

На правах рукописи

Осия Дмитрий Леонидович

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ДОСТУПА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕГРУЗКИ**

Специальность 05.12.13 –
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018 г.

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Степанов Сергей Николаевич**

Официальные оппоненты:

Цитович Иван Иванович - доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории «Теория передачи информации и управления» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН» (ИППИ РАН);

Парамонов Александр Иванович - доктор технических наук, профессор кафедры «Сети связи и передачи данных» федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)

Ведущая организация:

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

Защита состоится 15 февраля 2018 г. В 15:00 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 «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь,
диссертационного совета Д.219.001.04
кандидат технических наук, доцент

_____ Максим Валерьевич Терешонок

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Определение необходимой величины ресурса передачи информации сетей связи осуществляется исходя из оценки интенсивности предложенного трафика и значений нормативных показателей качества его обслуживания. Случайный характер трафика и его зависимость от реакции пользователя на разного рода события, связанные с его формированием и обслуживанием, могут привести к возникновению перегрузки. Соответствующее явление означает такое состояние сети, при котором вследствие чрезмерной нагрузки оборудования коммутации и передачи информации происходит резкое ухудшение характеристик качества обслуживания абонентов. К основным причинам перегрузки следует отнести: ошибки планирования, выход из строя оборудования, чрезвычайные ситуации, DDOS атаки и т.п.

Эффектом, сопутствующим перегрузке в сетях связи, являются повторные запросы абонентов сети на получение требуемого сервиса. По понятным причинам особенно сильно их влияние проявляется в тех сегментах сети, которые наиболее приближены к абонентам, т.е. в сетях доступа. Повторные вызовы приводят к лавинообразному росту трафика в отдельных направлениях. Повторными вызовами можно объяснить резкий, до нескольких десятков раз, рост трафика в результате синхронизированных во времени обращений абонентов сети к услугам связи при осуществлении разного рода резонансных событий.

Теоретическое обоснование мероприятий, направленных на устранение перегрузки, а к ним относится ограничение доступа и увеличение пропускной способности сети, необходимо проводить в рамках моделей с учетом эффекта повторения заблокированной заявки. Использование традиционных моделей с потерями может привести к значительным погрешностям, поскольку эти модели не учитывают характер поведения абонента после отказа в обслуживании.

Таким образом, построение модели сети доступа, в которой учитываются перечисленные выше особенности их работы, проведение ее исследования и разработка алгоритмов расчета характеристик являются актуальными задачами, имеющими большое значение для теоретического обоснования мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования инфраструктуры сетей доступа.

Степень разработанности темы. Поставленная задача решается на базе моделей и методов теории телетрафика. Различным аспектам решения этой задачи посвящены работы российских и зарубежных авторов Башарина Г.П., Гольдштейна Б.С., Ефимушкина В.А., Кучерявого А.Е., Корнышева Ю.Н., Парамонова А.И., Пшеничникова А.П., Рослякова А.В., Степанова С.Н.,

Самуйлова К.Е., Соколова Н.А., Цитовича И.И., Шнепса М.А., Artalejo J., Iversen V., Ross K., Virtamo J. и др. Отдельные вопросы построения и исследования моделей сетей доступа рассматривались в диссертационных исследованиях Гавлиевского С.А., Щека А.Ю., До Суан Тху и др. авторов. 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 иерархических мультисервисных сетей доступа, одновременно учитывающих зависимость поступления заявок от типа трафика и наличие возможности повторения заблокированного вызова.

Целью диссертационного исследования является построение модели и алгоритмов оценки скорости соединительных линий иерархических сетей доступа, работающих в условиях перегрузки.

Задачи диссертационного исследования, решаемые для достижения указанной цели: построение и анализ модели мультисервисной иерархической сети доступа с учетом зависимости поступления заявок от потребности в ресурсе передачи и возможности повторения заблокированной заявки; определение характеристик пропускной способности анализируемой модели и разработка точных и приближенных алгоритмов их оценки; разработка методики оценки скорости линий сети, достаточной для обслуживания поступающих заявок с заданным качеством.

Научная новизна.

1. Построена и исследована математическая модель процесса совместной передачи мультисервисного трафика реального времени в иерархических сетях доступа. В модели учитывается зависимость поступления заявок от потребности в ресурсе передачи и возможность повторения заблокированной заявки из-за отказа в обслуживании.

2. Сформулированы определения для основных показателей качества совместного обслуживания заявок на передачу трафика сервисов реального времени. Среди них для каждого из рассмотренных видов трафика: доля потерянных заявок, среднее число повторных вызовов на один первичный, среднее число абонентов, повторяющих вызов; средний объём занятого ресурса передачи информации. Величины характеристик выражены через значения стационарных вероятностей пребывания модели в состояниях с различным числом заявок каждого из рассмотренных видов, находящихся на обслуживании или повторении запроса. Установлены соотношения между характеристиками, которые упрощают процесс анализа тех характеристик, прямое измерение которых встречает затруднения из-за невозможности разделения первичных и повторных вызовов.

3. Построены и исследованы алгоритмы оценки характеристик исследуемой

модели иерархической сети доступа. В общем случае, значения характеристик оценивались с использованием имитационного моделирования или с помощью приближенных алгоритмов, основанных на асимптотических свойствах модели при малой и большой интенсивности повторения заявки. Выполнен численный анализ погрешности приближенных алгоритмов.

4. Исследован частный случай модели иерархической сети из одного звена. Построен алгоритм оценки характеристик качества совместного обслуживания заявок, основанный на составлении и решении системы уравнений равновесия итерационными методами.

5. Разработан алгоритм оценки скорости звеньев мультисервисной иерархической сети доступа, в которой допускается наличие потоков повторных вызовов. Приведены численные примеры, иллюстрирующие особенности реализации алгоритма.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в построении и исследовании модели мультисервисной иерархической сети доступа, в которой учтена зависимость поступления и обслуживания заявок от потребности в ресурсе передачи и возможности повторения заблокированной заявки. Общий характер предположений позволяет применять математическую модель и созданные на ее основе расчетные алгоритмы для большинства практически важных задач. Разработанный инструментариум рекомендуется использовать при проектировании и эксплуатации мультисервисных иерархических сетей связи. Методы оценки пропускной способности сети доступа, разработанные соискателем, были использованы в компании РУП «Абхазсвязь» Республики Абхазии в виде методики оценки потребности в ресурсе передачи информации мультисервисных иерархических сетей доступа, а также использованы в учебном процессе на кафедре СС и СК МТУСИ. Реализация результатов работы подтверждена соответствующими актами, которые приведены в приложении.

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

Положения, выносимые на защиту.

1. Анализ опыта функционирования сетей связи показал необходимость учета влияния поведения абонента на характеристики работы сети в условиях локальных перегрузок, вызванных выходом из строя оборудования, ошибками планирования, стихийными бедствиями и т.д. Особенно важно учитывать это явление в сетях доступа, которые в отличие от ядра сети не планируются с избытком пропускной способности.

2. Построенная модель мультисервисной иерархической сети доступа адекватно отражает особенности формирования трафика сервисов реального

времени и дает возможность учесть влияние потоков повторных вызовов.

3. Разработанные точные и приближенные алгоритмы позволяют находить значения характеристик поступления и обслуживания информационных потоков в сетях доступа и использовать полученные результаты для анализа свойств совместного обслуживания трафика современных инфокоммуникационных приложений.

4. Предложенная рекурсивная процедура дает возможность рассчитать требуемую величину ресурса соединительных линий мультисервисной иерархической сети доступа с учетом особенностей формирования и обслуживания поступающих потоков заявок.

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 отраслевой научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (Москва, МТУСИ, 2012, 2013 г.), на научной сессии Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, посвященной дню Радио (Москва, РНТОРЭС, 2013, 2017 г.), на международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» (Москва, МТУСИ, 2017 г.), на международной научно-практической конференции «Высокие интеллектуальные технологии в науке и образовании» (Санкт-Петербург, 2017 г.), на международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий» (Новосибирск, 2017 г.), на кафедре ССиСК МТУСИ.

По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 4 - в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Основное содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка литературы и приложения. Основная часть (без приложений) изложена на 154 страницах машинописного текста, содержит 24 рисунка и 16 таблиц. Список литературы состоит из 160 наименований. Приложения изложены на 3 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 первом разделе диссертационной работы исследуются особенности построения мультисервисных сетей доступа. Планирование ресурса передачи информации сетей доступа выполняется стандартными методами с использованием величины предложенного трафика, которая оценивается из

маркетинговых исследований, и значений нормативных показателей качества его обслуживания, заданных регулятором. Сети доступа в отличие от транспортной сети не планируются с избытком пропускной способности. Это может привести к перегрузке всей сети доступа или отдельных ее фрагментов. К основным причинам перегрузки следует отнести сделанные ранее ошибки в определении величины ресурса коммутации и передачи информации, выход из строя части оборудования в результате стихийных бедствий, терактов, DDOS атак, синхронизированные во времени обращения абонентов сети к услугам связи при осуществлении разного рода резонансных событий и т.п.

Наличие перегрузки в сетях связи, является основной причиной появления повторных запросов абонентов сети на получение требуемого сервиса. Особенно сильно их влияние проявляется в тех сегментах сети, которые наиболее приближены к абонентам, т.е. в сетях доступа. Повторные вызовы приводят к лавинообразному росту трафика существенно ухудшая показатели обслуживания поступающих заявок на установление соединения. Теоретическое обоснование мероприятий, направленных на устранение перегрузки, а к ним относится ограничение доступа и увеличение пропускной способности сети, необходимо проводить в рамках моделей с учетом эффекта повторения заблокированной заявки. Использование традиционных моделей с потерями может привести к значительным погрешностям, поскольку эти модели не учитывают характер поведения абонента после отказа в обслуживании. Построению подобной модели и анализу возможностей ее использования для оценки характеристик пропускной способности иерархической сети доступа с учетом повторных вызовов посвящены последующие разделы диссертационной работы. Первый раздел заканчивается постановкой задачи исследования.

Второй раздел посвящен построению и исследованию модели иерархической мультисервисной сети доступа, в которой учитывается влияние поведения абонента, получившего отказ в обслуживании. В этой ситуации абонент, формирующий k -ый поток заявок, с вероятностью $H_{k,1}$, для первого отказа, и с вероятностью $H_{k,2}$ для всех последующих отказов повторяет вызов через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром γ_k . Интенсивность поступления первичных заявок λ_k , требование в канальных единицах (к.е.) к ресурсу передачи информации b_k , параметр экспоненциального распределения времени обслуживания заявки μ_k , вероятности $H_{k,1}$, $H_{k,2}$ и интенсивность повторения вызова γ_k зависят от номера потока $k, k = 1, 2, \dots, n$, где n - общее число потоков заявок.

Сеть состоит из некоторого числа узлов, связанных между собой соединительными линиями. Пример сети показан на рисунке 1. Линии сети

занумерованы и их общее число равно J . Обозначим через v_j скорость j -ой линии, выраженную в канальных единицах. Далее, когда речь будет идти об иерархической сети доступа, будем предполагать, что рассматривается сеть с нумерацией соединительных линий и узлов, использованной на рисунке 1.

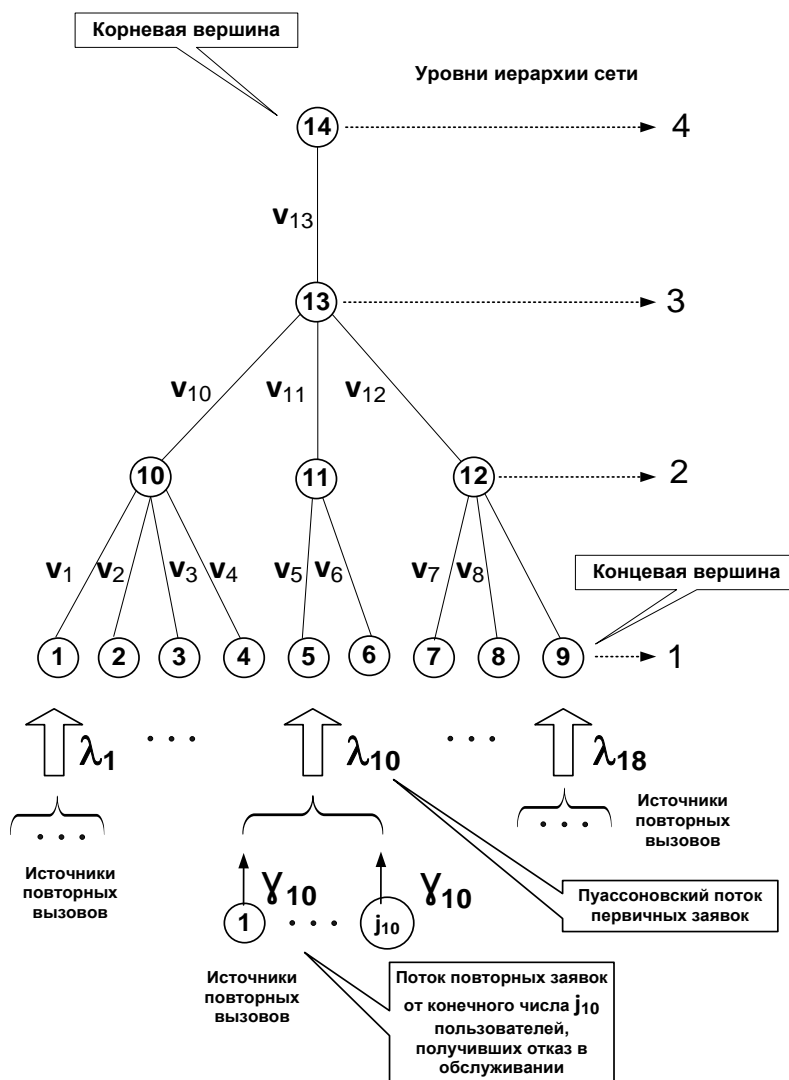


Рисунок 1 - Пример иерархической сети доступа из 14 узлов, 13 соединительных линии и 18 потоков заявок (по два потока на концевой узел)

В сетях подобного типа количество узлов на единицу больше чем J . Все маршруты передачи информации начинаются в одном из концевых узлов и заканчиваются в корневом узле. Число уровней иерархии сети, определяется через значение максимального числа узлов в маршруте. Назовем линии сети, исходящие из узлов, находящихся на одном уровне иерархии, линиями одного этапа установления соединения. Номер этапа установления соединения будет совпадать с номером уровня иерархии. Обозначим через q число этапов установления соединения. Оно на единицу меньше, чем число уровней иерархии.

Обозначим через i_k число заявок k -го потока находящихся на обслуживании, а через j_k обозначим число абонентов, формирующих k -й поток трафика и

находящихся в состоянии повторения вызова, $k=1,2,\dots,n$. Вектор состояния модели сети имеет вид $(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n)$. Обозначим через $i_k(t)$ число заявок k -го потока, находящихся на обслуживании в момент времени t , а через $j_k(t)$ обозначим число абонентов, формирующих k -й поток трафика и находящихся в момент времени t в состоянии повторения вызова, $k=1,2,\dots,n$. Функционирование модели описывается марковским процессом $r(t) = (j_1(t), j_2(t), \dots, j_n(t), i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t))$, определенном на бесконечном пространстве состояний S .

Будем предполагать, что для процесса $r(t)$ существует стационарный режим. Для этого достаточно потребовать, чтобы выполнялось соотношение $H_{k,2} < 1$, $k=1,2,\dots,n$. Обозначим через $P(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n)$ стационарную вероятность состояния $(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n)$. Вероятности $P(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n)$ имеют интерпретацию доли времени пребывания модели в состоянии $(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n)$ и могут использоваться для оценки характеристик качества обслуживания поступающих заявок. К таковым для k -го потока заявок относятся: $\pi_{k,1}$ — доля времени недоступности используемого маршрута; $\pi_{k,2}$ — доля потерянных заявок; m_k — среднее число занятых канальных единиц; y_k — среднее число заявок, находящихся на обслуживании; r_k — среднее число абонентов, повторяющих вызов; $r_{k,b}$ — среднее число абонентов, повторяющих вызов в состояниях занятости используемого маршрута; $\pi_{k,3}$ — доля повторных заявок в общем потоке поступающих заявок; f_k — среднее число повторных вызовов на один первичный; Q_k — среднее число отказов на одно установленное соединение; $\pi_{k,4}$ — доля заявок, отказавшихся от обслуживания; $\Lambda_{k,b}$ — интенсивность потока заявок, получивших отказ; Λ_k — интенсивность потока заявок. Формальные определения характеристик следуют из их физического смысла, например, выражение для $\pi_{k,2}$ имеет вид:

$$\pi_{k,2} = \frac{\sum_{(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n) \in U_k} P(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n)(\lambda_k + j_k \gamma_k)}{\sum_{(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} P(j_1, j_2, \dots, j_n, i_1, i_2, \dots, i_n)(\lambda_k + j_k \gamma_k)},$$

где U_k - множество состояний модели, где заявка k -го потока получает отказ.

В результате преобразования системы уравнений равновесия получены соотношения, связывающие основные характеристики модели

$$\begin{aligned} r_k \gamma_k &= \lambda_k \pi_{k,1} H_{k,1} + r_{k,b} \gamma_k H_{k,2}; \quad k=1,2,\dots,n, \\ \lambda_k + r_k \gamma_k &= \lambda_k \pi_{k,1} + r_{k,b} \gamma_k + y_k \mu_k; \quad k=1,2,\dots,n. \end{aligned} \quad (1)$$

Они дают возможность оценить введенные характеристики через значения тех показателей, которые можно измерять прямыми методами, не разделяя первичные и повторные вызовы, например, через $\pi_{k,1}$, y_k и $\pi_{k,2}$. Приведем несколько подобных соотношений:

$$f_k = \frac{\pi_{k,2}H_{k,2} + \pi_{k,1}(H_{k,1} - H_{k,2})}{1 - \pi_{k,2}H_{k,2}}; \quad \lambda_k = \frac{y_k \mu_k (1 - \pi_{k,2}H_{k,2})}{(1 - \pi_{k,2})(1 + \pi_{k,1}(H_{k,1} - H_{k,2}))};$$

$$r_k = \frac{\lambda_k (\pi_{k,2}H_{k,2} + \pi_{k,1}(H_{k,1} - H_{k,2}))}{(1 - \pi_{k,2}H_{k,2})\mu_k}; \quad Q_k = \frac{\pi_{k,2}}{1 - \pi_{k,2}}.$$

Если справедливо равенство $H_{k,1} = H_{k,2} = H_k$, то вид расчетных формул упрощается. Полученные формулы дают возможность оценить долю первичных и повторных вызовов в общем потоке поступающих запросов. Значение последней характеристики необходимо для реализации процедуры контроля доступа в ситуации перегрузки, поскольку доля вызовов, которым отказано в обслуживании должна соответствовать доле повторных запросов на установление соединения. Ограничение доступа обычно применяется в ситуации, когда перегрузка носит случайный, а не систематический характер. В последнем случае необходимо наращивать пропускную способность звеньев сети в соответствии с методологией, которая будет изложена в 4-ом разделе диссертации.

Далее в 2-ом разделе с использованием средств имитационного моделирования выполнен численный анализ зависимости характеристик от входных параметров в целях формулировки и обоснования допущений, которые можно будет использовать для построения приближенных алгоритмов расчета модели. Рассматривалась модель, показанная на рисунке 1, для следующих значений параметров: $n = 18$, $v_1 = 20$ к.е., $v_2 = 30$ к.е., $v_3 = 40$ к.е., $v_4 = 50$ к.е., $v_5 = 20$ к.е., $v_6 = 30$ к.е., $v_7 = 20$ к.е., $v_8 = 30$ к.е., $v_9 = 40$ к.е., $v_{10} = 20$ к.е., $v_{11} = 30$ к.е., $v_{12} = 20$ к.е., $v_{13} = 20$ к.е. Предполагается, что $H_{k,1} = H_{k,2} = 0,7$; $\gamma_k = \gamma$, $k = 1, 2, \dots, 18$, $\gamma = 1, 2, \dots, 10$; $\mu_k = 1$, $k = 1, 2, \dots, 18$. На каждую линию первого уровня доступа поступают два потока заявок. Один — на передачу трафика с малыми потребностями в ресурсе (для обслуживания заявки требуется 1 к.е.). Другой поток заявок на передачу трафика с большими потребностями в ресурсе (для обслуживания заявки требуется 10 к.е.). Значения интенсивностей: $\lambda_1 = 10$; $\lambda_2 = 0,5$; $\lambda_3 = 15$; $\lambda_4 = 0,75$; $\lambda_5 = 20$; $\lambda_6 = 1$; $\lambda_7 = 25$; $\lambda_8 = 1,25$; $\lambda_9 = 10$; $\lambda_{10} = 0,5$; $\lambda_{11} = 15$; $\lambda_{12} = 0,75$; $\lambda_{13} = 10$; $\lambda_{14} = 0,5$; $\lambda_{15} = 15$; $\lambda_{16} = 0,75$; $\lambda_{17} = 20$; $\lambda_{18} = 1$. На рисунке 2 показана зависимость $\pi_{k,2}$ для 1-8 потоков от изменения γ от 1 до 10. Поскольку для всех потоков среднее время

обслуживания заявки выбрано за единицу, то интенсивности поступления заявок и γ выражены в этих единицах. Видно, что величина $\pi_{k,2}$ слабо зависит от изменения γ . В 4-ом разделе диссертации это свойство будет использовано при построении приближенного алгоритма оценки характеристик.

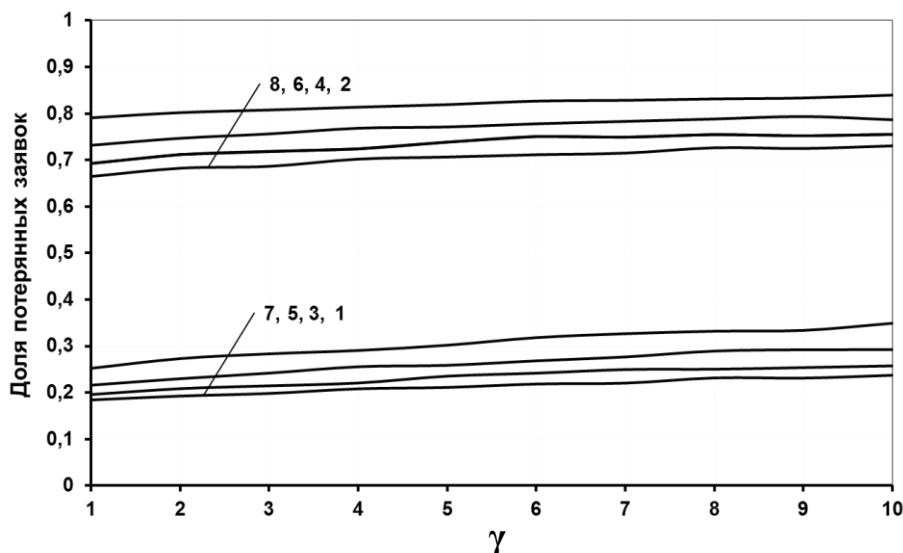


Рисунок 2 - Зависимость доли потерянных первичных и повторных заявок 1 - 8 потоков от γ

В третьем разделе исследованы возможности расчета характеристик построенной модели. Иерархические сети доступа, в которых учитывается влияние повторных вызовов являются сложным объектом для проведения исследований из-за наличия зависимости между последовательными поступлениями первичных и повторных заявок. В общем случае оценка характеристик возможна только с помощью достаточно обоснованных приближенных методов. Одним из них является подход, основанный на замене потока повторных вызовов на пуассоновский с интенсивностью определяемой с помощью специальным образом составленных уравнений. Переход к модели иерархической сети без повторных вызовов позволяет использовать для оценки характеристик рекурсивный алгоритм, основанный на последовательной свертке векторов индивидуальных распределений вероятностей занятости ресурса поступающими потоками трафика. Для отдельного звена компоненты вектора $P_k = (P_k(0), P_k(1), \dots, P_k(c_k b_k))$, находятся из формулы

$$P_k(i) = \begin{cases} \frac{a_k^{i_k}}{i_k!}, & i = i_k b_k, \quad i_k = 0, 1, \dots, c_k; \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $a_k = \lambda_k / \mu_k$ - интенсивность k -го потока в эрлангах, c_k — максимальное число заявок k -го потока, которые могут одновременно находиться на обслуживании.

Даны определения показателей качества обслуживания заявок, сформулированы основные этапы реализации алгоритма, получены необходимые расчетные выражения. Показано, что алгоритм может быть использован для оценки характеристик для любых значений структурных параметров модели.

Характеристики качества обслуживания заявок в иерархических сетях доступа с повторными вызовами могут быть найдены численными методами на основе составления и решения системы уравнений равновесия. Показано, что данный способ можно использовать для иерархических сетей доступа с двухэтапным процессом установления соединения. Приведено математическое описание модели, построен марковский процесс, описывающий изменение ее состояний, сформулированы определения для основных показателей качества обслуживания заявок через значения стационарных вероятностей модели. Получено выражение для системы уравнений равновесия в виде одного соотношения с коэффициентами, являющимися функциями компонент состояния. Найденное представление системы уравнений равновесия позволяет использовать для ее решения итерационные методы. При этом количество неизвестных в системе может исчисляться несколькими миллионами. Этот результат позволяет вести оценку характеристик модели для большинства случаев интересных с точки зрения практических приложений.

Выполненное численное исследование модели показало существенную зависимость значений характеристик от величины настойчивости абонента к установлению соединения. Когда вероятность повторения вызова близка к единице, доля потерянных заявок, а также другие характеристики модели могут возрасти в несколько раз, если сравнить с ситуацией, когда повторные вызовы не учитываются. Отсюда следует, что традиционные методики планирования пропускной способности соединительных линий иерархических сетей доступа, необходимо дополнить результатами, позволяющими учитывать эту особенность формирования входных потоков заявок. Решение сформулированной задачи будет получено в следующем разделе.

В четвертом разделе предложены приближенные алгоритмы оценки характеристик исследуемой модели иерархической сети и рассмотрено их применение для решения задачи планирования канального ресурса соединительных линий сети. Для моделей с учетом влияния повторных вызовов приближенные алгоритмы часто строятся с использованием асимптотических выражений для характеристик, полученных при стремлении интенсивности повторения заявок либо к бесконечности, либо к нулю. В каждом из этих случаев для оценки характеристик исходной модели применяется модель иерархической

сети доступа, но без учета влияния повторных вызовов. Рассмотрим оба этих подхода.

Зафиксируем номер потока k . Устремим значение γ_k к бесконечности. Напомним, что выполняется предположение $H_{k,2} < 1$, $k = 1, 2, \dots, n$. В рассматриваемых предельных условиях поступление повторных заявок не оказывает существенного влияния на процесс занятия каналов. Величину $\pi_{k,1}$ можно рассчитать с помощью частного случая исследуемой модели, когда в ней отсутствуют абоненты, повторяющие вызов. Обозначим для этого частного случая через π_k долю времени занятости ресурса. Значения характеристик получаются из (1), например, для $\pi_{k,2}$ асимптотическое расчетное выражение при $\gamma_k \rightarrow \infty$, $k = 1, 2, \dots, n$ имеет вид:

$$\pi_{k,2} = \frac{\pi_k(1 - H_{k,2} + H_{k,1})}{1 - H_{k,2} + \pi_k H_{k,1}} + o(1).$$

Теперь устремим значение γ_k к нулю, $k = 1, 2, \dots, n$. В этом случае поток повторных вызовов по свойствам приближается к пуассоновскому с интенсивностью x_k , величина которой определяется из решения системы уравнений

$$x_k = \frac{\lambda_k \pi_k H_{k,1}}{1 - \pi_k H_{k,2}}, \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Величина π_k зависит от значений x_k , $k = 1, 2, \dots, n$. При реализации этого подхода необходимо рассчитать характеристики анализируемой модели сети доступа без учета повторных вызовов для некоторой сходящейся последовательности. Сходимость итерационного метода оценивается обычными численными методами. Результаты численного анализа показали, что относительная погрешность рассмотренных асимптотических процедур в большинстве случаев лежит в пределах 10-30 процентов.

Для оценки скорости соединительных линий сети используется следующая рекурсивная процедура. На первом шаге начальные значения скоростей линий, выбираются равными целой части величины проходящего через звено потенциального трафика. Затем методом просеянной нагрузки рассчитываются значения потерь заявок для всех потоков трафика. Находится маршрут движения трафика с максимальными потерями, а на этом маршруте линия с максимальными потерями. Затем ресурс линии увеличивается на некоторое число канальных единиц. Величина добавочного ресурса подбирается опытным путем. Эта процедура выполняется до тех пор, пока максимальные потери заявок

не станут меньше заданного значения. Рассмотрим сеть доступа с топологией, представленной на рисунке 3.

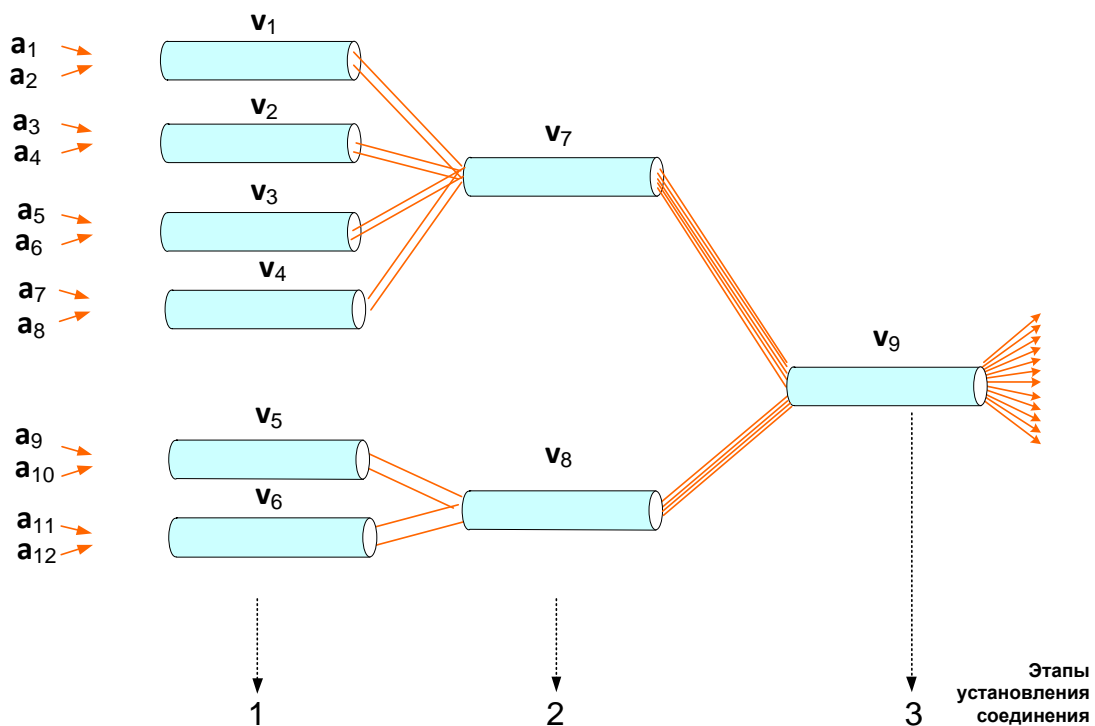


Рисунок 3 - Топология сети доступа, используемая для иллюстрации процедуры оценки скорости звеньев

Интенсивности поступления заявок выражены в эрлангах и определяются из соотношений: $a_1=10$; $a_2=2$; $a_3=15$; $a_4=3$; $a_5=20$; $a_6=10$; $a_7=4$; $a_8=25$; $a_9=5$; $a_{10}=2$; $a_{11}=15$; $a_{12}=3$. Параметры поведения и обслуживания заявок заданы соотношениями $H_{k,1}=H_{k,2}=0,9$; $\gamma_k=10$; $\mu_k=1$, $k=1,2,\dots,12$. На каждую линию первого уровня доступа поступают два потока заявок. Один поток на передачу трафика с малыми потребностями в ресурсе (для обслуживания заявки требуется 1 к.е.). Другой поток заявок на передачу трафика с большими потребностями в ресурсе (для обслуживания заявки требуется 5 к.е.). Значение максимальных потерь $\pi=0,05$. Ресурс линий увеличивался порциями по 5 к.е. в соответствии с результатами анализа значений потерь. Итоговые результаты в канальных единицах получены на 55 шаге: $v_1=45$, $v_2=55$, $v_3=70$, $v_4=80$, $v_5=45$, $v_6=55$, $v_7=180$, $v_8=80$, $v_9=230$. Результаты промежуточного вычисления потерь показаны на рисунке 4.

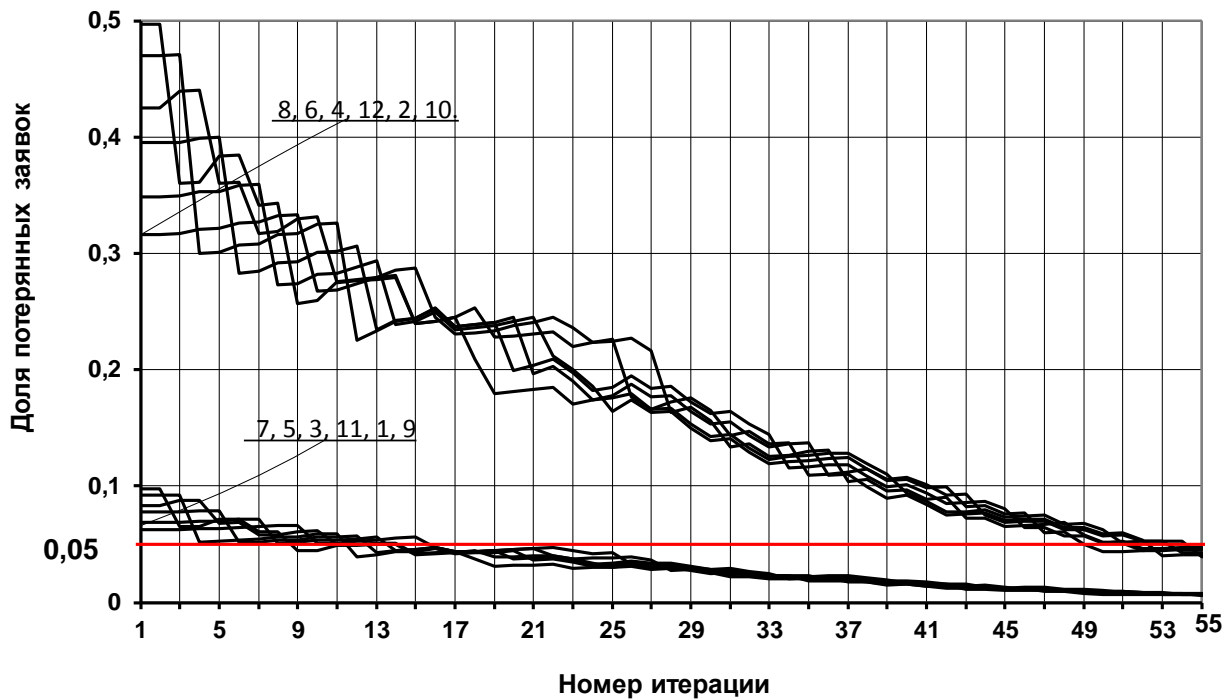


Рисунок 4 - Значения потерь заявок в зависимости от шага расчетного алгоритма

Результаты имитационного моделирования показывают, что погрешность используемой процедуры приемлема для практических приложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационного исследования состоят в следующем.

1. Анализ особенностей эксплуатации мультисервисных иерархических сетей доступа в условиях перегрузки показал необходимость учета влияния поведения пользователя, после отказа в обслуживании, на процесс формирования входного потока заявок. В противном случае могут появиться ошибки в оценке необходимого ресурса передачи линий сети.
2. Для оценки характеристик качества обслуживания абонентов разработана модель иерархической мультисервисной сети доступа, в которой абонент с вероятностью, зависящей от номера неудачной попытки соединения, повторяет вызов через случайный промежуток времени, имеющий экспоненциальное распределение. Интенсивность поступления первичных заявок, требование к ресурсу передачи информации, среднее время

обслуживания, вероятность и интенсивность повторения вызова зависят от вида заказываемого сервиса. Модель можно использовать для оценки ресурса передачи соединительных линий иерархической сети доступа.

3. В рамках построенной модели сформулированы определения для вычисления основных характеристик качества обслуживания абонентов и установлены соотношения между ними. Их можно использовать для косвенной оценки характеристик в тех ситуациях, когда есть трудности в разделении первичных и повторных вызовов.
4. Исследованы возможности точной оценки значений характеристик. В общем случае рекомендуется использовать имитационное моделирование, в частных случаях, когда отсутствуют повторные заявки или рассматривается только одно звено сети значения характеристик могут быть рассчитаны, соответственно, методом свертки или в результате решения системы уравнений равновесия численным методом.
5. Численный анализ модели показал существенную зависимость характеристик от настойчивости абонента к установлению соединения. Когда вероятность повторения вызова близка к единице доля потерянных заявок, а также другие характеристики модели могут в несколько раз превзойти значения аналогичных характеристик, рассчитанных без учета повторных вызовов. Отсюда следует, что традиционные методики планирования пропускной способности линий иерархических сетей доступа, необходимо дополнить результатами, позволяющими учитывать эту особенность формирования входных потоков заявок.
6. Для приближенной оценки характеристик обслуживания заявок в иерархических сетях доступа с учетом влияния повторных вызовов предлагается использовать их асимптотические выражения при стремлении интенсивности повторения заявки к бесконечности или к нулю. Расчетные формулы получены с использованием характеристик иерархической сети без учета повторных вызовов. Их значения могут быть вычислены алгоритмом свертки для произвольной топологии сети. Результаты численного анализа показали, что относительная погрешность оценки характеристик в большинстве случаев составляет 10-30%.
7. Построена рекурсивная процедура оценки требуемой по нагрузке и качеству обслуживанию абонентов скорости соединительных линий мультисервисной иерархической сети доступа с учетом влияния повторных вызовов. Сформулированы: процедура оценки начальных величин скорости передачи линий сети; алгоритм перехода к следующему шагу рекурсии и критерий завершения рекурсивного цикла. Численный анализ показал

приемлемость использования расчетной процедуры для значений входных параметров, представляющих практический интерес.

Список публикаций по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации:

1. Осия, Д.Л. Алгоритм оценки показателей обслуживания заявок в иерархических сетях доступа / С.Н.Степанов, Д.Л.Осия // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2012. — № 7. — С. 193 — 195.
2. Осия, Д.Л. Модель иерархической сети доступа с учётом повторения заблокированных заявок / С.Н.Степанов, Д.Л.Осия // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2013. — № 11. — С. 154 — 157.
3. Осия, Д.Л. Построение и анализ модели передачи данных на линии доступа от конечной группы абонентов / С.Н.Степанов, А.М.Романов, Д.Л.Осия // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2015. — Т. 9. — № 9. — С. 29 — 34.
4. Осия, Д.Л. Асимптотические методы оценки характеристик иерархической сети доступа с учетом повторных вызовов / С.Н.Степанов, Д.Л.Осия // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2015. — Т.9. — № 3. — С. 44 — 49.

В других изданиях:

5. Осия, Д.Л. Математическая модель иерархической мультисервисной сети доступа / С.Н.Степанов, Д.Л.Осия // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (МФИ–2012). — М.: МТУСИ. — 2012. — С. 25 — 26.
6. Осия, Д.Л. Особенности использования иерархических сетей для описания функционирования сетей доступа / Д.Л.Осия // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (МФИ–2012). — М.: МТУСИ. — 2012. — С.27 — 28.
7. Осия, Д.Л. Особенности построения моделей мультисервисных сетей доступа / Д.Л.Осия // Труды международной конференции, посвященной дню Радио (выпуск LXVIII). — М.: РНТОРЭС и А.С. Попова. — 2013. — С. 84 — 86.

8. Осия, Д.Л. Исследование иерархических сетей доступа с учетом влияния поведения абонента, получившего отказ в обслуживании / Д.Л.Осия // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (МФИ–2013). — М.: МТУСИ. — 2013. — С.37 — 38.
9. Осия, Д.Л. Модель иерархической сети доступа с повторными вызовами / Д.Л.Осия // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть II. — Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ. — 2015. — С. 223 — 225.
10. Осия, Д.Л. Оценка скорости звеньев иерархической сети доступа с учетом повторения заблокированной заявки / Д.Л.Осия // Естественные и технические науки. — 2017. — №1. — С. 119 — 124.
11. Осия, Д.Л. Оценка характеристик звена иерархической сети с повторением заблокированной заявки / Д.Л.Осия // Естественные и технические науки. — 2017. — №1. — С. 125 — 130.
12. Осия, Д.Л. Особенности планирования ресурса звеньев иерархической мультисервисной сети доступа / Д.Л.Осия // Сборник материалов XXXIV Международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий». — Новосибирск: Издательство ЦРНС. — 2017. — С. 80 — 86.
13. Осия, Д.Л. Структура и основные свойства модели мультисервисной иерархической сети доступа / Д.Л.Осия // Сборник материалов I Международной научно-практической конференции «Высокие интеллектуальные технологии в науке и образовании». — СПб.: ООО «Стратегия Будущего». — 2017. — Т.1. — С. 105 — 109.
14. Осия, Д.Л. Соотношения между характеристиками иерархической сети доступа с учетом влияния повторных вызовов / Д.Л.Осия // Труды XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». — М.: ООО ИД Медиа Пабилшер. — 2017. — С. 233 — 235.
15. Осия, Д.Л. Оценка характеристик иерархической сети доступа в условиях большой загрузки / Д.Л.Осия // Труды международной конференции, посвященной дню Радио (выпуск LXXII). — М.: РНТОРЭС и А.С. Попова. — 2017. — С. 62 — 63.