связи с этим при анализе на основе интегрального показателя NER необходимо контролировать соотношение показателей NER, ASR (Answer Seizure Ratio – коэффициент занятий с ответом, КЗО) и кодов причин разъединения. ASR равен процентному отношению отвеченных вызовов к занятиям канала. Данный показатель измеряется с наибольшей надежностью. Информацию о значениях указанных показателей на сети транзитного оператора можно получать по данным LMS (Link Monitoring System – системы мониторинга ОКС-7) или по CDR с коммутационного оборудования. Первый способ – более дорогостоящий и информативный, второй – более надежный, но менее информативный.

В отсутствие записи неотвеченных вызовов на коммутаторах сети, единственным возможным средством получения информации, необходимой для организации эффективной маршрутизации, является система распределенного мониторинга ОКС-7. Во второй главе работы показано, как подразделяются на классы различные CV и рассмотрены основные сценарии обслуживания вызовов, порождающие причину разъединения того или иного класса.

На сети транзитного оператора для обеспечения эффективной маршрутизации необходимо создание единой системы сбора и обработки данных о трафике – системы NPM (Network Performance Management – управление производительностью работы сети). Во второй главе рассмотрены общие требования и решение по реализации такой системы на сети связи. Передача данных об интенсивности нагрузки из NPM в TMS (Traffic Management System – систему управления трафиком) должна быть автоматизирована. Данные об интенсивности нагрузки и числе каналов являются ограничениями для реализации эффективной маршрутизации трафика на сети связи.

Рассмотрены основные классы, на которые подразделяются показатели качества услуги, и проанализирована возможность их использования в TMS. Главным классом показателей качества услуги, который может быть легко использован для управления трафиком, является *надежность доступа*. Есть перспективы в автоматизации контроля таких аспектов качества услуги как *надежность маршрутизации*, *непрерывность соединения* и *скорость подключения*. При обнаружении у оператора аномальных значений средней длительности разговора и/или высоких значений задержки после набора номера следует в алгоритме выбора данного оператора изменять вероятность потерь вызовов на более высокую, считая такого сорта вызовы потерянными.

На основании анализа взаимодействия систем, снабжающих информацией TMS, даны рекомендации о том, что для автоматизации процесса принятия решения при выборе пути при маршрутизации трафика необходима система учета сетевых ресурсов. Такая система способна сопрягать конфигурацию первичной и вторичной сети, что дает возможность учитывать стоимость аренды каналов при расчете приоритетов исходящих операторов для осуществления эффективной

схемы маршрутизации.

Третья глава диссертации посвящена анализу математических средств решения поставленной задачи. В ней приведен обзор основных научных результатов в области исследования потоков повторных вызовов, на базе которых в работе разрабатывались методики. Кроме того, сформулированы задачи, решение которых необходимо для обеспечения адекватности теоретических результатов наблюдаемым на практике.

Анализ выполненных исследований показал, что основным численным методом оценки моделей с повторными вызовами является замена потока повторных вызовов потоком вызовов с распределением Пуассона. При реализации данного подхода предполагается, что вероятность потерь в первичной и в повторных попытках одинакова. Указанное предположение дает возможность считать поток повторных вызовов пуассоновским с некоторой неизвестной интенсивностью, которая определяется итерационной процедурой. Для решения задачи нахождения зависимости числа повторных вызовов на один первичный от настойчивости и потерь можно использовать данный метод и получить следующее соотношение:

$$k(q) = \frac{Hq}{1 - Hq}. \quad (1)$$

Однако данные измерений показывают, что использовать данное соотношение на практике не всегда корректно. При помощи специально разработанного для целей данной работы программного обеспечения была проведена обработка результатов измерений качества обслуживания вызовов на сети и получена зависимость числа повторных вызовов на один первичный от измеренных потерь на сети связи (рис. 2). На рис. сплошной линией изображена теоретическая зависимость коэффициента повторных вызовов, приходящихся на один первичный, от измеренных потерь. Точками изображена экспериментальная зависимость рассматриваемых величин. Очевидно расхождение между существующей теорией и экспериментом, особенно в области малых потерь.

С внедрением на сетях связи оборудования, позволяющего получать CDR по неотвеченным вызовам с указанием причин разъединения, в руки исследователя попадает инструмент, позволяющий разделять первичные и повторные вызовы. Такое оборудование позволяет путем измерений оценить зависимость соотношения между числом повторных и первичных вызовов

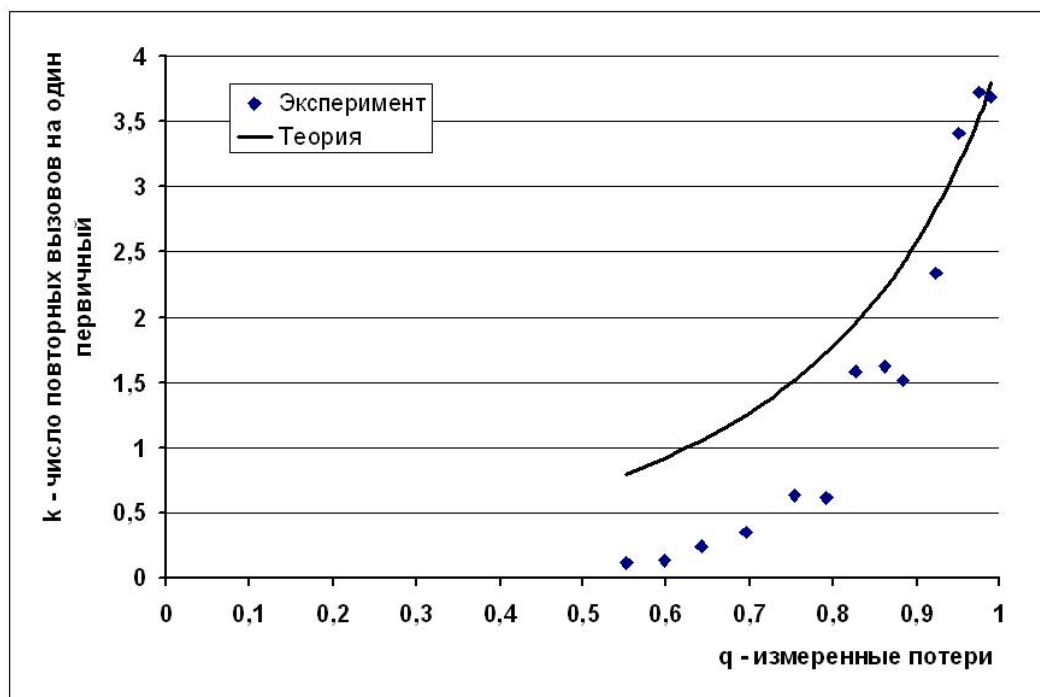


Рис. 2. Зависимость отношения повторные/первичные вызовы от потерь без учета  $p_a$

от потерь на сети связи. Для использования зависимости коэффициента повторных вызовов, приходящихся на один первичный, от измеренных потерь при определении приоритетов терминирующих операторов, нам необходимо получить корректный теоретический вид данной зависимости. Кроме того, в третьей главе исследуется асимптотическое распределение нагрузки в ЧНН, которое обычно рассматривается как нормальное распределение. Данное утверждение о виде ФПВ (функции плотности вероятности) распределения интенсивности нагрузки справедливо лишь для достаточно больших значений математического ожидания данной случайной величины. Распределение Гаусса нельзя использовать, если математическое ожидание данной СВ невелико (менее 1 Эрл).

Несоответствие теории и практики в данном вопросе проиллюстрировано на рис. 3. Необходимость выяснить, каков истинный вид ФПВ распределения интенсивности нагрузки при малых значениях математического ожидания, обусловлена тем, что именно такие значения анализируются в автоматическом режиме в системе управления трафиком для того, чтобы сделать вывод о случайности/неслучайности

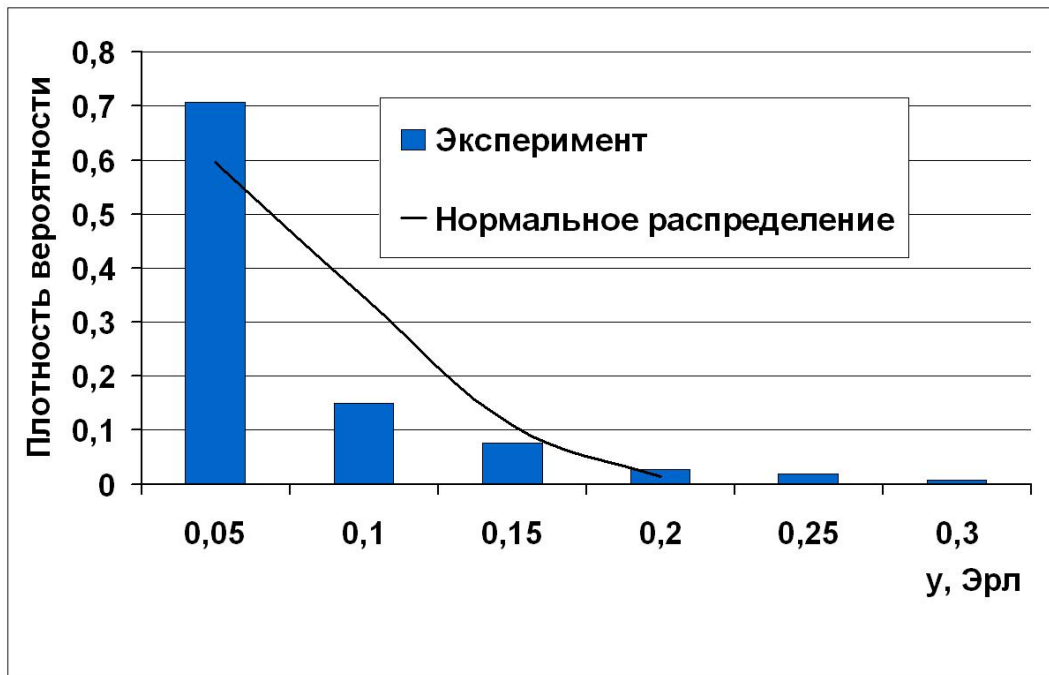


Рис. 3. ФПВ распределения телефонной нагрузки по интенсивности при  $Y = 0,04$  Эрл в сравнении с нормальным распределением

рассматриваемого изменения трафика. Здесь необходимо отметить, что несоответствие наиболее существенно в области больших значений, т.е. хвостов распределений. Экспериментальное распределение имеет существенно более тяжелый хвост, что приводит к ошибкам при использовании теоретического распределения в задачах прогнозирования и управления сетью.

В четвертой главе диссертации решены задачи, сформулированные в третьей главе. Введена в рассмотрение величина потерь, не влияющих на повторение вызовов абонентом А, —  $p_a$ . Теперь зависимость “наблюдаемых” (т.е. таких, которые могут быть получены прямым измерением) потерь  $q$  от  $p_a$  и  $p$  выражается следующей формулой:

$$q = 1 - (1 - p_a)(1 - p). \quad (2)$$

Подставив  $p$  из (2) вместо  $q$  в (1), получим:

$$k(q) = \frac{(q - p_a)H}{1 - p_a - (q - p_a)H}. \quad (3)$$

В формуле (3) величины  $p_a$  и  $H$  постоянны для данного, рассматриваемого

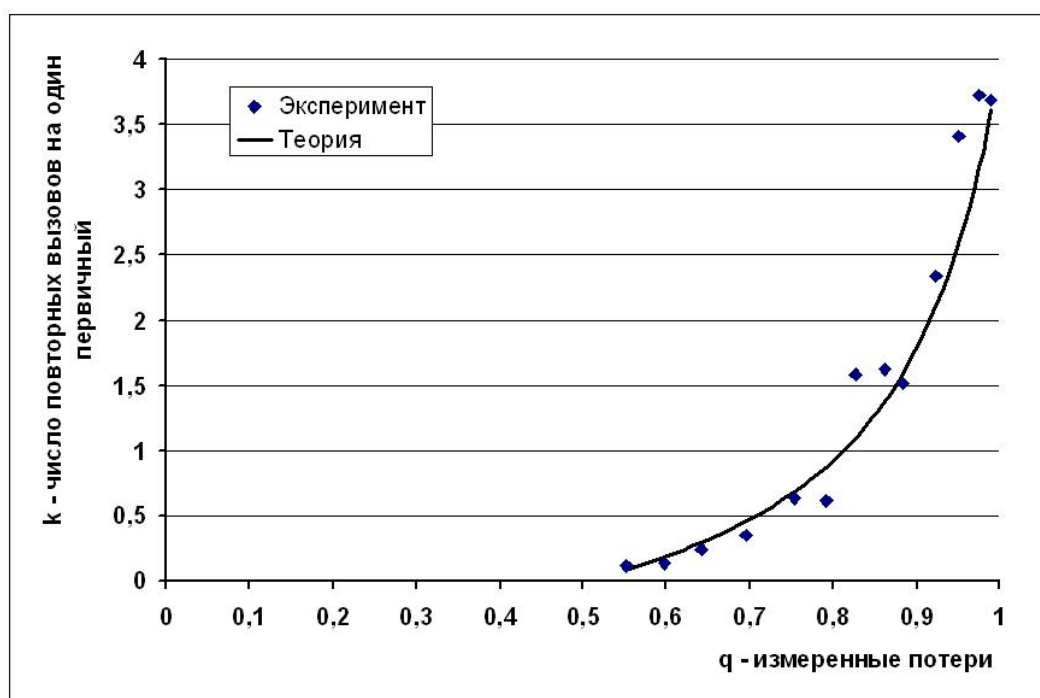


Рис. 4. Зависимость отношения повторные/первичные вызовы от потерь с учетом  $p_a$

направления (измерений трафика с определенным началом В-номера, прошедшего через определенного оператора).

С учетом предложенных изменений, зависимость приобретает вид, изображенный на рис.4 (пример для  $H = 0,8$  и  $p_a = 0,5$ . Ромбиками, помеченными на легенде рисунка как “Эксперимент”, представлены результаты измерений на действующей сети связи. В виде сплошной линии изображена предложенная в настоящей работе теоретическая зависимость. В рамках четвертой главы проанализировано поведение данной кривой в зависимости от настойчивости  $H$  и потерь  $p_a$ . При измеренных потерях  $q = 1$  коэффициент достигает своего максимального значения  $k = \frac{H}{1-H}$ .

Для нахождения вида ФПВ распределения нагрузки по интенсивности в четвертой главе работы был рассмотрен простейший поток вызовов с экспоненциально распределенной длительностью обслуживания. Трафик за некий единичный интервал времени представляет собой суммарную длительность обслуживания  $n$  вызовов, причем  $n$  – случайная величина, имеющая распределение Пуассона, а длительность обслуживания одного вызова распределена по показательному закону. Таким образом, искомое

распределение:

$$f(y) = e^{-\lambda} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda^n}{n!} g(y)^{n*},$$

где  $g(y)^{n*}$  –  $n$ -кратная свертка ФПВ распределений длительности обслуживания вызова  $g(y)$ . Для данного распределения преобразование Лапласа-Стилтьеса (ПЛС):

$$F(s) = e^{\lambda(G(s)-1)}, \quad (4)$$

где  $G(s)$  – ПЛС функции распределения длительности обслуживания вызова. В случае экспоненциального распределения

$$G(s) = \frac{\mu}{\mu + s}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4) и произведя некоторые вычисления, а затем, применив к (4) обратное преобразование Лапласа-Стилтьеса, имеем:

$$f(y) = \delta(y)e^{-\lambda} + e^{-(\lambda+\mu y)} \sqrt{\frac{\lambda\mu}{y}} I_1(2\sqrt{\lambda\mu y}), \quad (6)$$

где  $\delta(y)$  – дельта-функция Дирака,  $I_1(x)$  – модифицированная функция Бесселя первого рода первого порядка.

Данный метод может быть применен не только для экспоненциально распределенной длительности обслуживания вызова, но и для других видов  $g(y)$ .

Для проверки соответствия полученной зависимости измерениям на реальной сети связи были проанализированы данные нескольких транковых групп сети, имеющих небольшую интенсивность нагрузки, за 12 месяцев в ежедневные ЧНН (часы наибольшей нагрузки). В учет принимались только рабочие дни. В результате получилась гистограмма, представленная на рис. 5. На рис. представлено и СРП, выраженное зависимостью (6). Из рисунка видно, что экспериментальное распределение хорошо выравняется СРП.

Таким образом, распределение трафика в ЧНН по интенсивности представляет собой сложное распределение Пуассона (СРП). В работе

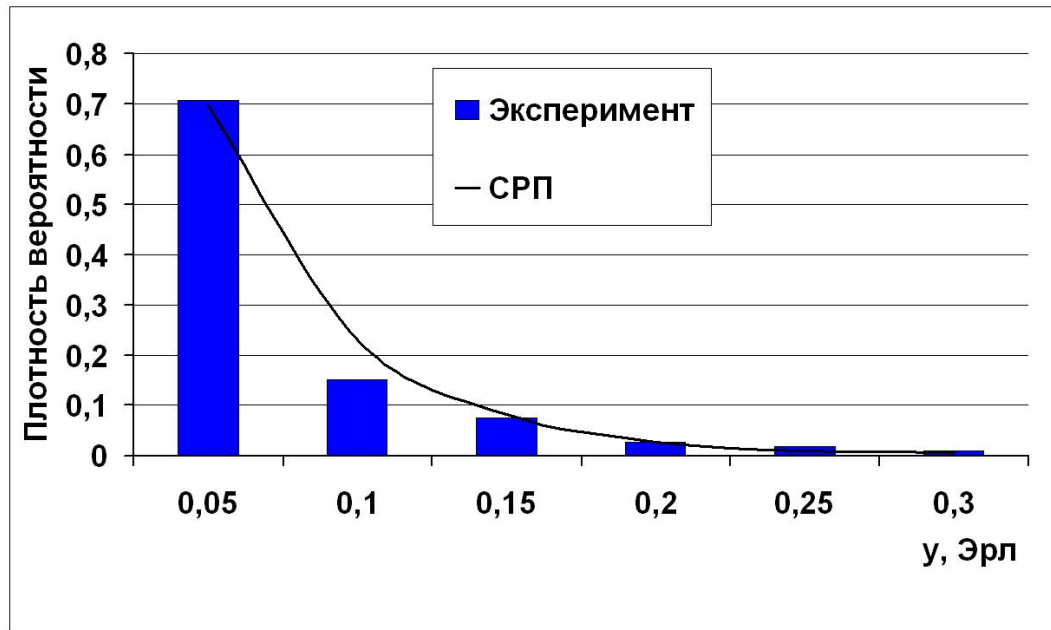


Рис. 5. ФПВ распределения телефонной нагрузки по интенсивности при  $Y = 0,04$  Эрл в сравнении со сложным распределением Пуассона

показано, что СРП является асимптотически нормальным и обладает дисперсией, зависящей от математического ожидания:

$$\sigma^2 = \frac{2\lambda}{\mu^2},$$

где  $\lambda$  – среднее значение числа вызовов, поступающего за единичный интервал времени;  $\mu = \frac{1}{T}$  – величина, обратная средней длительности обслуживания вызова.

Пятая глава диссертации посвящена использованию на практике теоретических выкладок, полученных в четвертой главе. Для того, чтобы выяснить, какие значения могут принимать в выражении (3) постоянные коэффициенты  $H$  и  $p_a$ , возникла необходимость проанализировать большой объем данных. Для этого было разработано и применено специальное программное обеспечение, позволяющее определять экспериментальные значения  $q$  и  $k$  для трафика по различным направлениям.

В этом программном обеспечении используется следующий алгоритм обработки CDR:

- Рассматриваются только CDR, в которых явно присутствует как А, так и В номер.



- Агрегация производится по гибко определяемому временному интервалу – интервалу, в который попали сообщения REL от 1000 последовательно завершившихся первичных вызовов (исходный файл отсортирован по времени завершения вызова).
- За “хорошие” (с точки зрения работы сети) причины разъединения принимались причины, не уменьшающие NER (по E.425).
- Чтобы считать вызов с теми же А и В номерами, как и у предыдущего, повторным, должны быть выполнены два условия: 1) предыдущий вызов должен завершиться с “плохой” причиной разъединения, 2) период времени между предыдущим и следующим за ним вызовами должен составлять не более 10 минут.
- По каждому из гибких временных интервалов рассчитывается число первичных вызовов, повторных вызовов, отвеченных вызовов и успешных с точки зрения сети вызовов.

По результатам обработки измерений оказалось, что диапазон наблюдаемых значений для настойчивости  $H$  – от 0,3 до 0,8, для постоянной составляющей потерь  $p_a$  – от 0,1 до 0,5. Учесть влияние повторных вызовов в пятой главе работы предложено путем использования “чистых” показателей ASR – CASR (Cleaned ASR):

$$CASR = ASR \cdot (k(ASR) + 1),$$

где  $k(ASR)$  – величина из формулы (3), в которой  $q = 1 - \frac{2ASR}{100\%}$ . Пусть  $a$  – чувствительность системы, причем, когда  $a = 0$ , нас беспокоит в основном качество (чтобы оно было достаточно высоким), а когда  $a \rightarrow 1$  – нас беспокоит в основном цена (чтобы она была достаточно низкой). Рекомендуемое значение параметра  $a$  для каждого направления определяется маржей на этом направлении –  $m, \%$  по формуле:

$$a = 1 - \frac{m}{100\%}.$$

Так, при средней марже по компании  $m = 25\%$ , рекомендуемое значение по умолчанию для параметра  $a$  составляет 0,75.

Маршрутизация трафика на оператора происходит не по одному коду, а сразу по направлению, которое включает целую группу кодов,

условимся называть их “родственными” кодами. Рассмотрим цену и качество пропускания  $j$  родственных кодов регионов через каждого из  $i$  операторов-провайдеров. Маршрутизация всех  $j$  родственных кодов возможна только в целом, на одного провайдера. Найдем минимальную цену по операторам для каждого кода:

$$P_{min j} = \min_i(P_{ij}).$$

Пороговое значение цены:

$$T_j = P_{min j} a_j.$$

Это пороговое значение – тот единый для всех операторов порог, от которого надо отсчитывать значение цены покупки возможности пропускания трафика. Заметим, что при  $a \rightarrow 1$  мы имеем частный случай – систему LCR (Least Cost Routing), работающую без учета качества для определения порядка выбора терминирующих операторов. Работа с  $a = 0$  соответствует ситуации с маржей  $m = 100\%$ . “Переплата” за качество для каждого оператора будет определяться расстоянием от порога:  $P_{ij} - T_j$ , а набор коэффициентов для принятия решения определится по формуле:

$$D_i = \sum_j \frac{CASR_{ij} W_j}{P_{ij} - T_j}.$$

Здесь  $W_j$  – вес данного кода в группе родственных кодов, определяемый по формуле:

$$W_j = \frac{\sum_i BMI_{ij}}{\sum_j \sum_i BMI_{ij}},$$

где  $BMI_{ij}$  – Billing Minutes Indicator, число минут разговорного трафика на каждом операторе по каждому коду за заданный период. Влияние объемов трафика на достоверность качественных показателей учтено в специальном нелинейном множителе  $f(x)$ . Таким образом, центральная часть (без учета суммирования) формулы расчета коэффициентов для расстановки операторов по приоритетам принимает вид:

$$D = \frac{CASR f(x)}{(P - a P_{min})}. \quad (7)$$

Формула (7) расчета коэффициентов для расстановки операторов по приоритетам обобщена для работы с родственными кодами, а также для работы в условиях недостатка информации (большого числа нулевых данных). Полученные соотношения для алгоритма управления (путем расчета коэффициентов приоритета для операторов) трафиком транзитной сети по данным о качестве обслуживания использованы в модуле внешней оптимизации системы управления трафиком.

В заключении сформулированы основные результаты проведенных исследований.

1. Описан процесс обслуживания вызовов на сети с коммутацией обобщенных виртуальных каналов при оказании услуг связи. Для процесса обслуживания запросов на передачу информации в сети связи транзитного оператора разработана концептуальная схема. На схеме показаны варианты ветвления процессов перехода между промежуточными состояниями процесса обслуживания для каждой из фаз обслуживания. Разделены ветви в концептуальной схеме на те, которые ведут к повторению вызова абонентом, и те, которые не приводят к повторению вызова. Это позволило принципиально разделить все потери (сценарии обслуживания, ведущие к потерям) на те, которые приводят к повторению вызова абонентом, и те, что не приводят к этому. Повторные вызовы могут быть как вызваны действиями абонента, так и являться результатом автоматической работы оборудования сети. Влияние повторных вызовов, инициированных абонентом, подчиняется определенной закономерности и может быть учтено путем корректировки показателей качества обслуживания.

2. В работе описано, как получить и обработать техническую информацию, необходимую для маршрутизации трафика. Показано, что при помощи анализа данных CDR можно получить информацию, необходимую для определения общих потерь и настойчивости абонента. Выяснено, что система мониторинга ОКС-7 является наилучшим источником информации о QoS на сети связи. На сети транзитного оператора для обеспечения оптимальной маршрутизации необходимо создание единой системы сбора и обработки данных о трафике. Из такой системы в TMS — систему управления трафиком — должна быть обеспечена автоматическая передача данных об интенсивности нагрузки. Главным классом показателей качества обслуживания, который может

быть использован для составления плана эффективной маршрутизации, является надежность доступа.

3. Обнаружено, что при работе с телефонной нагрузкой в ЧНН, нельзя использовать распределение Гаусса, если математическое ожидание для данной СВ невелико (менее 1 Эрл). В работе показано, что распределение трафика в ЧНН по интенсивности представляет собой сложное распределение Пуассона (СРП), которое является асимптотически нормальным и обладает дисперсией, зависящей от математического ожидания.

4. При исследовании характера зависимости числа повторных вызовов, приходящихся на один первичный, от измеряемых потерь на сети связи в работе предложено в виде отдельной величины учитывать потери, не влияющие на повторение вызова абонентом. Предложенная зависимость числа повторных вызовов, приходящихся на один первичный, от измеряемых потерь хорошо согласуется с результатами измерений на сети связи.

5. Разработан алгоритм управления трафиком транзитной сети по данным о качестве обслуживания. Учесть влияние повторных вызовов предложено путем использования “чистых” показателей ASR — CASR (Cleared ASR). Маржу при терминировании трафика на каждого из операторов предлагается учитывать в регулируемом коэффициенте переплаты. Влияние объемов трафика на достоверность качественных показателей учтено в специальном нелинейном множителе. Формула расчета коэффициентов для расстановки операторов по приоритетам обобщена для работы с родственными (маршрутизируемыми одной группой) кодами, а также для работы в условиях недостатка информации (большого числа нулевых данных).

6. Тот факт, что при малых значениях математического ожидания распределение интенсивности нагрузки в ЧНН есть сложное распределение Пуассона, позволил настроить систему отслеживания резких изменений трафика таким образом, чтобы она реагировала лишь на значимые события.

7. Подтвержденные практикой теоретические закономерности, которые были получены в работе, использованы при разработке системы управления трафиком для крупного оператора дальней связи.

## Список публикаций

1. Андрианов Г.А. Использование системы распределенного мониторинга ОКС 7 для обеспечения качества обслуживания в ТфОП // Электросвязь. 2005. № 1. С. 34–36.
2. Андрианов Г.А. Система мониторинга трафика клиентов оператора связи // Труды 62-й научной сессии РНТОРЭС. М.: РНТОРЭС. 2007. С. 241–243.
3. Андрианов Г.А., Цитович И.И. О некоторых особенностях влияния потерь на интерпретацию результатов измерения качества обслуживания // Труды 64-й научной сессии РНТОРЭС. М.: РНТОРЭС. 2009. С. 341–343.
4. Andrianov G.A., Poryazov S., Tsitovich I.I. On a problem of QoS characteristics interpretation in transit networks // The i.TECH 2009 proceeding. Bulgaria. 2009. P. 59–65.
5. Андрианов Г.А., Порязов С., Цитович И.И. Обслуживание транзитного трафика на сети оператора связи // Информационные процессы. 2010. Т. 10, № 1. С. 36–53.
6. Андрианов Г.А. Алгоритм оптимальной маршрутизации для системы управления трафиком // Информационные процессы. 2010. Т. 10, № 1. С. 54–67.
7. Андрианов Г.А. Учет влияния повторных вызовов при интерпретации результатов измерения качества обслуживания // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2010. Т. 17, вып. 2. С. 247–248.
8. Андрианов Г.А. Повышение доходности услуг дальней связи с помощью систем оптимальной маршрутизации трафика // Вестник связи. 2010. № 9. С. 17–22.