

Некоммерческое акционерное общество  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Телекоммуникационные системы»  
Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой  
к.т.н., Шагиахметов Д.Р.  
(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ  
пояснительная записка

на тему: «Оценка параметров качества в мультисервисных сетях  
доступа»

Магистрант <u>Алиев А.Х.</u> (Ф.И.О.)	_____ (подпись)	группа <u>НПМ-12-01</u>
Руководитель <u>к.т.н. профессор</u> (ученая степень, звание)	<u>Казиева Г.С.</u> (подпись)	<u>Казиева Г.С.</u> (Ф.И.О.)
Рецензент _____ (ученая степень, звание)	_____ (подпись)	_____ (Ф.И.О.)
Консультант по ВТ <u>к.х.н., ст.преп.</u> (ученая степень, звание)	<u>Данько Е.Т.</u> (подпись)	<u>Данько Е.Т.</u> (Ф.И.О.)
Нормоконтроль <u>ст.преп</u> (ученая степень, звание)	_____ (подпись)	<u>Кудинова В.С.</u> (Ф.И.О.)

Алматы, 2014

Некоммерческое акционерное общество  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет «Радиотехники, электроники и связи»  
Специальность 6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»  
Кафедра «Телекоммуникационных систем»

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Алиеву А.Х.  
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Оценка параметров качества в мультисервисных сетях доступа»

утверждена Ученым советом университета №     от «     »     .    

Срок сдачи законченной диссертации «     »     .    

Цель исследования: оценка влияния изменения параметров работы мультисервисной сети на повышение качества данной сети.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Информационный обзор вопросов качества (QoS) в мультисервисных сетях
2. Исследования особенностей работы мультисервисной сети
3. 3. Анализ модели звена мультисервисной сети с учетом поведения пользователя и разработка алгоритмов оценки характеристик пропускной способности
4. Методы оценки показателей пропускной способности
5. Расчет полезной пропускной способности сети

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Эталонная модель сквозного качества обслуживания

Звено мультисервисной сети связи

Схема функционирования однозвенной модели мультисервисной сети с повторными вызовами и одним потоком широкополосной нагрузки

Работа джиттер буфера

Схема звонка с софтфона на стационарный телефон

Рекомендуемая основная литература

1. Сычев К. И. Многокритериальное проектирование мультисервисных сетей связи/ К. И. Сычев
2. Олвейн Вивек. Структура и реализация современной технологии MPLS.: Пер. с англ. — Издательский дом «Вильямс», 2004. — 480 с.

3. Навойцев В. В. Построение мультисервисных сетей связи на основе технологии локальных и вычислительных сетей. Известия Петербургского университета путей сообщения. — №2 —2008. — с. 119-128.

**Г Р А Ф И К**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Информационный обзор вопросов качества (QoS) в мультисервисных сетях Концепция развития NGN	10.01.2013	
Влияния изменения параметров сети в процессе установления соединения Этапы формирования канального ресурса	15.09.2013	
Структура современной мультисервисной сети	09.01.2014	
Анализ модели звена мультисервисной сети с учетом поведения пользователя и разработка алгоритмов оценки характеристик пропускной способности	05.02.2014	
Режимы работ OPTIX OSN 1500	23.04.2014	
Расчет полезной пропускной способности сети, расчет степени использования канала	03.05.2014	

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ ( Коньшин С.В. )  
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации \_\_\_\_\_ ( Казиева Г.С. )  
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению  
магистрант \_\_\_\_\_ ( Алиев А )  
(подпись) (Ф.И.О.)

## **Аңдатпа**

Берілген магистрлік диссертацияда мультисервистік желілердің тиімділігін ғылыми тұрғыдан зерртеу бойынша бірқатар сұрақтар қарастырылған. Диссертацияда желі параметрлерінің өзгеруі QoS сапасына әсері бағаланған, сондай ақ желінің негізгі көрсеткіштеріне аналитикалық шолу жасалған. Мультисервистік желілерде түрлі тарату параметрлеріне байланысты таратылатын хабардың сапасы бойынша тәжірбиелік зерттеулер көрсетілген.

## **Аннотация**

В данной магистерской работе рассматривается ряд вопросов связанных с научным исследованием эффективности работы мультисервисных сетей. Проведена оценка влияния изменения параметров сети на качество QoS. Представлен аналитический обзор основных качественных показателей сети. Показаны экспериментальные исследования по качеству передаваемой информации в мультисервисных сетях при различных параметрах передачи.

## **Annotation**

In this master's work the row of questions is examined related to scientific research of efficiency of multiservice networks. Estimation is conducted of influence of change of quality parameters on the quality of QoS. The analytical review is presented basic quality indexes of network. Experimental researches are shown in quality of transferable information at the different parameters of transmission in multiservice networks.

## Содержание

Введение	8
1 Основная часть	9
1.1 Информационный обзор вопросов качества (QoS) в мультисервисных сетях	9
1.1.1 Качество функционирования сети передачи данных и особенности перехода к мультисервисным сетям	10
1.1.2 Сквозная модель QoS для мультимедийного трафика	12
1.2 Исследование услуг мультисервисной сети	15
1.2.1 Изменение параметров сети на показатели качества функционирования сети QoS	17
1.3 Влияния изменения параметров сети в процессе установления соединения	19
1.4 Этапы формирования канального ресурса	21
1.4.1 Анализ состояния основных взаимоотношений оператора и пользователя после получения отказа в обслуживании	22
1.5 Некоторые тенденции исследования элементов мультисервисных сетей и интеграции новых элементов в существующую сеть	23
1.5.1 Структура современной мультисервисной сети	24
1.6 Анализ модели звена мультисервисной сети с учетом поведения пользователя и разработка алгоритмов оценки характеристик пропускной способности	26
1.6.1 Описание однозвенной модели мультисервисной сети с повторными вызовами. Схема модели и основные характеристики обслуживания сообщений.	26
1.7 Методы оценки показателей пропускной способности	26
1.7.1 Общие подходы	26
1.7.3 Математическое описание модели	29
1.7.4 Определение характеристик функционирования однозвенной модели мультисервисной сети с повторными вызовами и одним потоком широкополосной нагрузки	32
1.8 Примеры реализации расчетного алгоритма	33
2 Экспериментальная часть	39
2.1 Характеристика исследуемой системы	39
2.2 Характеристика исследуемых параметров	42
2.3 Описание программного обеспечения использованного в исследовании	46
2.4 Режимы работ OPTIX OSN 1500	50
3 Расчетная часть	55
3.1 Расчет полезной пропускной способности сети	55
3.2 Расчет степени использования канала	56

3.3 Расчет степени занятости канала связи	58
3.4 Расчет времени передачи пакета	62
3.5 Расчет времени запаздывания	63
3.6 Расчет оптимизации длины пакета при пакетной передаче	64
Заключение	65
Список литературы	67

## **Введение**

В мультисервисных сетях доставка видео и голоса должна осуществляться в реальном времени — с необходимостью приоритетности в случае перегрузок транспортной сети. Однако сетевая индустрия никогда не ориентировалась на сети реального времени, данные доставлялись в соответствии с возможностями сети в конкретный промежуток времени. Когда речь заходит о реализации мультисервисных сетей, обычно подлежат рассмотрению четыре технических вопроса: пропускная способность, задержка, рассинхронизация, управление.

Растущий спрос на новые виды широкополосных передач данных, потребность в доступе к Интернету в условиях жесткой конкуренции вынуждает провайдеров расширять диапазон услуг, снижать расходы на инфраструктуру и прочее. Таким образом, нужна платформа, способная предложить комплексное решение, позволяющее предоставлять широкий спектр услуг: ATM, FrameRelay, Internet, IP, передачи голоса и видеосигнала с гарантированным качеством обслуживания (QoS) и максимальной готовностью. При этом клиент становится абонентом недорогих и надежных служб от одного поставщика, получает высокоскоростной доступ к Интернету, имеет возможность вносить изменения в набор услуг и служб и оплачивает только один счет.

Промежуток времени QoS ни в коем случае нельзя считать единственным условием эффективной поддержки межпользовательской связи в реальном времени. Наличие QoS в сети обеспечивает доставку аудио-видеоинформации и данных. Необходимо, однако, обеспечить также совместимость с существующими инфраструктурами для передачи голоса и видеоинформации — с коммутируемыми сетями общего доступа учрежденческими АТС (РВХ).

В будущем сети для передачи данных сольются с телефонными сетями и различия между ними исчезнут. Это слияние произойдет, когда ATM действительно станет повсеместным. При этом АТС ничем не будет отличаться от сетевого коммутатора ATM. Подавляющее большинство коммутаторов сможет обрабатывать все типы данных и коммутировать любой трафик. Сегодня поставщики и пользователи готовятся к этому будущему, и очертания сети нового типа со временем будут становиться все более четкими.

В данной работе рассматриваются наиболее общие вопросы построения и управления сетью на основе требований к качеству сервиса (QoS). Причем все это в равной мере относится и к корпоративным сетям, и к Интернету — независимо от выбранной сетевой технологии (ATM, FrameRelay или SONET). Целью данной работы является оценка влияния изменения параметров работы мультисервисной сети на повышение качества данной сети.



## 1 Основная часть

### 1.1 Информационный обзор вопросов качества (QoS) в мультисервисных сетях

По мнению экспертов, QoS может стать «водоразделом» между поставщиками сервисных служб. Однако соглашение по ключевым составляющим и понятиям, относящимся к сервисным службам, — важная предпосылка для формирования стандартизованных сервисных предложений — все еще не достигнуто.

Например, сам термин QoS часто неправильно используется даже людьми, профессионально занимающимися сетевыми технологиями, то есть QoS рекламируется как набор функций, определяющих класс обслуживания (class of service, CoS).

Определение -термин «класс обслуживания»- показывает более или менее стандартизованный набор функций, характеризующих определенную службу (service) или набор служб (service package). «Качество сервиса» (quality of service, QoS) — более точный термин, в основном используемый для определения набора измеряемых параметров сервиса. В IP-сети QoS может представляться, например, производительностью передачи IP-пакетов через одну или большее число сетей.

Необходимо определение небольшого набора измеряемых параметров, характеризующих качество сервиса и возможности поставщиков сетевых сервисов — сервис-провайдеров. Рассмотрим эти параметры:

- готовность предоставляемого сервиса (service availability). Определяет надежность соединений пользователей с сервис-провайдером;

- задержка (delay). Характеризует интервал между приемом и передачей пакетов;

- вариация, или флуктуация, задержки (jitter). Параметр, описывающий возможные отклонения от времени задержки при передаче пакетов;

- производительность, или пропускная способность (through put) — скорость передачи пакетов в сети; выделяют среднюю (average rate) и пиковую (peak rate) скорости;

- скорость потери пакетов (packet loss rate) — максимальная скорость, на которой пакеты могут быть отвергнуты во время передачи по сети; потеря пакетов обычно происходит вследствие перегрузок сети (congestion).

Таким образом, важной частью будущих сетей должны стать механизмы повышения качества сервиса сети. Задача заключается в том, чтобы обеспечить на всем протяжении сети, независимо от ее масштабов и используемых протоколов, гарантированную доставку данных в рамках определенных фиксированных параметров передачи. Такими параметрами являются готовность предоставляемого сервиса, задержка, вариация задержки, пропускная способность и скорость потери пакетов (или ячеек в случае АТМ-сетей).

Исследования особенностей работы мультисервисной сети.

Существует несколько законов формирования изменяющегося трафика: Uniform, Exponential, Normal, Log Normal, Gamma, Erlang, Weibull. Объем передаваемой информации может быть установлен в битах, байтах, килобитах, килобайтах, мегабитах, мегабайтах, гигабитах или гигабайтах. Мною были рассмотрены законы распределения объемов передаваемых сообщений: Constant, Exponential, Uniform, Normal, Weibull в сочетании с законами распределения интенсивностей Constant, Exponential, Uniform, Normal, Lognormal, Gamma, Erlang, Weibull.

1.1.1 Качество функционирования сети передачи данных и особенности перехода к мультисервисным сетям

При проектировании мультисервисной сети стараются найти такой вариант построения транспортной сети, который бы удовлетворял необходимую потребность в связи при наименьших общих затратах на построение, обслуживание и последующее развитие сети.

Проектирование магистрального и распределительного уровня может представлять сложную задачу. Это вызвано несколькими факторами: построение мультисервисной сети поверх прошлых технических решений (оптимизируют старую сеть для поддержания мультисервисного трафика), выбор оптимальной технологии построение сети с «нуля». Также при создании и эксплуатации любой сети связи величины капитальных затрат и эксплуатационных расходов должны быть минимальны при условии, что сеть выполняет с заданными качественными показателями возложенные на нее функции по передаче и распределению информационных потоков, поступающих от потребителей [1].

Качество функционирования сети передачи данных характеризуется большим количеством технических параметров, которые условно можно разделить на параметры качества передачи сигнала и параметры качества услуги. К параметрам качества передачи сигнала относятся, прежде всего, такие показатели как: latency (задержка), jitter (дрожание) и packet loss (потеря пакетов). Параметры качества услуги могут быть уникальны для различных услуг. Такими параметрами могут быть, например, количество каналов эфирного видео доступных в сети и качество этих каналов.

Мультисервисная сеть характеризуется большим количеством разнообразных критериев, определяющих ее оптимальность таких как: параметра качества функционирования сети (задержка, дрожание, потеря пакетов и другие), стоимостные параметры (капитальные затраты, эксплуатационные расходы).

Это приводит к возникновению многокритериальной неопределенности, что, в свою очередь, обуславливает невозможность корректного решения задачи оптимального проектирования мультисервисной сети без учета интересов сторон, заинтересованных в ее функционировании. В качественном функционировании мультисервисной сети заинтересованы различные группы

лиц. В первую очередь, это оператор сети, который инвестирует средства в строительство сети и несет расходы по поддержанию ее работоспособности, и потребители услуг связи. А значит, при проектировании и использовании современной мультисервисной сети сталкиваются интересы различных групп потребителей и операторов услуг [1].

Для качественного проектирования мультисервисной сети необходим учет всех требований, предъявляемых к сети. Данную задачу можно решить с помощью моделирования сети, что позволяет заранее спланировать, определить возможные будущие проблемы эксплуатации и развития, протестировать правильность и возможности работы сетевого оборудования для разных ситуаций функционирования, проводить изучение новых технологий и механизмов, а самое главное благодаря средствам имитационного моделирования происходит значительная экономия средств [4].

Что же касается перехода к мультисервисным сетям, то сегодня еще нет технологий, которые бы полностью удовлетворяли запросам перспективной мультисервисной сети. Однако технологические решения, способные стать ее основой, существуют уже сейчас, т. е. можно построить прообраз мультисервисной сети, который со временем сможет легко эволюционировать к мультисервисной сети будущего [5].

Построение сетей, реализующих концепцию NGN, сталкивается с рядом сложностей.

Первая из них - это обеспечение надежности сети. В настоящее время проблема надежности узлов все еще не решена. Ближайшая цель - достижение значения коэффициента готовности «пять девяток».

Вторая проблема, требующая решения - поддержка требуемого качества услуг, напрямую зависящего от предоставления каждому типу приложения требуемого качества обслуживания (Quality of Service, QoS).

Под качеством обслуживания подразумевается "суммарный эффект рабочих характеристик обслуживания, который определяет степень удовлетворенности пользователя этой службой" [3,6].

Модели QoS должны учитывать возможность обеспечения качества обслуживания из конца в конец, определять требования к классам качества обслуживания, учитывать возможности мониторинга и управления сетями, особенности предоставляемых услуг и биллинг. Попытка систематизировать требования к моделям QoS представлена в таблице 1.

В последнее время внимание разработчиков и производителей телекоммуникационного оборудования все больше обращается на особенности предоставляемых услуг, предъявляющих свои требования к мультисервисной сети с учетом поведения пользователя.

Таблица 1 – Требования к моделям QoS

Разработчик модели QoS	QoS из конца в конец	Классы QoS	Биллинг	Мониторинг и управление	Особенности предоставляемых услуг
<b>ITU-T</b>	Да	Да	Нет	Да	Да
<b>ETSI</b>	Да	Да	Нет	Да	Да
<b>IETF</b>	Да	Нет	Нет	Да	Нет
<b>MMCF</b>	Да	Да	Нет	Да	Да
<b>EURESCOM</b>	Да	Нет	Нет	Да	Нет

Кроме задач по увеличению производительности и надежности сетей, поставщики сетевых сервисов стремятся к предоставлению пользователю «сквозного» (end-to-end), гарантируемого качества сервиса для передачи различных типов данных, включая видео, мультимедиа и голос.

#### 1.1.2 Сквозная модель QoS для мультимедийного трафика

Сквозная модель из конца в конец (end-to-end или e2e) была предложена ITU-T. Эта модель ориентирована на определение QoS в наиболее важной с точки зрения конечного пользователя степени. Эталонная модель сквозного QoS обычно содержит одну или более взаимодействующих сетей, каждая из которых потенциально имеет ряд узлов (рисунок 1.1). Каждая из этих взаимодействующих сетей может вносить свои задержку, потери или ошибки вследствие процедур мультиплексирования, коммутации или передачи, что отрицательно влияет на результирующее значение показателей QoS.

Кроме того, статистические колебания поступающего трафика могут приводить к потерям вследствие переполнения буферов на каналах, соединяющих сетевые узлы, испытывающие перегрузку.

Рекомендация 1.356 [13] специфицирует QoS по наихудшему варианту соединения сетей и устройств. Таким образом, до тех пор, пока характеристики соединений между сетями и устройствами остаются в рамках этих границ, пользователи получают надлежащий согласованный уровень QoS.

Основными показателями QoS являются, как уже отмечалось выше, задержка, вариация задержки (джиттер) и потери пакетов. Очевидно, чем большее число узлов пересекает на своем пути пакет, тем значительно ухудшается качество. Причем, если для приложений, не чувствительных к задержкам сети, характеристики QoS не являются критичными, то для мультимедийных приложений, в частности, IP-телефонии, несоответствие параметров качества обслуживания может привести к невозможности предоставления услуги вообще.

Рассмотрим в качестве примера передачу речи в пакетной форме (услуга IP-телефонии).

На представленной на рисунке 1.1 эталонной модели сквозного качества обслуживания, влияние на качество обслуживания речевого трафика оказывают:

- оконечные устройства на обоих концах могут влиять на четкость передачи речи из-за качества громкоговорителя и микрофона, а также возможности некомпенсированного акустического эха, генерируемого между громкоговорителем и микрофоном; кодеки VoIP также влияют на четкость передачи речи, механизмы возможного подавления пауз, генератор шума и тип кодирования;

- элементы сети (узлы, каналы) влияют на качество передачи речи из-за задержек, джиттера и потерь пакетов.

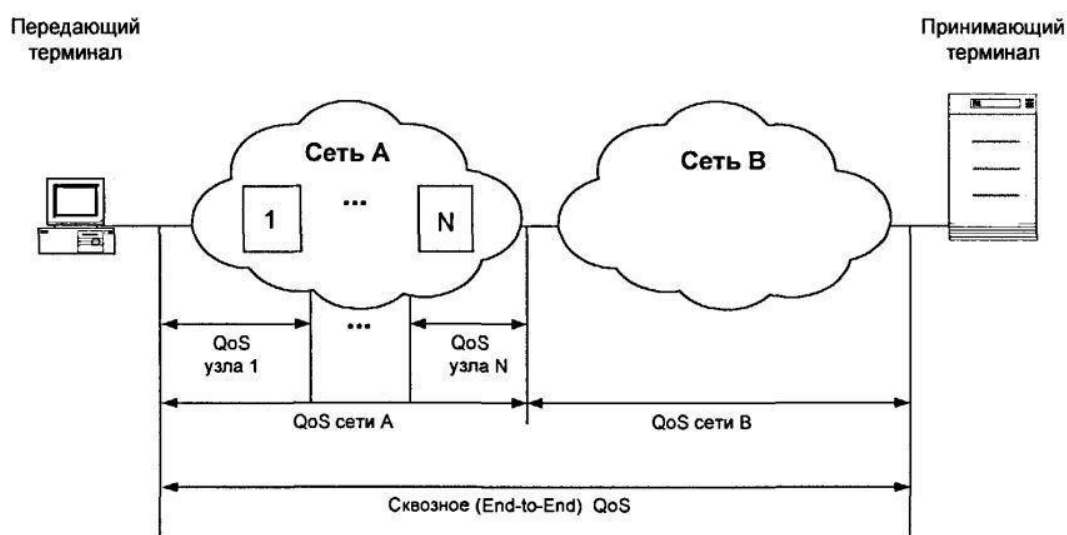


Рисунок 1.1 - Эталонная модель сквозного качества обслуживания

Суммарная (межконцевая или end-to-end) задержка - это время, требуемое для передачи речевого сигнала от говорящего к слушающему. Суммарная задержка определяется как сумма задержки оконечного устройства и сетевой задержки.

Задержки оконечного устройства включают:

- задержку на обработку фрагмента речевого сигнала на передающей и принимающей стороне, т.е. время, требуемое для кодирования и декодирования сигнала, и в основном зависят от алгоритма работы кодека;
- задержку джиттер-буфера - задержки на принимающей стороне для компенсации разброса во временах прибытия речевые пакеты (джиттера);
- задержку формирования пакетов, зависящую от выбранной схемы формирования и определяется алгоритмической задержкой кодека, периодом формирования и количеством речевых кадров в IP-пакете.

Сетевые задержки определяются ожиданием в очередях и задержками маршрутизации в маршрутизаторах IP.

На рисунке 1.2 представлена классификация показателей качества обслуживания с учетом влияния конечных устройств и элементов сети.

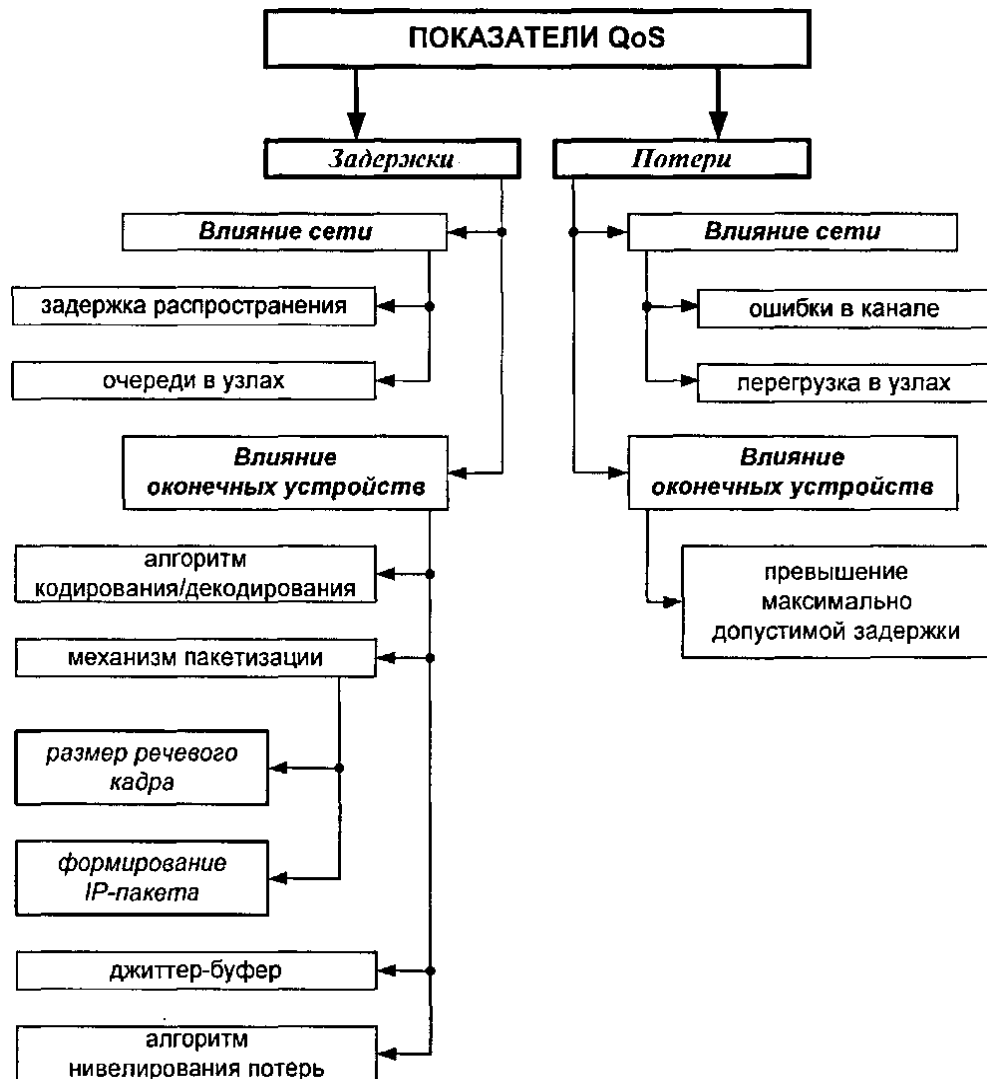


Рисунок 1.2 - Показатели QoS, учитываемые при передаче речевого трафика и механизмы их формирования

## 1.2 Исследование услуг мультисервисной сети

Исследование пропускной способности мультисервисной сети начинается с одного звена, как основной составляющей сети. В дальнейшем в диссертации будет исследоваться пропускная способность одного элемента мультисервисной сети, то есть одного звена, в котором присутствует разнородные потоки нагрузки, требующие различное количество передаточного ресурса (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Звено мультисервисной сети связи

Здесь следует различать три категории нагрузки:

- передача информации в режиме реального времени (передача аудио- или видеoinформации, телеконференция, видеofон и др.);
- передача информации с возможностью задержки (передача текста и картинок, поддержка и пополнение баз данных, передача файлов и больших документов и др.);
- передача информации из базы данных для немедленного воспроизведения (видео по требованию).

Оценка пропускной способности и проектирование телекоммуникационных сетей, использующих различные технологии передачи, зависят от параметров источников нагрузки. Поскольку мультисервисные сети только начинают находить свое применение, то для некоторых приложений характеристика создаваемой нагрузки пока ещё не получила окончательного выражения. Очевидной на данный момент является необходимость выяснения требований к возможным задержкам и полосе пропускания в процессе передачи.

Рассмотрим более детально особенности передачи информации для каждой из категорий, приведённых в этом перечне. Передача речи представляет собой сигнал с переменной интенсивностью поступления битов. Периоды активности источника перемежаются паузами, когда никаких информационных битов не поступает. Имеются технические возможности уменьшения полосы частот, требуемой для передачи речи, за счёт

использования пауз. При этом полоса частот уменьшается примерно в 10 раз с 84,8 Кбит/с (G.711) до 6-8 Кбит/с (VB-AMR). Сигналы с низкой интенсивностью обычно испытывают большую, чем обычно, задержку при её представлении в пакетном виде.

По этой причине при передаче речевых сообщений имеет смысл в одной ячейке передавать информацию, относящуюся к нескольким одновременно ведущимся разговорам.

Передача видеоизображений может происходить с постоянной интенсивностью (она достигается наличием специального буфера) или с переменной. В первом случае появляется систематическая задержка, с которой следует бороться с помощью более утончённого алгоритма управления буфером. Во втором случае отрицательным моментом является сильная зависимость интенсивности потока от содержания видеоизображения, затрудняющая оценку размеров буфера мультимедиа.

В настоящее время для передачи подвижного изображения применяются три основных алгоритма цифровой обработки: MPEG, DVI и H.26x. Эти алгоритмы обеспечивают генерацию битового потока интенсивностью 1,2-40 Мбит/с - MPEG, 1,2-1,8 Мбит/с - DVI, 0,064-2,048 Мбит/с - H.26x.

Существующие реализации H.26x-кодеков показывают, что кодирование, обеспечивающее выходной поток интенсивностью 64 Кбит/с, является минимально приемлемым для передачи статичных сцен (например, «говорящая голова»). Кодирование, обеспеченное каналом передачи с пропускной способностью 384 Кбит/с, дает изображение вполне приемлемое для бизнес-качества. Естественно, что передача других компонент мультимедиа данных конференции и служебной информации также требует определенных резервов пропускной способности канала.

Особенностью передачи данных с допустимостью некоторой задержки является возможность адаптации интенсивности потока к имеющейся свободной передаточной среде. Это позволяет оптимизировать её использование. Передаваемые объёмы информации сильно зависят от характера документа. Если сравнить имеющиеся здесь требования к задержке с теми, что были сформулированы для потоков из первых двух категорий, то можно сказать, что они занимают промежуточное положение.

Для качественного воспроизведения абсолютная задержка не столь важна, если она не превышает некоторой разумной величины. Большое значение имеет отсутствие согласования последовательности передачи ячеек во времени, вызываемое особенностями их индивидуального движения по сети - джиттер. Для решения этой проблемы важны размеры промежуточного буфера, устанавливаемого максимально близко к пользователю.

Одним из важных статистических свойств нагрузки, создаваемой современными приложениями, является наличие зависимости между отдельными её частями, которая не исчезает при изменении шкалы времени в сторону укрупнения, как это происходит с традиционными случайными процессами, используемыми для описания нагрузки в теории телетрафика.



Так, например, для пуассоновского процесса соответствующая корреляция всегда равна нулю, а для марковского процесса с конечным числом состояний - экспоненциально убывает к нулю [5,25,33].

Присутствие этой зависимости ухудшает прогнозируемые характеристики процесса передачи соответствующей нагрузки, в частности, блокировку и задержку. Становится не совсем ясным процесс измерения входных параметров. Необходимо, однако, отметить, что данное явление находится только в начальной стадии исследования, поэтому делать какие-то окончательные выводы ещё рано. По всей видимости, упомянутое свойство характерно для нагрузки, создаваемой относительно небольшим числом активных источников, работающих на нескольких уровнях иерархии времени. Если число источников велико и среди них нет доминирующих групп, то допустимо использование классических предположений теории телетрафика [2,5,13].

### 1.2.1 Изменение параметров сети на показатели качества функционирования сети QoS

По определению NGN - это сеть, поддерживающая механизмы качества обслуживания QoS. Соответствующие элементы устанавливаются в плоскости управления, а контролируемые параметры (задержка, джиттер, потеря пакетов) определяются применительно к транспортной сети. Ниже на примере работы мобильной сети доступа 3-го поколения UTRAN рассматриваются передача трафика от различных абонентов, когда пакеты становятся в очередь на передачу

Сети, которые обеспечивают передачу данных с помощью пакетов, обязательно должны обеспечивать качество обслуживания. Пакетная передача дает большое преимущество: передачу нескольких потоков данных в одном канале связи. Сеть становится универсальным средством передачи мультимедийной информации. Однако это преимущество связано с новыми проблемами, поскольку заставляет сталкиваться с джиттером — неравномерностью задержек в канале связи.

При передаче трафика от различных абонентов возникает ситуация, когда пакеты становятся в очередь на передачу. В таком случае используется буферная память на передаче и приеме. Буфер используется для управления входящими пакетами и их транспортировкой по сети. Данные временно хранятся, пока они попадут в «узкий» канал связи для передачи.

Предполагается, что этот джиттер подчиняется распределению Гаусса, и, как таковой, никогда не может достичь своего максимального значения в заданный отрезок времени. Таким образом, он характеризуется статистическими величинами: средним значением и среднеквадратическим отклонением [15,17].

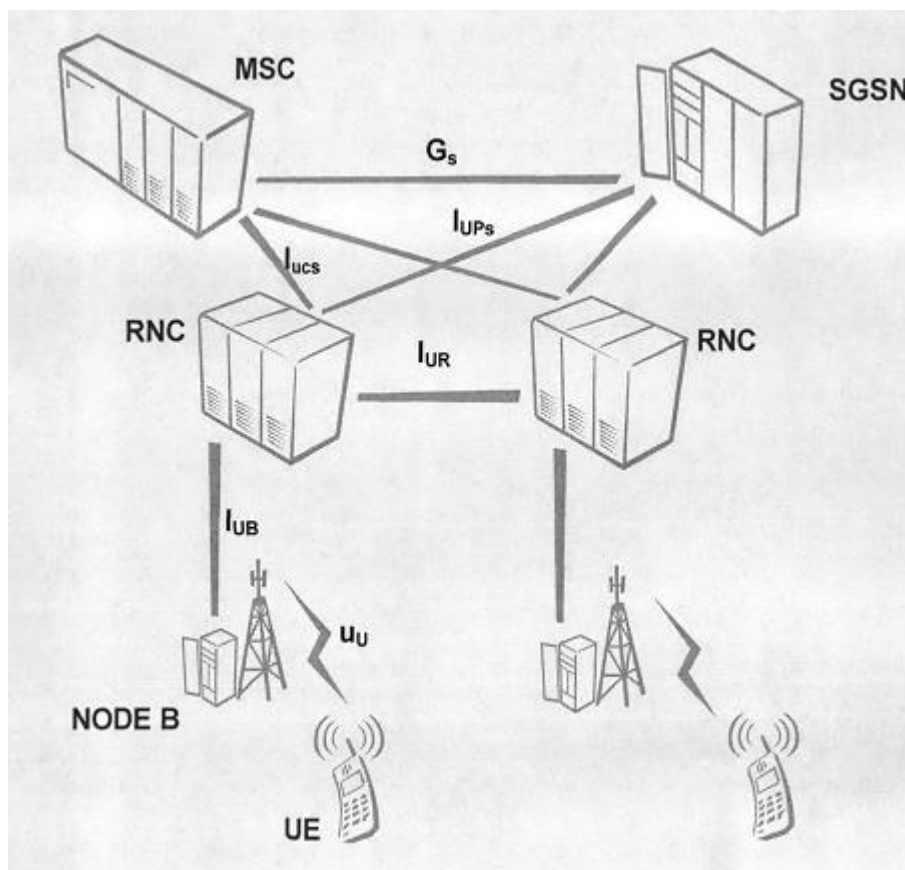


Рисунок 1.4 - Мобильная сеть доступа 3-го поколения (UTRAN)

Если по каналу глобальной сети ведется лишь один телефонный разговор, джиттер равен нулю, поскольку все речевые пакеты принимаются последовательно, один за другим. Добавление новых разговоров или трафика других мультимедиа-приложений приводит к появлению джиттера. Если не принять меры по управлению трафиком или не задействовать надлежащие схемы установления приоритетов, джиттер может существенно понизить качество телефонной связи.

Чтобы это качество при передаче не страдало, на приемном конце необходим буфер, сглаживающий неравномерность доставки речевых пакетов. После накопления в буфере достаточного числа пакетов они декомпрессируются и вновь преобразуются в аналоговый телефонный сигнал. Однако нельзя ждать бесконечно долго прибытия пакетов в буфер, поскольку требуется поддерживать плавное течение разговора в масштабе реального времени. В каналах IP (т. е. UDP) допустимый джиттер составляет от 50 до 150 мс. В идеале для оптимизации качества речи при различных параметрах сети размер буфера должен меняться динамически.

При внедрении пакетных технологий телефонной связи главным критерием для заказчика является допустимое для него качество связи. Его поддержка осуществляется путем нахождения баланса между задержками и потерями пакетов. Таким образом, можно выделить три основных показателя качества обслуживания в мультисервисной сети NGN (QoS):

- задержка;
- джиттер;
- потери пакетов.

Для различного вида информации передаваемой по сети критичны различные параметры качества.

Для голоса наиболее критичным параметром является задержка и возможна некоторая потеря пакетов данных.

Для передачи данных необходима передача всех пакетов без потерь, но требование к задержке не столь принципиально.

Передача видео предъявляет строгие требования, как к задержке, так и к потере пакетов. Проблема джиттера решается с помощью буферизации данных на передаче и приеме. Однако большое значение джиттера возможно и приводит к ухудшению качества передачи голоса и видео.

Кроме того, необходимо упомянуть о понятии качества обслуживания (подразумевая под ним тот уровень обслуживания, который сеть может предоставить); выбранное качество обслуживания (имея в виду то качество обслуживания, которое затребовал пользователь сети). Уровень обслуживания (по-английски Grade of Service с часто используемой аббревиатурой GoS) определяется как ряд инженерных переменных, необходимых для оценки достаточности того или иного ресурса для выполнения сетью связи требуемых функций.

Необходимо отметить, что характеристики QoS и GoS могут совпадать, а могут и не совпадать. Характеристики качества обслуживания абонента всегда можно измерять, в то же время имеется ряд инженерных переменных, которые измерять нельзя, и они непосредственно определяются при проведении моделирования той или иной ситуации на сети. Уровень обслуживания задан пользователем сети (оператором сети) и заданные параметры необходимо обеспечить. Вопросы, связанные с характеристиками QoS и GoS в сетях NGN, рассматриваются в рекомендациях ITU-T Y.1541, Y.1542. Указанные выше показатели качества не будут исследоваться в диссертации.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что мультисервисная сеть должна идентифицировать различные виды трафика (голос, видео, данные) и предоставлять различное качество обслуживания. На данный момент существует две основные технологии передачи данных, обеспечивающие показатели качества обслуживания: ATM и IP MPLS. Ярким примером реализации сетей NGN является мобильная сеть 3-го поколения UMTS [9].

### **1.3 Влияния изменения параметров сети в процессе установления соединения**

В соответствии с постановкой задачи объектом исследования является мультисервисная сеть связи, на которой реализованы пакетные технологии

передачи информации, позволяющие поддерживать значения показателей QoS, необходимые для качественной передачи разнородной информации, в том числе и речевой.

При проведении дальнейшего анализа функционирования сети и построении соответствующей математической модели будем рассматривать процесс передачи информационных потоков на уровне соединения.

Главной характеристикой работающей сети будем считать ее готовность к обслуживанию поступившей заявки на предоставление телекоммуникационных ресурсов, т.е. выделение канальной емкости, выраженной в битах, для передачи поступившего сообщения. Величина емкости зависит от типа сообщения и может меняться в достаточно широких пределах.

При формализованном представлении топологии сети основным структурным параметром, задающим пропускную способность цифровых линий, является скорость передачи, выраженная в основных передаточных единицах (basic bandwidth unit).

Исходя из известных теоретических результатов и практических рекомендаций [1], для формального вычисления этой характеристики можно использовать следующую схему, решающую поставленную задачу в общей постановке.

Допустим, в сети имеется некоторое число  $J$  цифровых линий. Будем предполагать, что имеющиеся линии занумерованы произвольным образом, линия с номером  $j$  имеет фиксированную скорость передачи  $K_j$  бит в секунду.

Исходя из общей постановки задачи, будем считать, что на сети обслуживаются  $p$  потоков сообщений, которые следуют от узла-источника к узлу-получателю по какой-то фиксированной для данного потока цепочке соединительных линий. Предположим, что для обслуживания сообщения  $s$ -го потока требуется канальный ресурс  $D_s$  бит в секунду на каждой из цифровых линий, составляющих маршрут следования сообщений  $s$ -го потока. Значение  $D_s$  не меняется за время обслуживания, не зависит от порядкового номера передаваемого сообщения и оценивается либо на основе пиковой величины интенсивности поступления пакетов, передаваемых в процессе анализируемого соединения, либо с использованием понятия эффективной интенсивности поступления пакетов.

Тогда в соответствии с практическими рекомендациями будем называть основной передаточной единицей наибольший общий делитель (НОД) целочисленных значений скоростей  $K_1, \dots, K_J$  всех цифровых линий, имеющихся в сети, и требований к скоростям обслуживания  $D_1, \dots, D_p$  каждого из  $p$  имеющихся в сети потоков сообщений. Обозначим одну основную передаточную единицу через  $e$ .

Таким образом,

$$e = \text{НОА}(K_1, \dots, K_J, D_1, \dots, D_n).$$

В результате, целочисленное представление скорости  $j$ -ой цифровой линии имеет вид  $D_n$  основных передаточных единиц, а целочисленное выражение требования к скорости обслуживания для сообщений  $s$ -го потока в виде  $b_s = D_s/e$  основных передаточных единиц.

В практических разработках конкретный выбор основной передаточной единицы зависит от детальности описания процесса разделения ресурса.

Если анализируется процесс формирования абонентского трафика, то обычно в качестве основной передаточной единицы выступает скорость 64кбит/с (для пакетной сети G.711 84,8 кбит/с), которая, как известно, обеспечивает качественную передачу речевой нагрузки, относящейся к одному разговору (отметим, что использование вокодеров может уменьшить это значение до 32 кбит/с, 16 кбит/с и даже 8 кбит/с).

На транзитном участке сети передается агрегированный трафик, и в качестве основной передаточной единицы может быть выбрана скорость 2Мбит/с, обеспечиваемая системой передачи ИКМ 30/32, или скорость, задаваемая начальным модулем синхронной цифровой иерархии STM-1 155Мбит/с и т.д.

Выполненные формальные преобразования имеют большое значение для проведения дальнейших исследований процесса функционирования мультисервисных сетей связи. Это следует из того обстоятельства, что теперь для оценки показателей качества обслуживания информационных потоков, рассматриваемых на уровне соединения, однородных к качеству обслуживания и передаваемых с использованием пакетных технологий, обеспечивающих построение виртуальных каналов, можно использовать модели, ранее применяемые в теории телетрафика для оценки характеристик сетей коммутации каналов с явными потерями заблокированных вызовов. Аналогом канала в анализируемом случае будет основная передаточная единица [2].

#### **1.4 Этапы формирования канального ресурса**

Следующим этапам в построении исследуемой модели мультисервисной сети является формализация процесса поступления заявок на формирование канального ресурса. Будем предполагать, что заявки поступают по пуассоновскому закону с интенсивностью, зависящей от номера потока. Возможность использования данного предположения зависит от того, сколько индивидуальных информационных потоков смешиваясь, составляют анализируемый поток. Если это число достаточно велико, то в соответствии с известными теоретическими результатами [5,9,13] можно ожидать что составной поток по свойствам будет приближаться к пуассоновскому. Так

обычно происходит, когда исследуемый фрагмент сети относится не к уровню доступа, а к уровню ядра сети.

Время удерживания канального ресурса примем распределенным по экспоненциальному закону с параметром, зависящим от номера потока. В ходе дальнейших построений это ограничение можно будет ослабить. Ряд разработанных далее вычислительных алгоритмов можно будет использовать и в общих предположениях о характере распределения времени удерживания канального ресурса.

#### 1.4.1 Анализ состояния основных взаимоотношений оператора и пользователя после получения отказа в обслуживании

Анализ работы сети на уровне соединения позволяет отразить основные взаимоотношения оператора и пользователя и дает возможность построить алгоритмы распределения канальных ресурсов по заданной нагрузке. Кроме осуществления планирования новой сети, подобные расчетные алгоритмы можно использовать также и для решения проблем, связанных с образованием так называемых "узких мест".

Основной их характеристикой является пропускная способность недостаточная для обслуживания поступающих информационных потоков. Данная проблема может образоваться в результате перераспределения нагрузки, вызванного разными причинами, носящими как временный, так и постоянный характер.

И в том и другом случае недостаток канальной емкости приводит к тому, что помимо первичной нагрузки в сеть в данном направлении поступает поток повторных заявок на установление соединения. В принципе, не занимая канальный ресурс, подобные заявки перегружают процессоры коммутационных систем, резко снижая эффективность их работы.

Для моделирования соответствующего явления в теории телетрафика используется класс моделей с учетом эффекта повторных вызовов. При этом моделируются два аспекта поведения абонента в случае отказа в предоставлении канальной емкости: настойчивость в установлении соединения и время, через которое поступит следующая попытка соединения.

С целью упрощения последующих построений будем предполагать, что настойчивость пользователя зависит от номера потока и не зависит от числа неудачных попыток соединения и мотивируется только одной причиной отказа - нехваткой достаточного объема канального ресурса.

Чтобы исключить в дальнейшем анализ вырожденных случаев, будем считать, что настойчивость в попытках установить соединение всегда меньше единицы. Данное предположение означает, что источник сообщений может сколько угодно раз повторить запрос на выделение канального ресурса, но среднее число таких запросов меньше бесконечности. Наличие данного предположения снимает необходимость вводить ограничения на значения входных параметров, необходимые для существования стационарного режима. При этом вероятность повторения заявки может быть как угодно

близка к единице, что позволяет проводить анализ лавинообразного роста потоков повторных вызовов в условиях ограничения канального ресурса.

Примем также, что время между последовательными повторными вызовами от одного абонента зависит от номера потока и имеет экспоненциальное распределение с параметром, не зависящим от числа неудачных попыток соединения. Выбор экспоненциального распределения объясняется тем, что построенная далее модель будет менять свое состояние в соответствии с правилами, определенными для марковского процесса [5]. В принципе это не является сильным ограничением [9], поскольку известно, что значения показателей совместного обслуживания сообщений в моделях с повторными вызовами в слабой степени зависят от характера распределения интервала между последовательными повторными вызовами, а зависят в основном от среднего значения данного интервала.

## **1.5 Некоторые тенденции исследования элементов мультисервисных сетей и интеграции новых элементов в существующую сеть**

В данном разделе будут рассмотрены тенденции развития современных сетей связи. Из этого ясно следует, что системы связи используют огромное количество технологий и предоставляют большой спектр услуг. Это определяет сеть как мультисервисную. В связи с этим возникают проблемы корректного расчета всех элементов мультисервисных сетей и интеграция новых элементов в существующую сеть.

Существует много методов расчета и моделирования систем связи. Для этой работы наиболее интересным является исследование мультисервисного звена связи, так как все современные сети являются мультисервисными и перспективы развития требуют от системы обслуживания различного вида трафика.

Были приведены различные подходы к моделированию звена и способы решения сложных систем уравнений, полученных в процессе моделирования. Особое внимание обращено к классу моделей звена сети с учетом повторных вызовов. На эту тему уже проводились исследования, однако все они дают возможность понять функционирование звена сети только с несколькими потоками вызовов.

Кроме того, в уже исследованных моделях отсутствует понятие широкополосного трафика. Это понятие необходимо для мультисервисных систем, так как различные виды трафика требуют различные условия передачи и различные ресурсы системы. В этой работе будет рассмотрено звено сети с широкополосным трафиком и с учетом поведения пользователей.

Примером такого мультисервисного звена (как было показано ранее) могут служить интерфейсы сети 3-го поколения такие, Инженерные методики расчета интерфейсов мультисервисной сети не позволяют учитывать влияние

повторных вызовов на функционирование звеньев. Это исследование позволит показать воздействие поведения пользователей на систему.

Перечисленные выше проблемы проектирования и эксплуатации мультисервисных сетей связи, а также анализ выполненных исследований по данной проблеме приводят к следующим задачам исследования:

- необходимо рассмотреть модель мультисервисного звена с широкополосным трафиком и с учетом повторных вызовов.

- Провести анализ модели и дать определения основным показателям совместного обслуживания. Разработать точные методы оценки этих показателей.

- Разработать приближенные алгоритмы оценки показателей совместного обслуживания, которые можно использовать для всех важных в практическом использовании значений. Исследовать точность полученных результатов для этих параметров.

- Показать использование данного алгоритма на примере решения практической задачи оценки пропускной способности мультисервисного звена. Показать преимущество использованного метода над классическим способом оценки пропускной способности звена.

#### 1.5.1 Структура современной мультисервисной сети

В рамках местных и глобальных телекоммуникационных сетей существование конвергентных сетей возможно в условиях построения наложенной сети сигнальных коммутаторов. Для синхронизации работы контроллеров транспортных шлюзов различных сигнальных коммутаторов в наложенной сети предлагается использовать протокол SIP-T, обеспечивающий прозрачный перенос через IP-сеть сигнальных сообщений ISUP.

Наложённая сеть сигнальных коммутаторов может быть построена по иерархическому принципу (пример: мобильные сети Release 4, Release 5). На первом (нижнем) уровне размещается оборудование транспортных шлюзов (MGW); контроллера (MSC-S), осуществляющего управление MGW по протоколу MEGACO/H.248; сигнального шлюза, конвертирующего сообщения уровней MTP2, MTP3 ОКС-7 соответственно в сообщения SCTP, M3UA протокола SIGTRAN; SIP-серверов, обеспечивающих регистрацию мобильных S IP-пользователей и маршрутизацию (совместно с Router) вызовов в IP-сети.



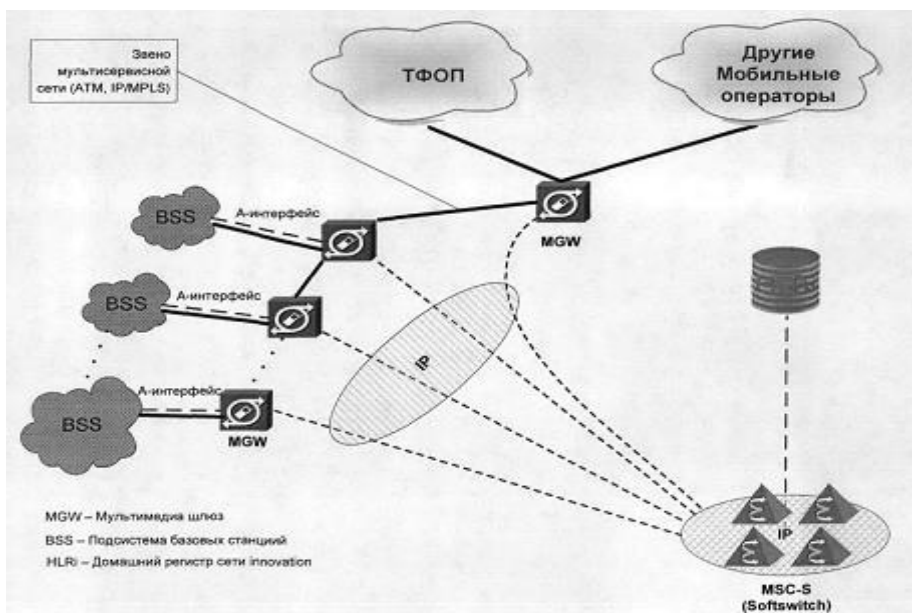


Рисунок 1.5 – Распределенная архитектура 3GPP R4

На рисунке 1.5 изображен участок мультисервисной сети для мобильных операторов. В данном примере звено мультисервисной сети соединяет транспортные шлюзы, которые обмениваются между собой сообщениями реального времени (голос, видео телефония). Транспортным протоколом при этом является IP/MPLS.

Стандарт 3GPP R4 определяет эволюцию мультисервисной сети к отдельной архитектуре, где классический коммутатор, включающий в себя функции управления и транспортировки трафика, будет разделен на две физические единицы. Контролирующая часть (Softswitch) берет функцию управления (обработки разных типов сигнализации), транспортная часть (транспортный шлюз) MGW, где будет передаваться разнородный трафик. Транспортный шлюз должен обеспечивать возможность подключения по различным интерфейсам и протоколам. ТОМ с использованием обычных потоков E1 или STM-1 для сопряжения с существующей классической сетью. ATM в основном используется для технологии UMTS, 3-его поколения мобильной связи. IP для обеспечения наиболее доступного, относительно дешевого транспорта между узлами сети. Разделенная структура сети дает много преимуществ, таких как удобное структурирование сети и масштабируемость. На высшем уровне находятся SIP-серверы приложений. Они предназначены для создания дополнительных услуг и, как правило, являются частью мультимедийной платформы IMS на базе IP. Это открытые системы и операторы могут сами создавать услуги для абонентов и, тем самым, повышать интеллектуальность сети.

## **1.6 Анализ модели звена мультисервисной сети с учетом поведения пользователя и разработка алгоритмов оценки характеристик пропускной способности**

1.6.1 Описание однозвенной модели мультисервисной сети с повторными вызовами. Схема модели и основные характеристики обслуживания сообщений.

Рассмотрим однозвенную модель мультисервисной сети. Предположим, что скорость линии, выраженная в основных передаточных единицах равна  $v$ . Для передачи по линии предлагается  $n$  потоков широкополосной нагрузки. В соответствии с предположениями, сформулированными в предыдущем разделе, будем считать, что поступление сообщений  $i$ -го потока подчиняется пуассоновскому закону с интенсивностью  $\lambda_i$ , а времена передачи сообщений имеют экспоненциальное распределение с параметром, равным  $\alpha_i$ .

Для передачи одного сообщения  $i$ -го информационного потока используется  $b_i$  единиц канального ресурса цифровой линии. Если требуемое число единиц канального ресурса имеется, то они выделяются для обслуживания поступившего сообщения  $i$ -го потока. В противном случае, с вероятностью  $N_i$ , через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром  $\mu_i$ , посылается повторная заявка на выделение канального ресурса. С дополнительной вероятностью  $1-N_i$  соответствующая заявка не посылается и сообщение считается потерянным и не возобновляется ни в какой форме.

Для анализа процесса образования потоков повторных вызовов нам необходимо знать следующие характеристики функционирования звена: оценку доли потерянных заявок на выделение канального ресурса, как в первичных, так и в повторных попытках; среднее число повторных заявок на одну первичную; среднее число занятых единиц канального ресурса; среднее число заблокированных сообщений, для которых организован процесс повторной заявки на выделение канального ресурса.

Для расчета этих, а также других показателей функционирования звена нам потребуется знать долю качества обслуживания.

## **1.7 Методы оценки показателей пропускной способности**

### **1.7.1 Общие подходы**

Построенная модель описывается марковским процессом с бесконечным числом состояний, имеющим достаточно сложную структуру взаимных переходов. Благодаря этому обстоятельству, не удастся построить эффективных алгоритмов оценки показателей пропускной способности для всех значений входных параметров. Решение соответствующей задачи возможно только для частных случаев, когда в системе выделены один, два максимум три входных потока широкополосной нагрузки, а число единиц

канального ресурса не велико. В этой ситуации можно использовать рекурсивные и итерационные методы решения системы уравнений равновесия (2.1).

Изложению соответствующих алгоритмов будет посвящен следующий раздел главы. Возможна также реализация общего подхода, основанная на построении имитационной модели.

Обсудим основные моменты, связанные с реализацией указанных расчетных схем. Построение рекурсивных алгоритмов существенным образом опирается на наличие специальной структуры у матрицы системы уравнений равновесия, позволяющей находить выражения для неизвестных вероятностей стационарных состояний через уже найденные значения вероятностей стационарных состояний [2,4,7,12,16]. Обычно такие алгоритмы позволяют весьма быстро рассчитывать значения показателей пропускной способности.

Пример такой расчетной схемы - алгоритм, который приводит к формуле Эрланга [9]. Такой алгоритм будет построен и исследован ниже при разработке расчетной схемы для частного случая модели, когда имеется ровно один поток широкополосной нагрузки.

Реализация итерационных схем требует большего времени для оценки показателей пропускной способности. Наиболее известный подход, используемый в теории телетрафика, - это итерационная схема Гаусса-Зейделя [2].

Суть алгоритма состоит в вычислении некоторого количества последовательных приближений к вектору неизвестных вероятностей. Причем при проведении вычислений используются несложные алгебраические выражения, полученные из ненулевых коэффициентов системы уравнений равновесия.

Несмотря на большое число неизвестных в подобных системах, число ненулевых коэффициентов системы уравнений равновесия обычно не велико. По этой причине расчетные схемы не сложны. Размеры анализируемых моделей определяются размером массива, используемого для хранения вектора неизвестных вероятностей [2].

Момент завершения итерационного счета задается малостью нормированной абсолютной разницы между двумя последовательными приближениями компонент вектора неизвестных вероятностей.

В зависимости от значений входных параметров, итерационная схема может не сходиться (правда, подобные случаи скорее исключение, чем общее правило) или сходиться через достаточно большое число шагов итерационного процесса [2], [15].

Ограничение числа заявок, находящихся в состоянии повторения запроса на выделение канального ресурса.

Упомянутая в предыдущем разделе возможность расчета модели опирается на тот факт, что исследуемый марковский процесс имеет конечное число состояний. Соответствующий переход выглядит следующим образом.

Предположим, что для  $i$ -го информационного потока максимальное число заявок, находящихся в состоянии повторения запроса на выделение канального ресурса, ограничено и не превосходит  $N_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ .

Если для  $i$ -го информационного потока в соответствии со схемой функционирования должен появиться новый источник повторных заявок, а их число уже равно  $N_i$ , то процедура повторения заявок отменяется. Сохраним для модифицированной модели введенные ранее обозначения для компонент марковского процесса и основных показателей обслуживания.

Пространство состояний  $S$  определяется соотношениями

$$(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n) \in S,$$

$$\text{если } r_1=0, 1, 2, \dots, N_1, \dots, r_n=0, 1, 2, \dots, N_n,$$

$$c_1 b_1 + \dots + c_n b_n \leq v$$

и содержит конечное число неизвестных.

Введем также пространство состояний  $S^*$ , куда включим состояния  $(c_1, \dots, c_n)$ , имеющие только  $n$  целочисленных компонент  $c_1, \dots, c_n$ , удовлетворяющих условию

$$c_1 b_1 + \dots + c_n b_n \leq v.$$

Приведем в новых условиях вид системы уравнений равновесия (напомним, что  $c = c_1 b_1 + \dots + c_n b_n$ ).

$$\begin{aligned} & P(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n) \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i I(v - c \geq b_i) \right) + \quad (1.1) \\ & + \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i H_i I(v - c < b_i, r_i < N_i) \right) + \sum_{i=1}^n r_i \mu_i I(v - c \geq b_i) + \\ & + \sum_{i=1}^n r_i \mu_i (1 - H_i) I(v - c < b_i) + \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i = \\ & = \sum_{i=1}^n P(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_i - 1, \dots, c_n) \lambda_i I(c_i > 0) + \\ & + \sum_{i=1}^n P(r_1, \dots, r_i - 1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n) \lambda_i H_i I(v - c < b_i, r_i > 0) + \\ & + \sum_{i=1}^n P(r_1, \dots, r_i + 1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_i - 1, \dots, c_n) \times \\ & \times (r_i + 1) \mu_i I(c_i > 0, r_i < N_i) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i=1}^n P(r_1, \dots, r_i + 1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n) \times \\
& \times (r_i + 1) \mu_i (1 - H_i) I(v - c < b_i, r_i < N_i) + \\
& + \sum_{i=1}^n P(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_i + 1, \dots, c_n) (c_i + 1) \alpha_i I(c + b_i \leq v).
\end{aligned}$$

Для вероятности  $P(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n)$  выполнено условие нормировки

$$\sum_{(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n) \in S} P(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n) = \sum_{r_i=0}^{N_i} \dots \sum_{r_n=0}^{N_n} \sum_{(c_1, \dots, c_n) \in S^*} P(r_1, \dots, r_n, c_1, \dots, c_n) = 1$$

### 1.7.2 Модель звена с одним потоком широкополосной нагрузки и повторными вызовами

Рассмотрим однозвенную модель мультисервисной сети. Предположим, что скорость линии, выраженная в основных передаточных единицах равна  $v$ . Для передачи по линии предлагается один поток широкополосной нагрузки. В соответствии с предположениями, сформулированными в предыдущем разделе, будем считать, что поступление заявок на выделение канального ресурса подчиняется пуассоновскому закону с интенсивностью  $\lambda$ , а время передачи сообщений имеет экспоненциальное распределение с параметром, равным  $\alpha$ .

Для передачи одного сообщения используется  $b$  единиц канального ресурса цифровой линии. Если требуемое число единиц канального ресурса имеется, то они выделяются для обслуживания поступившего сообщения. В противном случае, с вероятностью  $H$ , через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром  $\mu$ , посылается повторная заявка на выделение канального ресурса. С дополнительной вероятностью  $1 - H$  соответствующая заявка не посылается и сообщение считается потерянным и не возобновляется ни в какой форме.

Обозначим через  $l$  целую часть от деления  $v$  на  $b$ . Значение  $l$  показывает максимальное число сообщений, которые одновременно могут быть на обслуживании. Максимально возможное число заявок, для которых может быть одновременно организован процесс повторения заблокированной заявки на выделение канального ресурса не превосходит  $N$ . Схема функционирования исследуемой модели звена показана на рисунке 1.6.

### 1.7.3 Математическое описание модели

В рассматриваемом случае математическое описание модели значительно упрощается. Обозначим через  $r$  число заблокированных сообщений, для которых организован процесс повторной заявки на выделение канального ресурса, а через  $c$  обозначим число сообщений, находящихся на обслуживании. Состоянием модели будет вектор  $s = (r, c)$ , где значение  $r$

меняется от 0 до  $N$ , а значения  $c$  от 0 до  $l$ . Обозначим через  $P(r, c)$  вероятности стационарных состояний марковского процесса  $\mathcal{G}(t)$ , описывающего функционирование исследуемого частного случая звена. Если каким-то образом найти значения  $P(r, c)$ , то можно рассчитать и введенные ранее показатели пропускной способности звена.

Рассмотрим вид системы уравнений равновесия в исследуемом частном случае. Общее формальное выражение для отдельного уравнения системы уравнений равновесия следует выражению, приведенному в системе (1.1). Для удобства проведения дальнейших выкладок, разделим уравнения системы уравнений равновесия на отдельные группы.

Первая группа

$$r = 0, 1, \dots, N - 1, c = 0, 1, \dots, l - 1 \quad (1.2)$$

$$P(r, c)(\lambda + r\mu + c\alpha) = P(r, c - 1)\lambda + P(r + 1, c - 1)(r + 1)\mu + \\ + P(r, c + 1)(c + 1)\alpha,$$

Вторая группа

$$r = N, c = 0, 1, \dots, l - 1$$

$$P(N, c)(\lambda + N\mu + c\alpha) = P(N, c - 1)\lambda + P(N, c + 1)(c + 1)\alpha,$$

Третья группа

$$r = 0, 1, \dots, N - 1, c = l$$

$$P(r, l)(\lambda H + r\mu(1 - H) + l\alpha) = P(r, l - 1)\lambda + P(r - 1, l)\lambda H + \\ + P(r + 1, l - 1)(r + 1)\mu + P(r + 1, l)(r + 1)\mu(1 - H),$$

Четвертая группа

$$r = N, c = l$$

$$P(N, l)(N\mu(1 - H) + l\alpha) = P(N, l - 1)\lambda + P(N - 1, l)\lambda H.$$

Для вероятностей  $P(r, c)$  выполнено условие нормировки

$$\sum_{r=0}^N \sum_{c=0}^l P(r, c) = 1$$

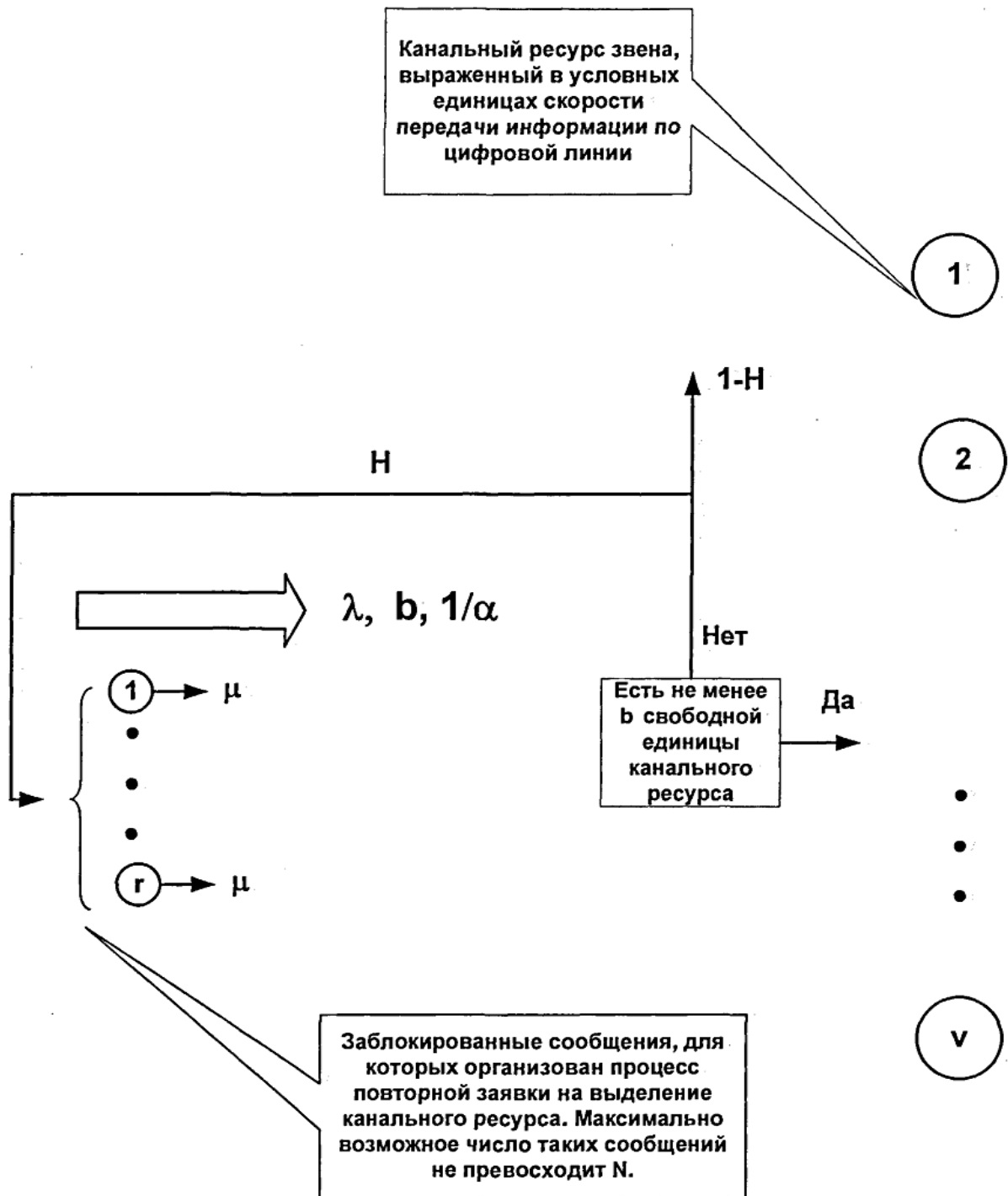


Рисунок 1.6 - Схема функционирования однозвенной модели мультисервисной сети с повторными вызовами и одним потоком широкополосной нагрузки

#### 1.7.4 Определение характеристик функционирования однозвенной модели мультисервисной сети с повторными вызовами и одним потоком широкополосной нагрузки

Дадим формальные определения характеристик, используя вероятности стационарных состояний  $P(r, c)$ . Доля потерянных заявок на выделение канального ресурса, как в первичных, так и в повторных попытках  $l_t$  определяется из выражения

$$l_t = \frac{\sum_{r=0}^N P(r, l)(\lambda + r\mu)}{\sum_{r=0}^N \sum_{c=0}^l P(r, c)(\lambda + r\mu)}$$

Доля потерянных заявок на выделение канального ресурса в первичных попытках  $l_p$  определяется из выражения

$$l_p = \sum_{r=0}^N P(r, l)$$

Среднее число сообщений, находящихся на обслуживании,  $M_c$  определяется из выражения

$$M_c = \sum_{r=0}^N \sum_{c=0}^l P(r, c)c$$

Среднее число занятых единиц канального ресурса  $M_b$  определяется из выражения

$$M_b = \sum_{r=0}^N \sum_{c=0}^l P(r, c)cb$$

Среднее число заблокированных сообщений, для которых организован процесс повторной заявки на выделение канального ресурса  $M_r$  определяется из выражения

$$M_r = \sum_{r=0}^N \sum_{c=0}^l P(r, c)r$$

Среднее число повторных заявок на одну первичную  $R$  определяется из выражения

$$R = \frac{\sum_{r=0}^N \sum_{c=0}^l P(r, c)r\mu}{\lambda}$$

Для расчета введенных показателей функционирования звена нам достаточно знать значения  $P(r, c)$ , которые находятся из решения системы уравнений равновесия (2.3). Проанализируем возможности ее решения.



## 1.8 Примеры реализации расчетного алгоритма

Наличие удобного для проведения вычислений алгоритма, полученного в предыдущем разделе, дает возможность выполнить численный анализ поведения основных показателей функционирования звена в условиях изменения параметров входных потоков. Рассмотрим вначале зависимость общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь по времени  $l_p$  от увеличения потребности в канальном ресурсе. Соответствующая зависимость показана на рисунке 1.7.

Входные параметры модели принимают следующие значения:  $\nu = 50$ ,  $b$  (переменный параметр) 1,2,...,10. При фиксированном  $b$  интенсивность первичной нагрузки находится из выражения  $\lambda = \nu/b$  (таким образом, интенсивность предложенной нагрузки, выраженная в канальных единицах всегда постоянная и равна 50). Значения остальных параметров:  $\mu = 10$ ,  $H = 0,9$ ,  $\alpha = 1$ . Значение  $N$  определялось опытным путем и было равно 20. Приведенные данные показывают, что значения потерь имеют тенденцию роста с увеличением потребности в канальном ресурсе (при постоянной интенсивности предложенной нагрузки, выраженной в канальных единицах). При этом возможно локальное уменьшение потерь, связанное с отсутствием целого деления  $\nu$  на  $b$ .

Одним из показателей недостаточной пропускной способности звена мультисервисной сети связи является рост потока повторных заявок. Увеличение интенсивности потока повторных заявок ведет к увеличению потерь как в первичной, так и в повторных попытках соединения. Рассмотрим изменение соответствующих показателей в зависимости от изменения основных параметров, характеризующих поведение абонента, повторяющего заблокированный вызов. На рисунке 1.8 показана зависимость общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$  от увеличения вероятности повторения вызова  $H$ . Величина  $H$  меняется в интервале от 0 до 0,9 (рисунок 1.8) и в интервале от 0,9 до 0,99 (рисунок 1.9). Значения остальных параметров:  $\nu = 50$ ,  $\mu = 10$ ,  $\lambda = 12,5$ ,  $b = 4$ ,  $\alpha = 1$ . Значение  $N$  определялось опытным путем и было равно 20.

Приведенные численные данные подтверждают значительный рост вероятностей потерь при увеличении настойчивости абонента в предоставлении необходимого канального ресурса. Необходимо отметить, что указанный рост происходит при фиксированных входных параметрах модели только за счет увеличения вероятности повторения заблокированной заявки на выделение канального ресурса.

При исследовании моделей систем связи с учетом эффекта повторных вызовов большой интерес вызывает зависимость общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$  от изменения интенсивности повторения заблокированной заявки.

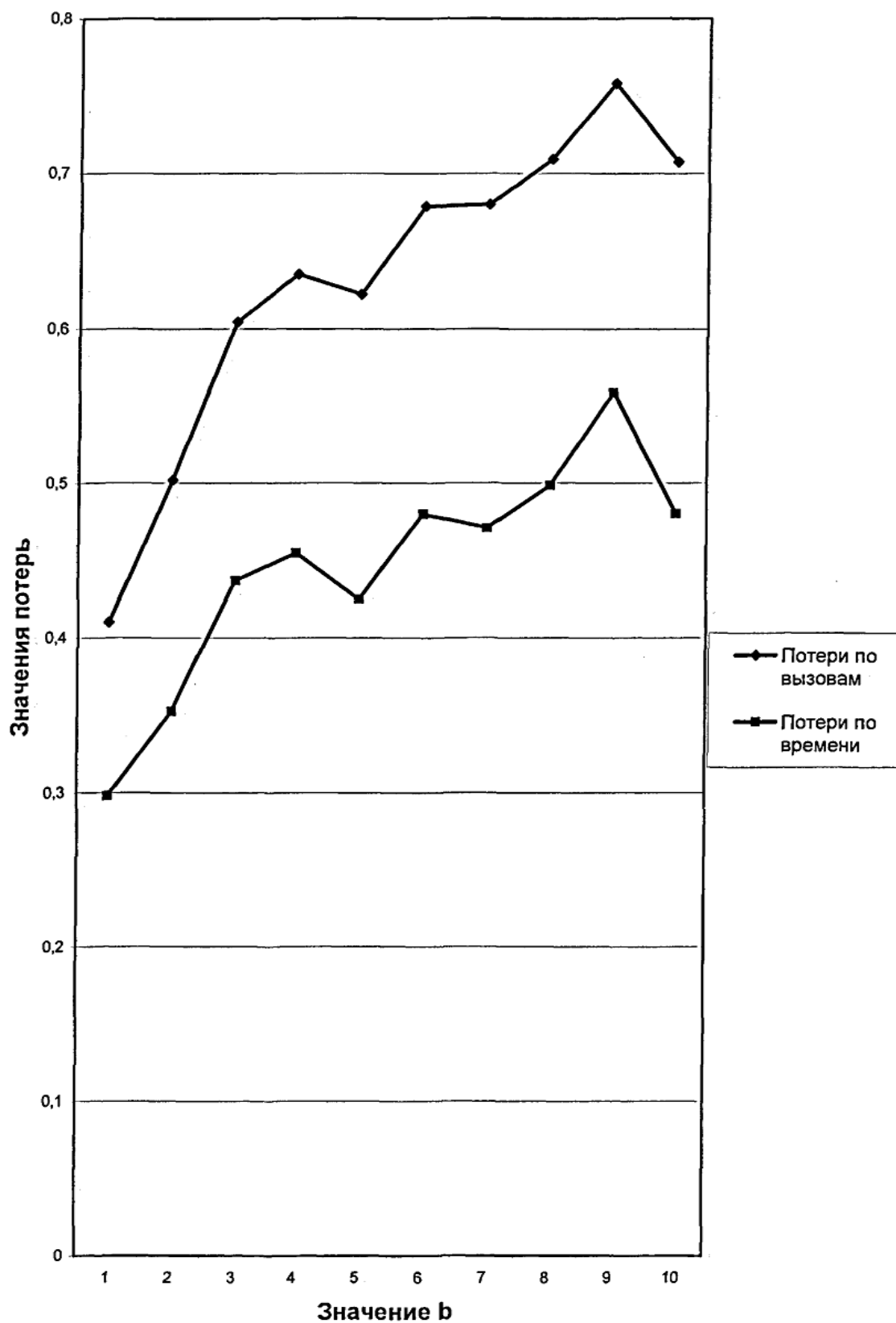


Рисунок 1.7 - Зависимость общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$  от увеличения потребности в канальном ресурсе для однопоточковой модели звена

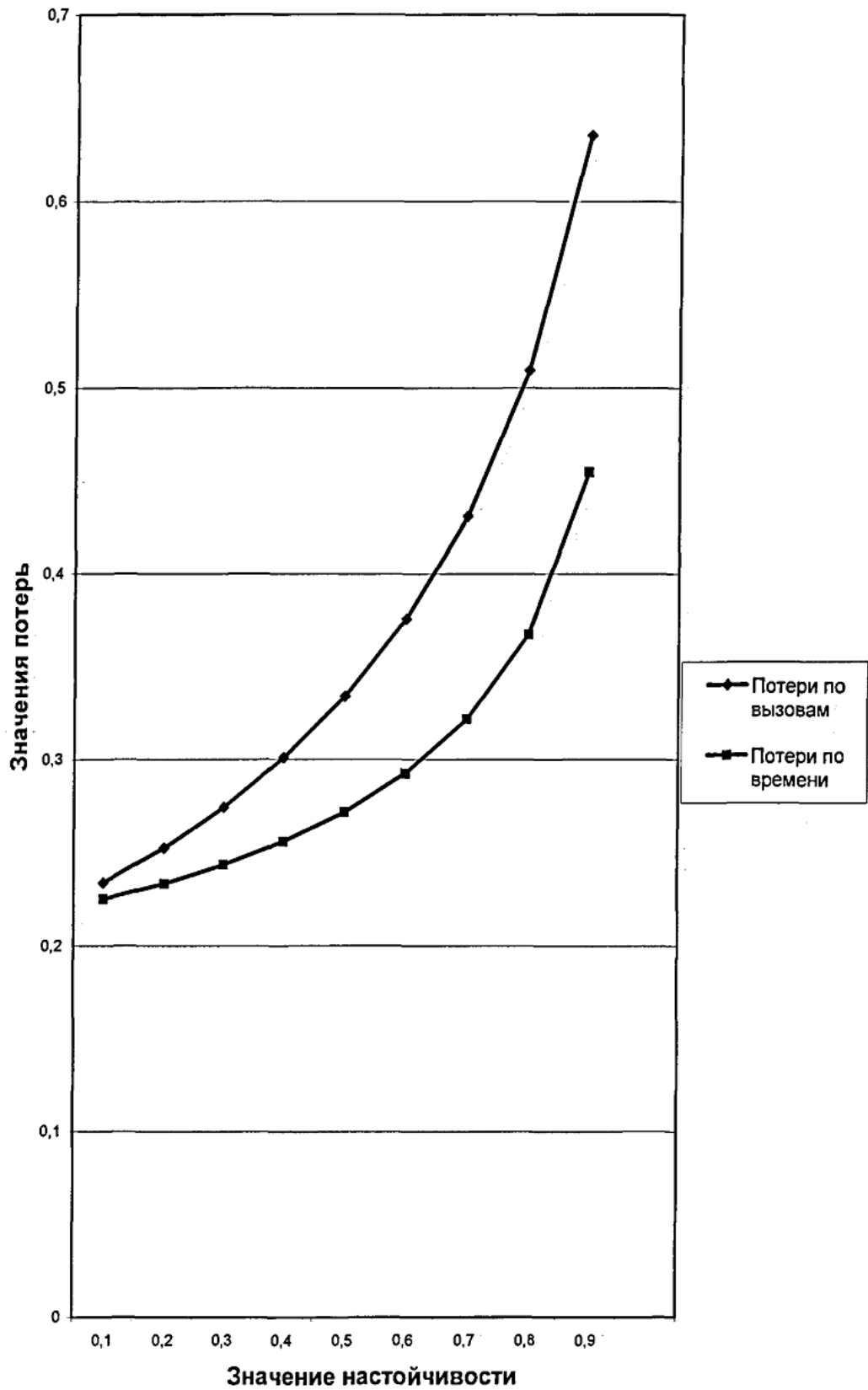


Рисунок 1.8 - Зависимость общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$  от увеличения вероятности повторения вызова в интервале от 0 до 0,99

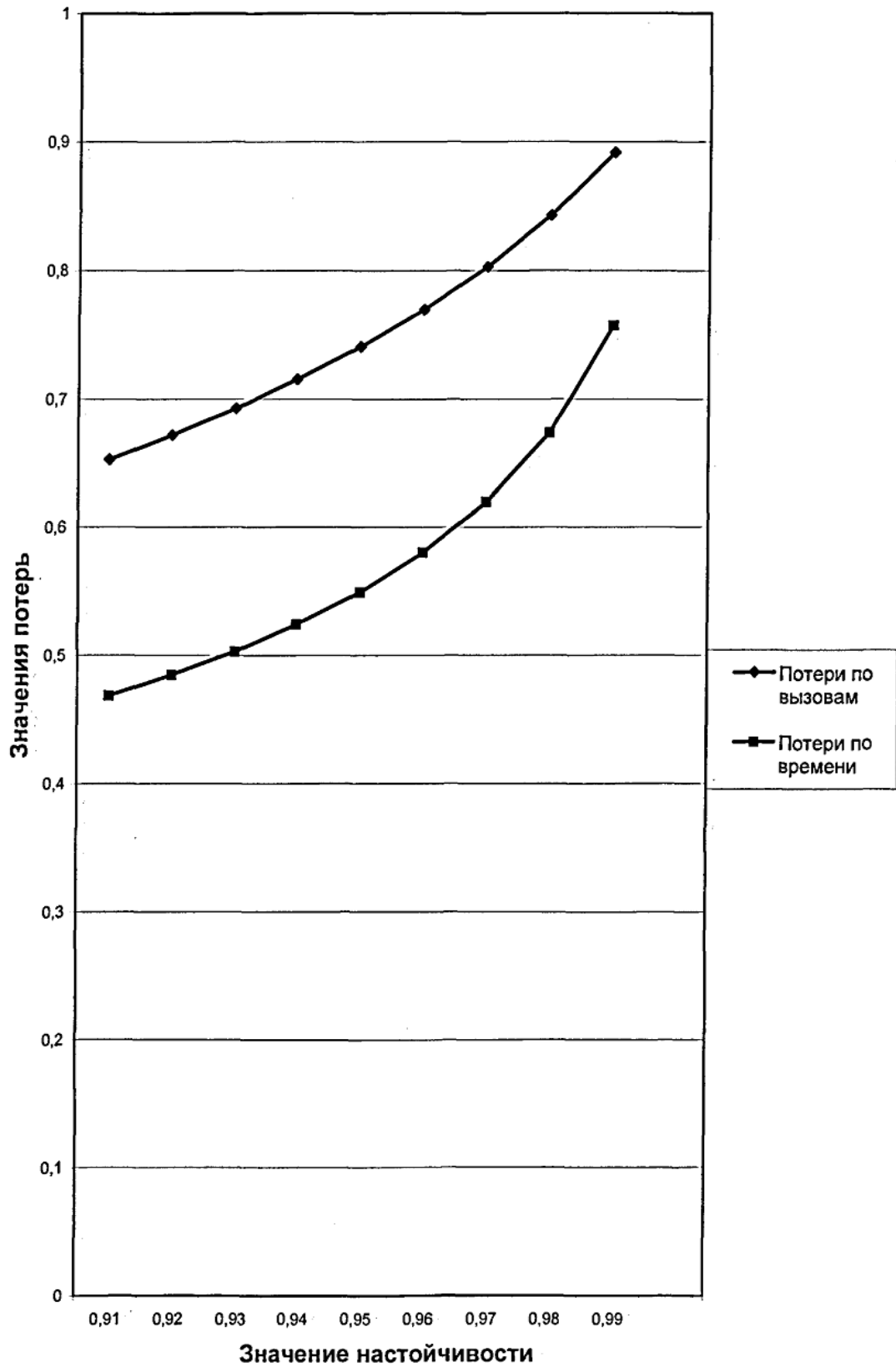


Рисунок 1.9 - Зависимость общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$  от увеличения вероятности повторения вызова в интервале от 0,9 до 0,99

Соответствующая зависимость показана на рисунке 1.10 при анализе поведения общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$  от изменения  $\mu$  в интервале от 0,1 (средняя длина между повторными вызовами в 10 раз больше, чем средняя продолжительность занятия канального ресурса) до 1000 (соответственно, средняя длина между повторными вызовами в 1000 раз меньше, чем средняя продолжительность занятия канального ресурса). Значения остальных параметров:  $\nu=50$ ,  $H=0,9$ ,  $\lambda=12,5$ ,  $b=4$ ,  $\alpha=1$ . Значение  $N$  определялось опытным путем и было равно: 300 для  $\mu=0,1$ , 100 для  $\mu=0,5$  и 20 для остальных случаев.

В первом предельном случае повторная заявка поступает через довольно большой промежуток времени и в системе она может рассматриваться как первичная, т.е. подчиняющаяся пуассоновскому закону. Отсюда следует сближение значений общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$ . Из теории известно, что оба этих показателя совпадают только для пуассоновского закона. Отметим, что при изменении  $\mu$  от 0,1 до 10 (т.е. в 100 раз) значения  $l_t$  и  $l_p$  меняются не столь сильно. Это может служить основанием для выбора в качестве приближенного подхода в оценке показателей исследуемой системы пуассоновского предположения о характере поступления повторных вызовов. Об этом пойдет речь в следующей главе работы. Заметим, что с ростом  $\mu$  до значений 100 или 1000, заявка, для которой организован повторный запрос, скорее всего, покинет систему необслуженной. Отток заявок приводит, с одной стороны, к уменьшению обслуженной нагрузки и, вследствие этого, уменьшению вероятности потерь первичных вызовов (потери по времени), а с другой - к увеличению общих потерь, т.к. все повторные заявки, вносящие основной вклад в значение общих потерь, будут заблокированы.

При одинаковом значении используемого канального ресурса при  $H_1 = 0$  уже при  $H_1 = 0,9$  соотношение между средними значениями используемого канального ресурса становится более, чем в два раза. С дальнейшим увеличением  $H_1$  это соотношение становится еще больше. Данную особенность перераспределения канального ресурса необходимо учитывать при проектировании мультисервисных систем связи. Решение проблемы требует разработки соответствующих моделей и алгоритмов оценки показателей их пропускной способности.

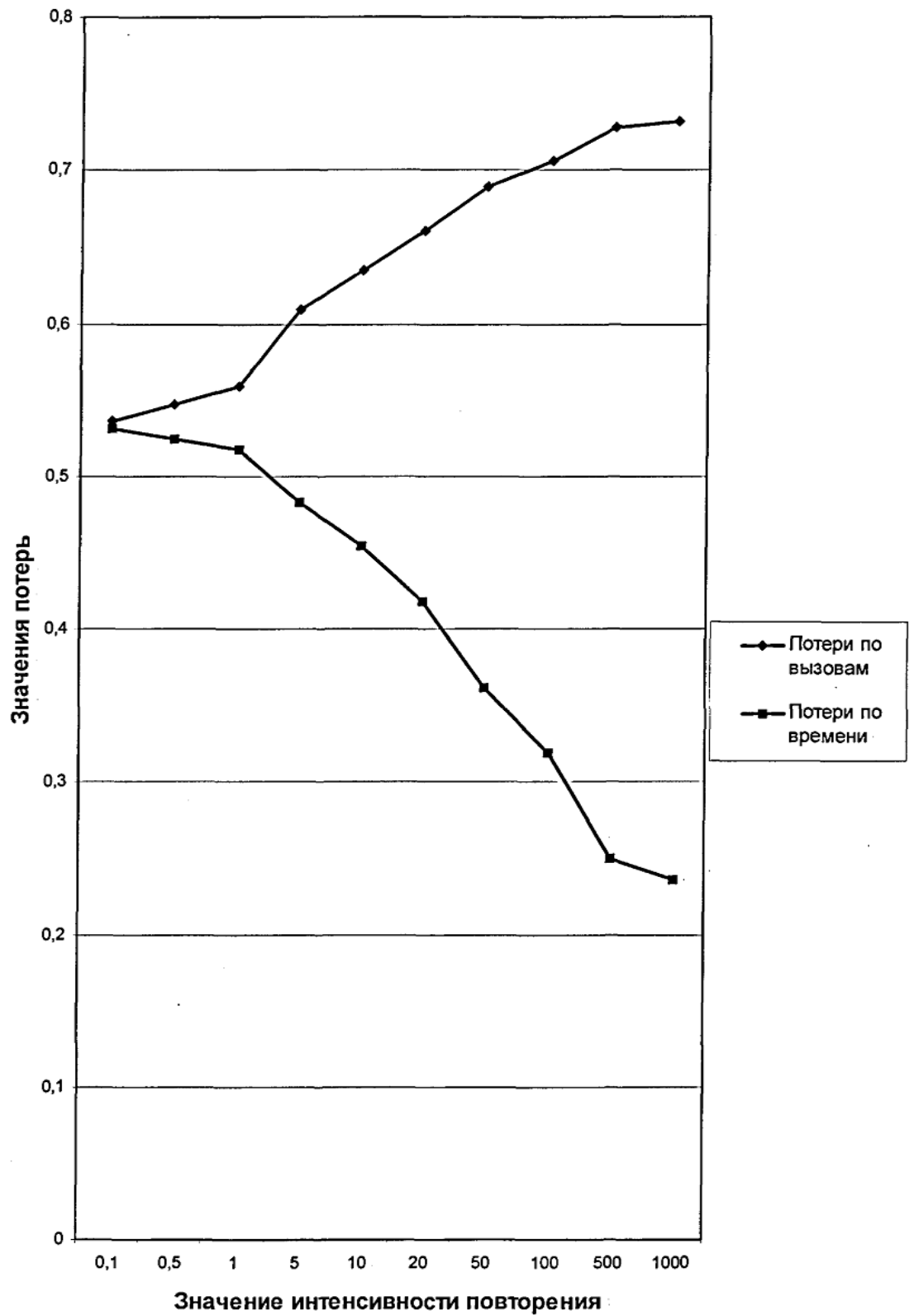


Рисунок 1.10 - Зависимость общих потерь вызовов  $l_t$  и потерь первичных вызовов  $l_p$  от изменения интенсивности повторения заблокированной заявки

## 2 Экспериментальная часть

### 2.1 Характеристика исследуемой системы

Платформы следующего поколения включают в оборудование разного уровня — от устройств доступа, мультиплексоров услуг до пограничных платформ MSPP и коммутаторов опорных сетей.

Работая в качестве MADM, OptiX OSN 1500 поддерживает следующие конфигурации:

- одно 2-волоконное кольцо STM-16 с защитой мультиплексной секции;
- два 2-волоконных кольца STM-16 с защитой мультиплексной секции;
- два 4-волоконных кольца STM-4 с защитой мультиплексной секции;
- пять 2-волоконных колец STM-4 с защитой мультиплексной секции.

Исследуемая сеть построена на базе оборудования компании Huawei OPTIX OSN 1500. OptiX OSN 1500 - это транспортная платформа 2.5G/622M нового поколения, которая позволяет передавать различные услуги на уровне доступа. Оборудование поддерживает пакетную коммутацию и передачу, объединяет в себе все возможности MSTP, SDH/PDH, Ethernet, WDM, ATM, ESCON, FC/FICON, DVB-ASI (Цифровой асинхронный последовательный порт видео вещания) и технологии RPR. Поэтому оборудование совместимо с традиционными сетями SDH и MSTP.

Возможно плавное обновление до версии, применяемой для интеллектуальных оптических транспортных сетей. В основном, используется на уровне агрегации и уровне доступа крупномасштабных частных сетей. Работает с теми же типами плат, что и OptiX OSN 9560/7500/3500/2500. Кроме того, OptiX OSN 1500 поддерживает такие возможности ASON, как сквозное автоматическое конфигурирование услуг, обслуживание по SLA, формирование трафика, оптимизация таймслотов и отслеживание синхронизации в смешанной сети.

OptiX OSN 1500 поддерживает технологию высокоточной синхронизации (IEEE 1588v2). Данная технология особо подходит для таких отраслей, как энергообеспечение и финансы, где требуется высокая точность синхронизации по времени.

OptiX OSN 9560, OptiX OSN 7500, OptiX OSN 3500, OptiX OSN 2500 и OptiX OSN 1500 могут формировать единую платформу, поскольку используют одни и те же платы и программное обеспечение. Их совместимость значительно уменьшает стоимость технического обслуживания и расходы на создание базы запасных частей и плат. OptiX OSN 1500 допускает модернизацию системы STM-4 до системы уровня STM-16 без прерывания работы.

Ёмкость кросс-коммутации верхнего уровня 60 Гбит/с, ёмкость кросс-коммутации нижнего уровня 20 Гбит/с и ёмкость коммутации данных 8Гбит/с.

Оборудование может передавать следующие услуги:

- услуги STM-1 (O/E);
- стандартные или конкатенированные услуги STM-4/-16;
- услуги E1/E3/E4 (максимум 190x E1, 27x E1 или 8xE4 на одном шасси);
- услуги FE/GE (максимум 56xFE или 12xGE на одном шасси);
- передача по восьми спектральным каналам (максимум четыре спектральных канала на одной плате и максимум восемь спектральных каналов в каскадном режиме);
- услуги ATM на скорости 2 Мбит/с, 34 Мбит/с, 155 Мбит/с и 622Мбит/с;
- услуги Nx64 кбит/с на интерфейсах V.35/Frame E1;
- услуги IMA на скорости 2Мбит/с, 155Мбит/с и 622Мбит/с;
- услуги SAN на интерфейсах ESCON/FICON/Fiber Channel/DVB-ASI;
- быстрое предоставление сквозных услуг на базе GMPLS;
- размеры шасси: 221 мм (В) x 444 мм (Ш) x 262 мм (Г);
- слоты 11 и 12 можно разделить. После деления получится 10 слотов для сервисных плат (на 3 больше, чем в предыдущей модели) и 4 слотов для интерфейсных плат.

Оборудование предлагает следующие сетевые возможности:

- функция «Plug-and-play» на узлах смешанной сети;
- можно менять любые скорости в смешанной сети без прерывания услуг;
- максимум 40 направлений оптической передачи в смешанной сети;
- различные топологии сети SDH: цепь, кольцо, пересекающиеся кольца и соприкасающиеся кольца;
- четырехволоконное кольцо 1xSTM-16 или двухволоконное кольцо 2xSTM-16 на одном шасси.

OptiX OSN 1500 поддерживает протокол IEEE 1588v2. Сигналы высокоточной синхронизации, генерируемые OptiX OSN 1500, передаются по транспортной сети на оборудование, требующее такую синхронизацию, например, базовые станции беспроводной сети 3G.

Оборудование предлагает следующие возможности защиты:

- восстановление с использованием ресурсов смешанной сети;
- оборудование поддерживает распределенную функцию перемаршрутизации с возвратом, которая реализуется на пяти уровнях обслуживания;
- защита SDH;
- двухволоконная/Четырехволоконная MSP, 1+1/1:N MSP, SNCP, SNCTP, DNI и защита виртуального канала с разделением ресурсов волокна;
- защита передачи данных;
- быстросовосстанавливаемое пакетное кольцо (RPR) и протокол покрывающего дерева (STP) для услуг Ethernet;



- защита VP-ring для услуг ATM;
- защита на уровне оборудование;
- 1+1 HSB для блока управления ASON;
- защита 1+1 HSB для плат кросс-коммутации, блока SCC и плат синхронизации;

– защита системы питания: защита 1+1 для источника питания системы, распределенных источников питания и интегрированное резервирование вторичных источников питания для всех плат. В случае отказа рабочего модуля питания платы запускается резервный модуль питания;

– защита TPS: Защита 1:N ( $N \leq 2$ ) для сигналов E1/T1/E3/T3/E4/STM-1e/FE. Дополнительно, защита TPS предоставляется для трех типов услуг одновременно. Защита TPS для услуг FE повышает надежность передачи Ethernet, что делает сети SDH и сети пакетной коммутации более совместимыми друг с другом.

Сеть состоит из 4-х MSTP, соединенных между собой в 4-х волоконное кольцо с резервирующим волокном. На двух мультиплексорах из четырех работает коммутатор прозрачной передачи, к которому подключены независимые локальные сети. Структурное изображение исследуемой системы представлено на рисунке 2.1.

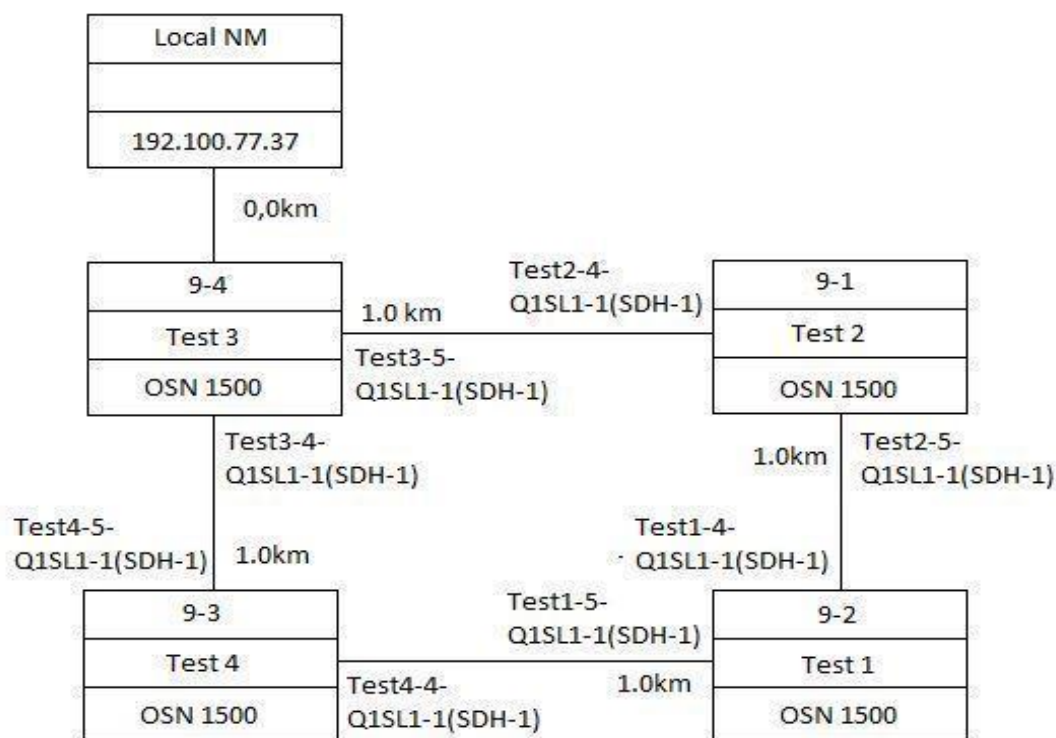


Рисунок 2.1 - Структурное изображение исследуемой сети

## 2.2 Характеристика исследуемых параметров

Качество VoIP передачи трафика определяются по трем параметрам:

- задержка при передаче пакета (Delay);
- колебания (дрожание) задержки при передаче пакетов (Jitter);
- потеря пакетов (Packet loss).

С помощью программы Traceroute (Tracert) были рассчитаны задержки передачи пакетов следующих через сеть с несколькими маршрутизаторами.

Располагаясь в очереди, пакет подвержен задержке ожидания передачи по линии связи к маршрутизатору.

Временное значение задержки ожидания зависит от числа пакетов, находящихся в очереди, и может значительно варьироваться в различных маршрутизаторах на пути пакета. Когда загрузка линии связи не очень высокая, то время ожидания пакета либо нулевое, либо незначительное, но в случае перегруженности линии оно может многократно увеличиться. Позже мы увидим, что длина очереди на момент появления очередного пакета является функцией интенсивности и характера трафика пакетов. Как правило, задержка ожидания составляет от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд.

Наиболее сложным и интересным видом задержек, возникающих при передаче пакетов, является задержка ожидания  $d$ . Эта величина имеет настолько важное значение для сетевых технологий, что ей посвящены десятки книг и сотни научных статей. Сейчас мы не будем излишне углубляться в теорию массового обслуживания и рассмотрим задержку ожидания и ее последствия лишь в общем плане. Задержка ожидания — единственная составляющая узловой задержки, которая может иметь разные значения для разных пакетов. Так, например, если в изначально пустой буфер маршрутизатора одновременно поступит 10 пакетов, то задержка ожидания для первого пакета будет равна нулю, а для последнего пакета она окажется равной времени, необходимому для обслуживания девяти предыдущих пакетов. Таким образом, значение задержки ожидания является случайным, и для его оценки необходимо использовать статистические величины: среднее время ожидания, дисперсию времени ожидания и вероятность превышения временем ожидания заданной величины.

Для пакетного трафика можно рассматривать общую задержку  $t$  (или время доставки пакета) как сумму транспортной задержки  $t_{tr}$ , задержки распространения  $t_p$ , задержки коммутации  $t_s$  и задержки при организации очередей в маршрутизаторах (времени задержки в узле).

$$t = t_{tr} + t_p + t_s + t_w \quad (2.1)$$

Под транспортной задержкой (serialization delay) [6] подразумевается время, требуемое для передачи пакета при заданной полосе пропускания, и зависит от размера пакета и ширины полосы пропускания канала.

Транспортную задержку можно определить как функцию от ширины полосы пропускания и длины пакета, т. е.

$$t_{tr} = L/B, \quad (2.2)$$

где  $L$  - размер пакета, бит,  $B$  - ширина полосы пропускания, кбит/с.

Задержка распространения (propagation delay) зависит от используемой среды передачи и расстояния и может составлять десятки миллисекунд. Внедрение технологии DWDM позволяет принимать задержку распространения менее 1 мс.

Задержка коммутации (switching delay) вносится устройствами коммутации и, как правило, составляет менее 10 нс.

В случае, если сеть не испытывает перегрузки, задержка при организации очередей в маршрутизаторах ( $t_o$ ) отсутствует. В этом случае можно говорить о минимально возможной задержке при передаче пакетов через заданную сеть. В случае перегрузки сети  $t_o$  не только может составить значительную величину, но и приводит к джиттеру задержки. Джиттер задержки и определяет максимальную задержку на приеме. В зависимости от типа приложения, принимающая сторона может попытаться компенсировать джиттер задержки за счет организации приемного буфера для хранения принятых пакетов на время меньше и равное верхней границе дрожания.

Для трафика реального времени джиттер задержки может привести к потере пакетов, т.к. при превышении порогового значения задержки пакеты будут отброшены как не удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к режиму реального времени. Для потокового трафика внесение дополнительной задержки не оказывается критичным и не приводит к потерям.

Потеря пакетов происходит в сетях любого типа. В каждом сетевом протоколе разработаны методы для борьбы с этой проблемой тем или иным способом. Например, в протоколе TCP предусмотрена гарантированная передача за счет повторных запросов для потерянных пакетов. В протоколе RTP, который используется в VoIP, таких гарантий не предусмотрено, поэтому в самом VoIP должны содержаться средства работы с потерянными пакетами.

Хотя в протоколе передачи данных возможен простой повторный запрос потерянного пакета, у VoIP нет времени ждать, пока такой пакет будет доставлен. Для поддержания качества звонка потерянные пакеты заменяются некоторыми усредненными (сглаженными) значениями.

Для маскирования эффекта пропавших пакетов в VoIP-коммуникации предусмотрен метод PLC – Соккрытие Потерянных Пакетов (Packet Loss Concealment). В разных реализациях могут быть применены разные методы.

Замещение нулем (zero substitution) является наиболее простым PLC-методом с минимальными требованиями по вычислительным ресурсам. Эти простой алгоритм, в котом отсутствующие фрагменты звука замещаются тишиной, дает наихудшее качество звука когда потеряна значительная часть пакетов.

Замещение формой сигнала (waveform substitution) используется в старых протоколах и заключается в замещении потерянных пакетов новыми, сгенерированными искусственно. В простейшем случае потерянный пакет замещается последним принятым. К сожалению, при потере длинной цепочки пакетов голос, восстановленный данным методом, получается ненатуральным, с машинным звучанием.

Пакеты в VoIP-сетях могут быть отброшены по разным причинам, включая перегрузку сети, ошибки на линии и задержки в доставке.

Сетевой анализатор показывает количество потерянных пакетов. Хороший сетевой анализатор отображает графики в реальном времени и графически показывает число потерянных пакетов и провалы, ответственные за существенное ухудшение качества. Вид графика потерянных пакетов может подсказать сетевым администраторам, какой из методов коррекции подойдет лучше всего для данной сети, а также меры, которые можно принять для сокращения уровня потерь пакетов.

Ниже, на рисунке 2.2 приведена схема тракта передачи голоса в идеальных условиях.

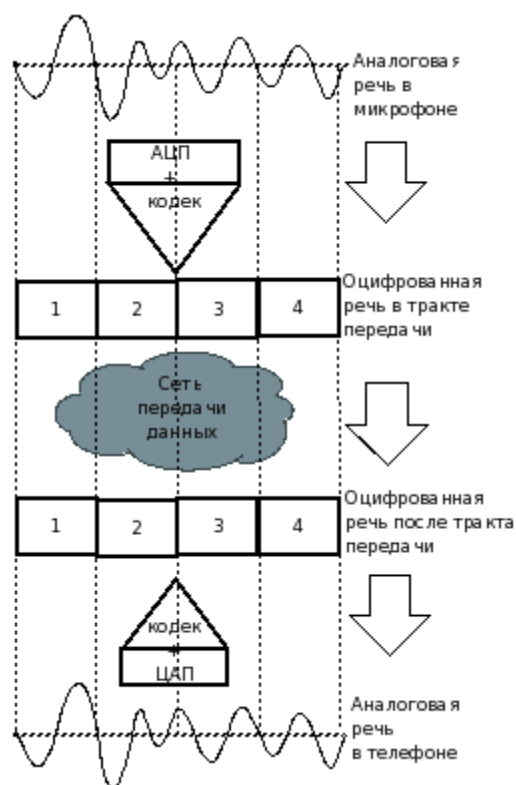


Рисунок 2.2 – Тракт передачи голоса

По большому счету, задача оборудования на передающей стороне превратить аналоговый сигнал голоса, либо видео в пронумерованные кирпичики на рисунке, а в реалии это UDP пакеты с временными метками или так называемый RTP поток. Задача приемного тракта, собрать эти кирпичики в соответствии с временными метками и воссоздать с помощью Цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) в копию сигнала передающей стороны.

В случае потери пакетов, теряется часть медийной информации, что вызывает разрывы голоса или характерные одноцветные квадратики на изображении, в случае передачи видео контента. Скорость доставки RTP пакетов в IP сетях постоянно меняется в зависимости от загрузки IP тракта. Это называется jitter. Для компенсации неравномерной скорости поступления пакетов на приемной стороне создают временное хранилище пакетов, или так называемый jitter buffer (рисунок 2.3). Его задача, собрать поступающие пакеты в правильном порядке в соответствии с временными метками и выдать их кодеку с правильными интервалами и правильном порядке.

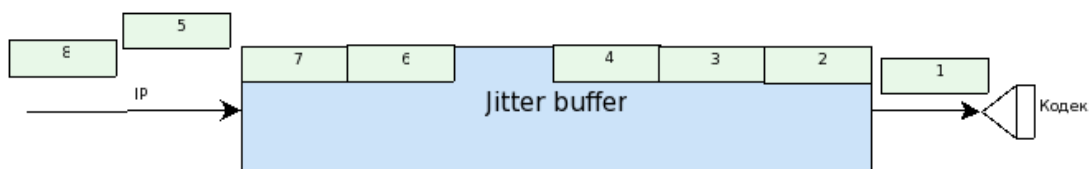


Рисунок 2.3 – Работа джиттер буфера

Размер буфера приемное VOIP устройство рассчитывает в процессе работы, либо принудительно задается в настройках. С одной стороны он не может быть слишком большой, чтобы не увеличивать транспортную задержку. С другой стороны, маленький размер буфера вызывает потери пакетов при изменениях времени задержки в IP сети.

Отсюда и происходит одно из главных противоречий, между интернет провайдерами и пользователями IP телефонии. С точки зрения провайдера все пакеты доставлены абоненту, то есть, потерь нет. А с точки зрения VOIP устройства, разница во времени между приходом пакетов значительно превышает jitter буфер. Поэтому фактически потери есть. Из практики потеря более 1% вызывает определенные неприятные ощущения. Больше 2% разговор затруднен. При значениях больше 4% разговор уже практически невозможен.

Для того, чтобы показать возможные причины потерь пакетов в реальной интернет сети, рассмотрим схему звонка, на рисунке 2.4, с софтбокса на стационарный телефон через VOIP оператора.

Наиболее частая причина это недостаточная емкость соединительной линии между провайдером и абонентом. Наличие параллельных загрузок файлов, даже на предельно маленькой скорости, могут вызвать очень серьезные проблемы, особенно при емкости абонентской линии меньше 700Kb/s. Дело в том, что размер стандартного пакета при закачке файла с HTTP или ftp приблизительно равен 1500 байт. Для прохождения этого пакета через канал емкостью, скажем 128Kbit/s, требуется приблизительно 95ms. Здесь ситуацию можно сравнить со спортивной машиной, пытающейся обогнать грузовик на участке с движением в один ряд. То есть, даже при наличии приоритетных очередей для голоса на модемах либо маршрутизаторах с обеих сторон, возможен серьезный degrade качества.

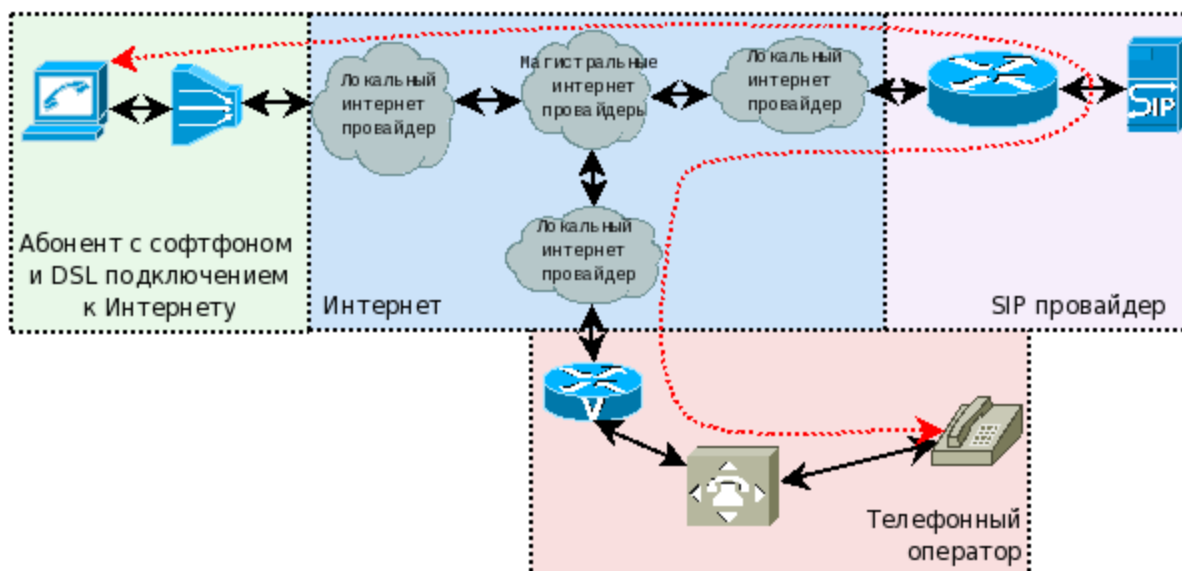


Рисунок 2.4 – Схема звонка с софтфона на стационарный телефон

### 2.3 Описание программного обеспечения использованного в исследовании

Для определения параметров использовалось программное обеспечение: Wireshark, D-ITG 2.7.0, PingTester.

Wireshark является программой-анализатором сетевых пакетов с исходным кодом. Без какого-либо специального оборудования или перенастройки эта программа может перехватывать входящие и исходящие данные на любом сетевом интерфейсе компьютера: Ethernet, Wi-Fi, PPP, loopback и даже USB. Обычно Wireshark применяется для выявления проблем в сети, таких, как перегруженность, слишком долгое время ожидания или ошибки протоколов. Но для того, чтобы изучить Wireshark, совсем не нужно ждать, когда произойдет какая-либо поломка. Анализ работы этой программы представлен виде мониторинга на рисунке 2.5.

Wireshark написан на библиотеках GTK+ и имеет графический интерфейс (GUI). Ядром Wireshark является библиотека libpcap, с помощью которой и производится перехват данных. Программа имеет встроенную поддержку очень большого количества сетевых устройств. Все современные Ethernet и Wi-Fi карты не имеют каких-либо проблем с совместимостью в этой программе.

Запуск новой сессии перехвата производится в окне программы из меню "Capture". Чтобы увидеть весь список сетевых интерфейсов, которые смогла обнаружить Wireshark, перейдите по пути в меню "Capture > Interfaces".

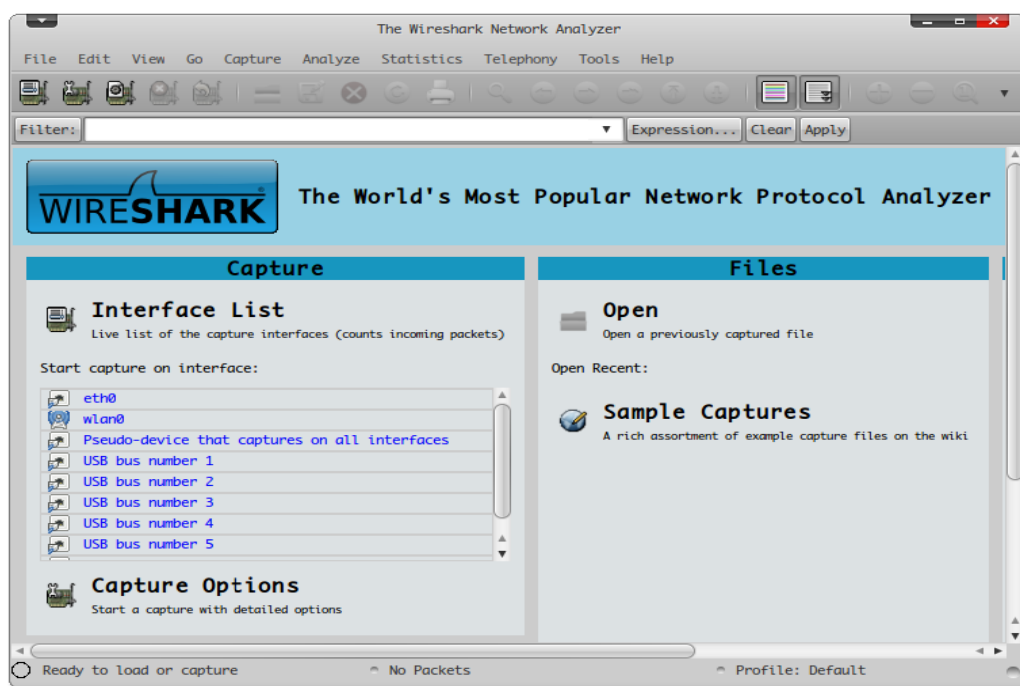


Рисунок 2.5 – Обзор программы Wireshark

Появится диалоговое окно, в котором, помимо физических устройств, будет присутствовать псевдо-устройство "any", которое перехватывает данные со всех других устройств этого списка. Перед началом можно задать некоторые опции, с которыми будет запускаться перехват. Перейдя по "Capture > Options", достаточно выбрать:

- фильтры для выборочного анализа трафика (например, по определенному протоколу или диапазону адресов);
- автоматически остановить перехват по достижении указанного в настройках времени;
- отсортировать полученные данные по указанному размеру или дате.

Первое, что вы увидите при запуске новой сессии - окно лога, где будет показываться основная информация о выполняемом программой процессе: источник, приемник, протокол, время и т.п. Вся информация организована в виде таблицы с заголовками. Для большей удобочитаемости Wireshark выполняет цветное выделение фрагментов текста, изменение цвета фона или пометку наиболее "интересных" пакетов с помощью флагов.

Продолжительность перехвата зависит от того, какую информацию вы бы хотели получить в результате. Например, для анализа и решения трудноопределимых проблем, связанных с работой Интернет-сервисов, потребуется несколько часов. Зато для ознакомления с основными возможностями программы будет достаточно всего нескольких минут.

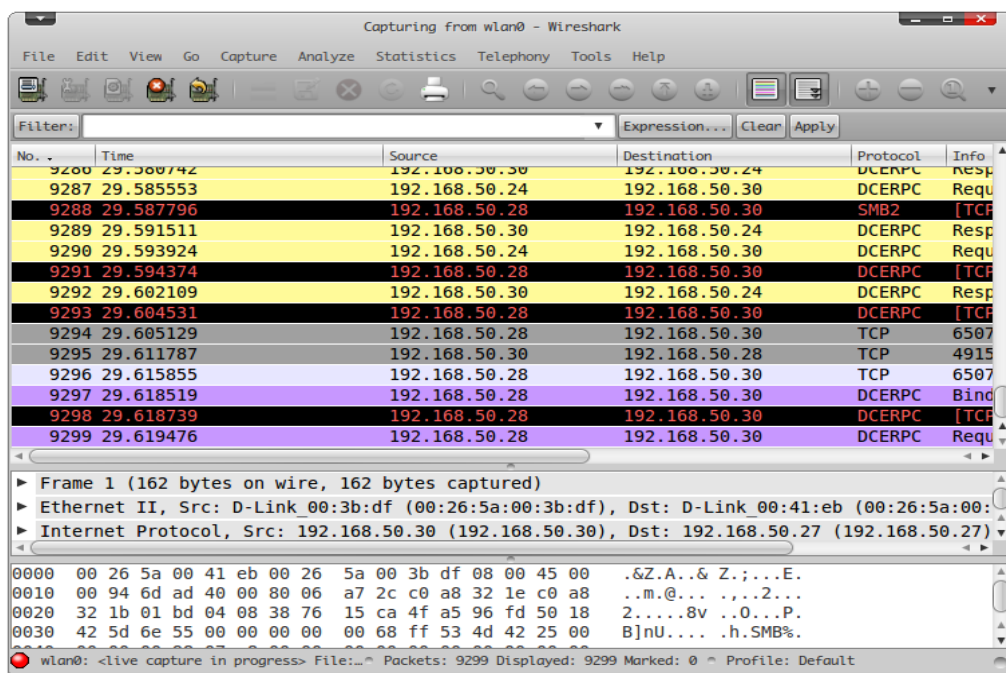


Рисунок 2.6 – Основная информация при сканировании

Для анализа любого полученного пакета достаточно выбрать его в окне логов. Однако, делать это целесообразно после остановки перехвата данных. Подробная детализация интересующего пакета будет представлена в отдельном древовидном окне, в котором все его составляющие будут рассортированы по сетевым уровням. К примеру, если у вас есть проблемы с Ethernet, вам нужно анализировать Ethernet-фреймы; если же это протокол HTTP, то вам нужно "погружаться" в уровень протокола HTTP.

Ping проверяет связь с удаленными компьютерами. Отправка эхо-пакетов Internet Control Message Protocol (ICMP) на компьютере и ожидает ответные пакеты. Ping ждет до 1 секунды для каждого отправляемого пакета и количество пакетов, отправленных и полученных на консоль выводится на печать. Данное средство доступно только в том случае, если установить протокол TCP/IP.

Этот пример, на рисунке 2.7 был получен с помощью сетевого монитора. В пакете ICMP средство Ping дополняет поля данных по 32 байт (по алфавиту).

Команда `tracert` определяет маршрут к месту назначения путем отправки эхо-пакетов ICMP с разными значениями времени жизни (TTL) для назначения. Перед пересылкой пакета каждому маршрутизатору на пути следования требуется уменьшить значение срока ЖИЗНИ пакета по меньшей мере на 1, так, чтобы значение поля TTL фактически является числом прыжков. Когда значение срока ЖИЗНИ пакета равным нулю, маршрутизатор посылает обратно ICMP «Time Exceeded» сообщений на исходном компьютере.



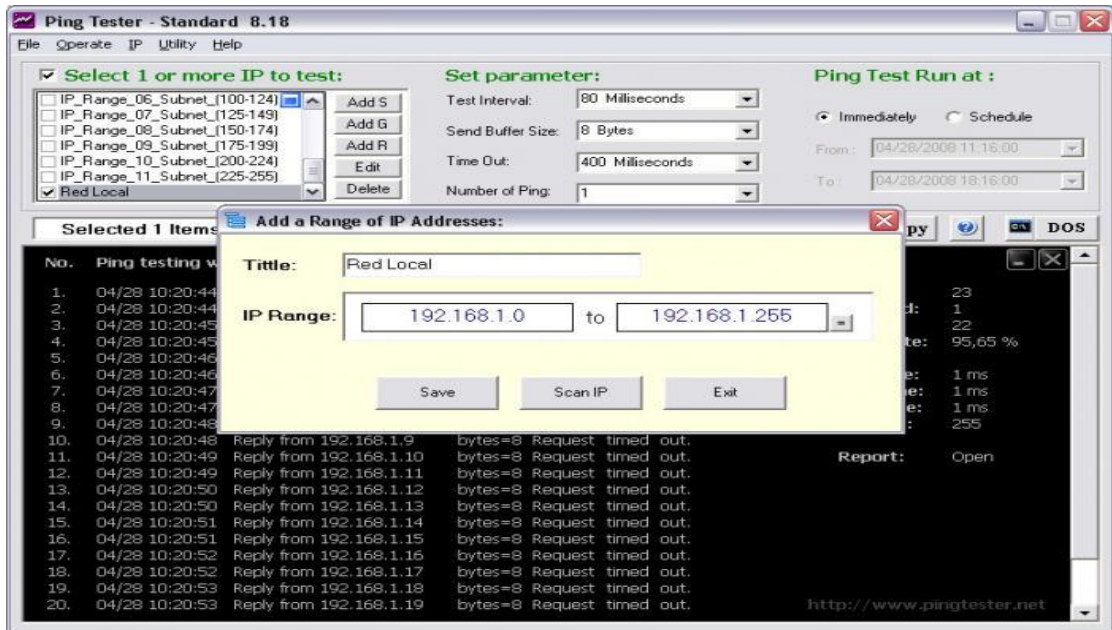


Рисунок 2.7 – Программа Pingtester

Команда `tracert` определяет маршрут, посылая первый эхо-пакета с TTL значение 1, и увеличивая значение TTL, 1 для каждого последующего отправляемого, пока конечный узел не ответит или максимальное значение поля TTL значение будет достигнуто. Маршрут определяется путем анализа сообщений ICMP «Превышено время» отправлено назад от промежуточных маршрутизаторов. Некоторые маршрутизаторы без уведомления отбрасывать пакеты с нулевыми значениями TTL и невидимы для `Tracert`.

Пример на рисунке 2.8 был получен с помощью сетевого монитора. В пакете ICMP средство `Tracert` дополняет поле данных с 64 байта из всех нулей.

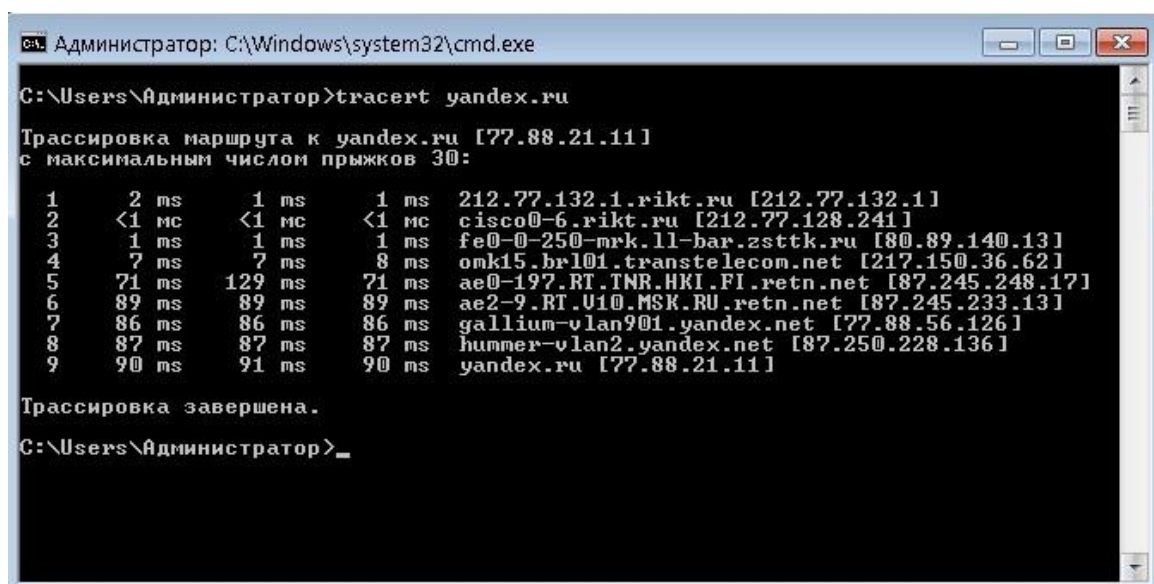


Рисунок 2.8 – Программа Tracert

## 2.4 Режимы работ OPTIX OSN 1500

Исследовались следующие режимы работ, при которых анализировались параметры передачи:

- обрыв оптического волокна при выходе из MSTP;
- переключение оборудования по схеме 1+1;
- переключение защитного кольца MS DPRing.

В результате проведенных экспериментов [8] были установлены значения параметров передачи VoIP трафика. При обычном режиме работы оборудования задержка при передаче пакета  $D_a = 0,16$  мс, колебания задержки при передаче пакетов  $J = 0,6932$  мс, число потерянных пакетов  $L=0$ . Также было установлено, что при восстановлении первоначального сигнала после аварийной ситуации, заметно увеличивается значения задержек. Как показано на рисунке 2.9, возобновление исходного уровня задержек длится 11 секунд. Значение джиттера остается в том же интервале. Потеря пакетов не наблюдается.

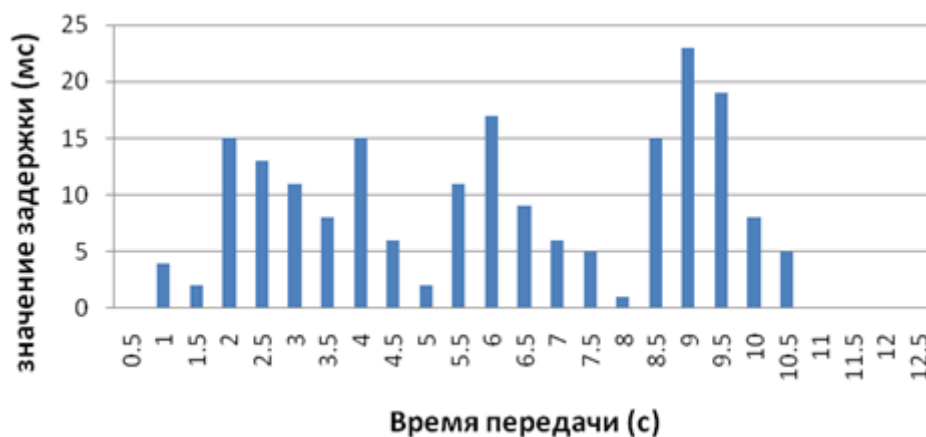
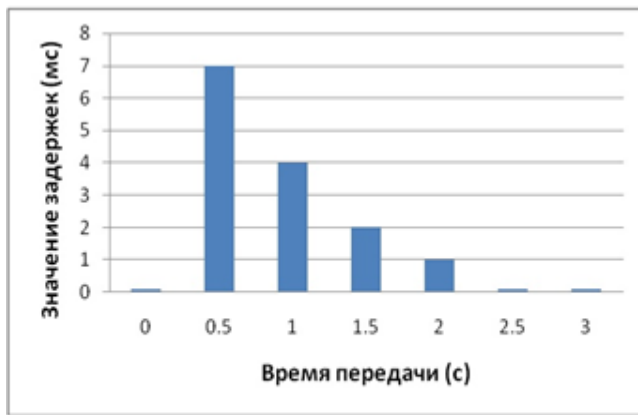
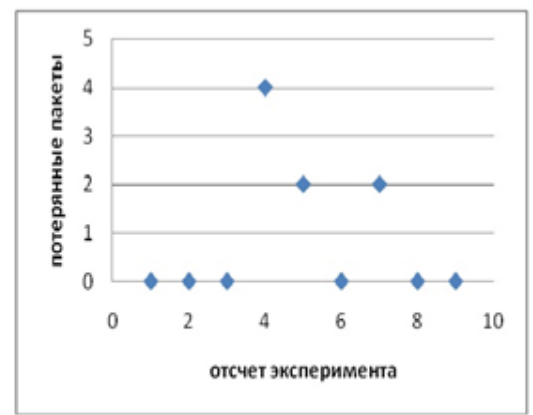


Рисунок 2.9 – Значения задержек во время передачи сигнала

Получены два графика: значения задержек во время передачи сигнала после выполнения защитного переключения (рисунок 2.10 а), и количество потерянных пакетов во время каждого эксперимента (рисунок 2.10 б). Как показано на рисунке 2.11, восстановление сигнала длится 2,5 секунды, максимальное число потерянных пакетов  $L = 4$ .



а) значения задержек во время передачи сигнала;



б) число потерянных пакетов во время эксперимента

Рисунок 2.10 – Результаты эксперимента при выполнении защитного переключения

После возобновления сигнала наблюдается этап восстановления. Рисунок 2.12 отражает значения задержек во время передачи сигнала. Значение джиттера остается в том же интервале (рисунок 2.13)



Рисунок 2.11 – Значения задержек во время передачи сигнала при выполнении защитного переключения



Рисунок 2.12 – Зависимость значения джиттера от числа экспериментов

Проведенные эксперименты подтвердили, что при обрыве линии связи и выполнении защитного переключения задержка пакетов влияет на качество передачи VoIP трафика. Девиация этих значений не является критичной величиной, что не несет в себе ухудшение качества VoIP трафика при данном диапазоне объема информации.

Далее необходимо проверить режим работы исследуемой сети при синхронизации, а также при защите сети. Структурная схема исследуемой сети представлена на рис.2.13

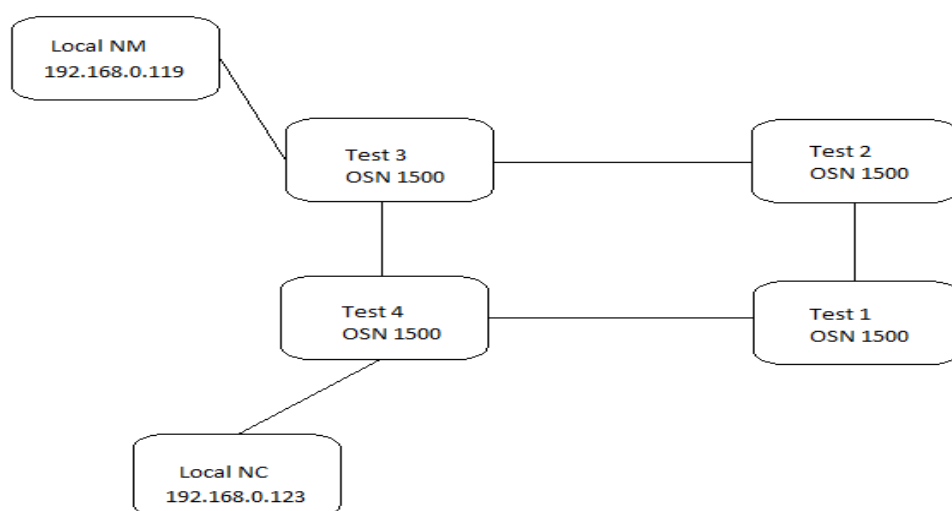


Рисунок 2.13 – Структурное изображение исследуемой сети

Сеть состоит из 4-х MSTP, соединенных между собой в 4-х волоконное кольцо с резервирующим волокном. На двух мультиплексорах из четырех работает коммутатор прозрачной передачи, к которому подключены независимые локальные сети к двум компьютерам с web камерой. При помощи программного обеспечения NetMeeting между данными локальными сетями передается VoIP трафик [3]. Каждый ТВ-канал занимает от 4 до 6Мбит/с [4].

Исследуемая сеть построена на базе оборудования компании Huawei Optix OSN 1500. OptiX OSN 1500 - это транспортная платформа 2.5G/622M нового поколения, которая позволяет передавать различные услуги на уровне доступа. Оборудование поддерживает пакетную коммутацию и передачу, объединяет в себе все возможности MSTP, SDH/PDH, Ethernet, WDM, ATM, ESCON, FC/FICON, DVB-ASI (Цифровой асинхронный последовательный порт видео вещания) и технологии RPR. Поэтому оборудование совместимо с традиционными сетями SDH и MSTP [2].

Внутренняя сеть состоит из 4-х элементов, соединенных между собой в 4-х волоконное кольцо с резервирующим волокном. На двух сетевых элементах из четырех работает коммутатор прозрачной передачи, к которому подключены независимые локальные сети. Структурное изображение исследуемой системы представлено на рисунке 1.

Четыре сетевых элемента образует между собой кольцо, по которому передается информация для ввода и вывода, которой мы подключили две локальные сети.

Для проведения экспериментов мы использовали программное обеспечение: NetMeeting, Wireshark.

Подключившись к одному из сегментов мультиплексора OptixOSN 1500, а именно Test 4 OSN 1500, мы с помощью программы NetMeeting передавали сообщения из одной локальной сети в другую подключенную к сетевому элементу Test 3 OSN 1500. Для получения данных мы использовали программу-анализатор трафика для компьютерных сетей Wireshark.

В эксперименте мы сравнивали работу сети в различных режимах работы, а именно в первом случае без синхронизации и без защиты, во втором случае без синхронизации с защитой, а в третьем случае с синхронизацией и с защитой. По результатам анализа полученных данных мы получили следующие графики.



Рисунок 2.14 – Зависимость значений задержек без синхронизации и без защиты



Рисунок 2.15 – Исследование значений задержек без синхронизации с защитой

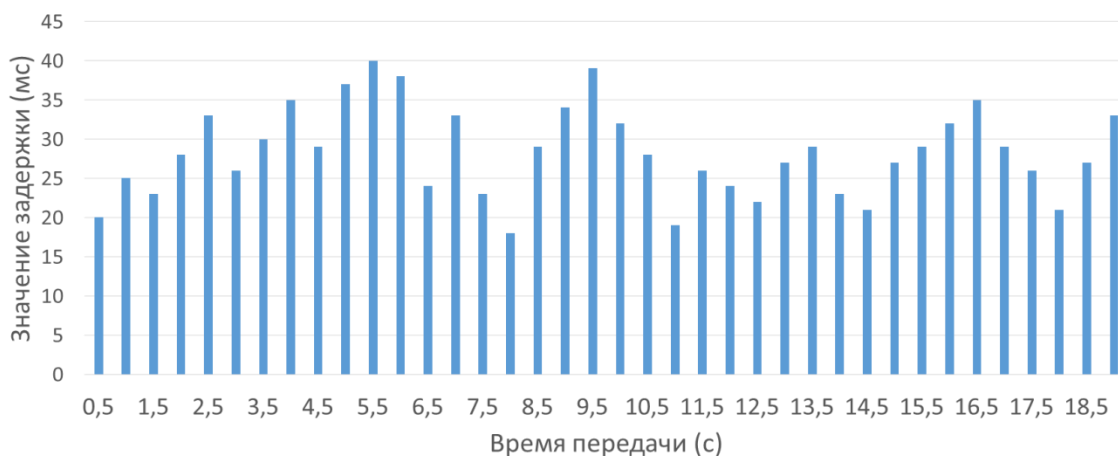


Рисунок 2.16 – Исследование значений задержек с синхронизацией и защитой

Как видно из рисунка 2.14 во время эксперимента с передачей информации без синхронизации и без защиты величина задержки колеблется в районе от 110 до 145 мс, на рисунке 2.15 от 65 до 98 мс, а на рисунке 2.16 от 18 до 40 мс.

То есть, из этого можно сделать вывод о том, что значения задержек уменьшаются при использовании защиты и синхронизации.

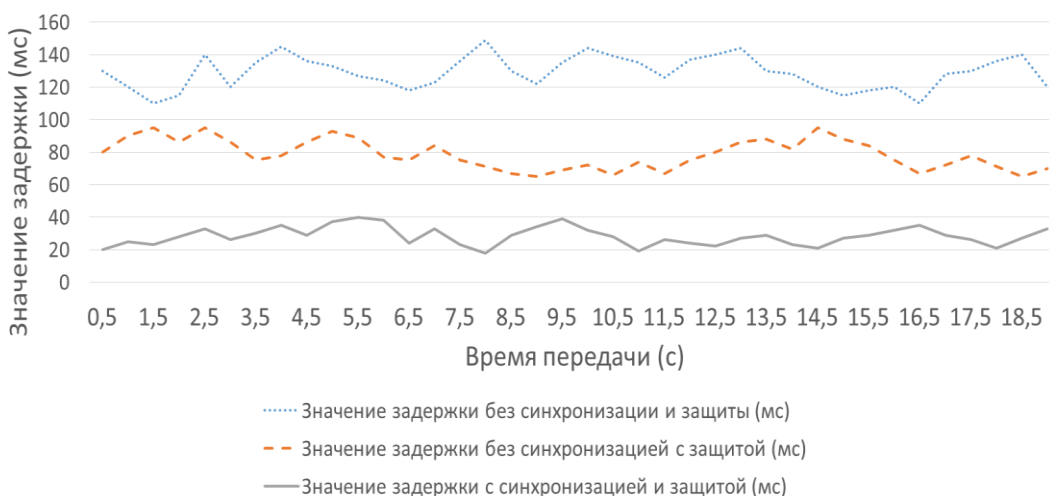


Рисунок 2.18 – Сравнительные характеристики значений задержек

Из полученных в ходе эксперимента результатов, мы делаем вывод о том, что величина задержки зависима от наличия или отсутствия синхронизации и защиты.

### 3 Расчетная часть

#### 3.1 Расчет полезной пропускной способности сети

Длительность межкадрового интервала для 100-мегабитного Fast Ethernet составляет 0,96 мкс, а для Gigabit Ethernet - в 10 раз меньше, то есть 96 нс. Межкадровый интервал в точности равен времени, необходимому для передачи 12 байт или 96 бит. Если определить в качестве единицы измерения временного интервала время, необходимое для передачи одного бита — битовый интервал (bt), то межкадровый интервал равен 96 бит. Такой способ определения временных интервалов не зависит от скорости передачи данных и часто используется в стандарте Ethernet.

Пауза  $\Delta t$  после коллизии является случайной и выбирается по следующей формуле:

$$\Delta t = L \cdot \tau, \quad (3.1)$$

где  $t$  - интервал отсрочки равный 512 бит, что при скорости 1000Мбит/с составит 0,512 мкс.

$L$  - целое случайное число, выбранное из диапазона  $[0; 2^N]$

$N$  - номер повторной попытки передачи данного кадра.

Таким образом, после десятой попытки передачи кадра случайная пауза может принимать значения:

$$\Delta t = [0; 1024] \cdot 512 \text{ бит} = 524 288 \text{ бит}$$

Для стандарта Fast Ethernet это соответствует временному диапазону от 0 до 0,524 мс.

Простое соотношение между временем, необходимым для передачи кадра минимальной длины и задержкой сигнала при распространении в сети (3.1):

$$T_{\min} \geq 2t, \quad (3.2)$$

где  $t$  - время распространения сигнала по сети Ethernet.

Так как доля служебной информации всегда одна и та же, то, чем меньше общий размер кадра, тем выше «накладные расходы». Служебная информация в кадрах Ethernet составляет 18 байт (без преамбулы).

Сам размер кадра меняется:

$$\text{от } 46 + 18 = 64 \text{ байт до } 1500 + 18 = 1518 \text{ байт.}$$

Поэтому для кадра минимальной длины полезная информация составляет  $46/64 = 71,88\%$  от общей передаваемой информации, а для кадра максимальной длины  $1500/1518 = 98,81\%$  от общей информации.

Для передачи кадра минимального размера, который вместе с преамбулой имеет длину 128 байт, или 1024 бит, а если учесть межкадровый интервал в 96 бит то получим, что период следования кадров составит 1120бит.

При скорости передачи в 1000Мбит/с это соответствует времени 1,12мкс. Тогда частота следования кадров, то есть количество кадров, проходящих по сети за 1 секунду, составит:

$$1/1,12 \text{ мкс} = 892857 \text{ кадр/с.}$$

При передаче кадра максимального размера, который вместе с преамбулой имеет длину 1582 байт или 12656 бит, период следования составляет:

$$12\,656 \text{ бит} + 96 \text{ бит} = 12\,752 \text{ бит},$$

А частота кадров при скорости передачи 1000 Мбит/с составит:

$$1/12,752 \text{ мкс} = 78419 \text{ кадр/с.}$$

Для кадра минимальной длины полезная пропускная способность равна 46 байт/кадр  $892857 \text{ кадр/с} = 328,571 \text{ Мбит/с}$ .

Для кадра максимального размера полезная пропускная способность сети равна 1500 байт/кадр  $78419 \text{ кадр/с} = 941,028 \text{ Мбит/с}$ .

Таким образом, в сети Gigabit Ethernet полезная пропускная способность может меняться в зависимости от размера передаваемых кадров от 54,76 до 975,6 Мбит/с, а частота следования кадров изменяется в диапазоне от 8127 до 148 809 кадр/с.

### 3.2 Расчет степени использования канала

В условиях стремительного роста интенсивности информационного обмена в современных сетях часто возникает необходимость в применении научно обоснованных методов предсказания последствий изменений в сети, смены топологии сети и т.д.

Для проведения расчета степени использования канала необходимо определить, что, собственно, входит в состав этой системы и то, какие параметры подлежат оценке:

$P_n$  - стационарная вероятность пребывания  $n$  требований в системе,  
 $\lambda$  - интенсивность поступления требований (величина, обратная среднему интервалу времени между моментами поступления),  
 $\mu$  - скорость обслуживания (величина, обратная среднему времени обслуживания),

$N$  - среднее число требований в системе,

$N_q$  - среднее число требований, ожидающих в очереди,

$T$  - среднее время пребывания требований в системе,

$W$  - среднее время, которое требование ожидает в очереди.

Расчет произведем для двух вариантов:

Первый вариант: 140 компьютеров подключенных на скорости 100Мбит/с.

Второй вариант: 20 компьютеров подключенных на скорости 1000Мбит/с.

Используя в нашем расчете минимальную (64 байт) и максимальную (1500 байт) длину кадра, также принимая для расчета интенсивность поступления кадров от каждой персональной машины равной 500 кадрам в секунду определим:



Min длина кадра равна 512 бит,  
Max длина кадра равна 12000 бит.

А) Интенсивность поступления кадров будет:

$$500 \text{ пак/сек.} \cdot 140 \text{ комп} = 70000 \text{ пак/сек.}$$

Переведем пакеты в биты и получим:

$$\text{Для } \lambda_{\min} = 70000 \cdot 512 = 35,84 \cdot 10^6;$$

$$\text{Для } \lambda_{\max} = 70000 \cdot 12000 = 840 \cdot 10^6.$$

Отсюда определим коэффициент использования:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.3)$$

Коэффициент использования при скорости 100 Мбит/с:

$$\rho_{\text{от } \lambda_{\min}} = \frac{35,84 \cdot 10^6}{100 \cdot 10^6} = 0,36;$$

$$\rho_{\text{от } \lambda_{\max}} = \frac{840 \cdot 10^6}{100 \cdot 10^6} = 0,84.$$

Стационарная вероятность пребывания требований в системе будет определяться по формуле (3.3):

$$P_n = (1 - \rho), \quad (3.4)$$

$$P_n_{\text{от } \lambda_{\min}} = 1 - 0,036 = 0,64;$$

$$P_n_{\text{от } \lambda_{\max}} = 1 - 0,84 = 0,16.$$

Б) Интенсивность поступления кадров будет:

$$500 \text{ пак/сек} \cdot 20 \text{ комп} = 10000 \text{ пак/сек.}$$

Переведем пакеты в биты и получим:

$$\text{Для } \lambda_{\min} = 10000 \cdot 512 = 5,12 \cdot 10^6;$$

$$\text{Для } \lambda_{\max} = 10000 \cdot 12000 = 120 \cdot 10^6.$$

Коэффициент использования при скорости 1000 Мбит/с:

$$\rho_{\text{от } \lambda_{\min}} = \frac{5,12 \cdot 10^6}{1000 \cdot 10^6} = 0,005;$$

$$\rho_{\text{от } \lambda_{\max}} = \frac{120 \cdot 10^6}{1000 \cdot 10^6} = 0,12.$$

Стационарная вероятность пребывания требований в системе будет:

$$P_n_{\text{от } \lambda_{\min}} = 1 - 0,005 = 0,995;$$

$$P_n_{\text{от } \lambda_{\max}} = 1 - 0,12 = 0,88.$$

### 1.3 Расчет степени занятости канала связи

Для расчета степени занятости канала связи воспользуемся формулой (3.30):

$$P = \frac{V}{V_{\text{обсл}}}, \quad (3.5)$$

где  $V$  - скорость поступления кадров;

$V_{\text{обсл}}$  - скорость обслуживания кадров.

Скорость поступления кадров можно определить исходя из интенсивности трафика, т.е. от количества передаваемых кадров по формуле (3.6).

$$V = \frac{N_{\text{кадров}}}{T}, \quad (3.6)$$

где  $N_{\text{кадров}}$  - количество передаваемых кадров в течение рабочего дня;

$T$  - продолжительность рабочего дня, час.

Необходимое число кадров Ethernet для передачи полезной информации в течение рабочего дня рассчитаем по формуле (3.7):

$$N = \left[ \frac{Q}{64} \right] + 1, \quad (3.7)$$

где  $Q$  - объем передаваемой информации, байт;

64 - длина одного кадра Ethernet, байт.

Для передачи информации по сети к информационным пакетам добавляется адресная информация, следовательно, общая длина кадра, передаваемого по каналу, рассчитывается по формуле (3.8).

$$L_{\text{кадра}} = L_{\text{инф}} + L_{\text{сл}}, \quad (3.8)$$

где  $L_{\text{инф}}$  - длина информационной части кадра;

$L_{\text{сл}}$  - длина служебной информации.

Для технологии Gigabit Ethernet длина информационной части (в нашем случае)  $L_{\text{инф}} = 46$  байт и длина служебной информации  $L_{\text{сл}} = 18$  байт, следовательно, общая длина кадра равна:

$$L_{\text{кадра}} = 46 + 18 = 64 \text{ байт.}$$

Объем передаваемой информации по локальной сети в течение одного рабочего дня при скорости 1000 Мбит/с сервером доступа рассчитывается с помощью формулы (3.9). Для обеспечения приемлемого качества передаваемого сигнала необходимо использовать полосу пропускания не менее 8 Кбит/с.

$$Q = \frac{q}{8 \cdot 10^3} \cdot t, \quad (3.9)$$

где  $q$  - скорость передачи данных, бит/с;

$t$  - время передачи, час.

Время работы линии в сутки составляет 24 часа. Численно объем данных, передаваемых одним сервером доступа, равен:

$$Q = \frac{1000 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^3} \cdot 24 \cdot 3600 = 108 \cdot 10^8 \text{ бит.}$$

Численно число передаваемых кадров равно:

$$N = \left[ \frac{108 \cdot 10^8}{64} \right] + 1 = 168750001 \text{ кадров/день.}$$

При данных условиях скорость поступления кадров равна:

$$V = \frac{168750001}{24 \cdot 3600} = 1953 \text{ кадров/с.}$$

Для расчета скорости обслуживания зададимся некоторой фиксированной скоростью работы магистрального канала. Время обслуживания одного кадра определяется по формуле (3.10):

$$t_{\text{обсл}} = \frac{L_{\text{кадра}} \cdot 8}{V_{\text{канала}}}, \quad (3.10)$$

где  $L_{\text{кадра}}$  - длина передаваемого кадра, байт;

$V_{\text{канала}}$  - скорость обмена информации в канале связи, бит/с.

Время передачи кадра отождествляется со временем обслуживания. Скорость обслуживания является обратной величиной ко времени обслуживания формула (3.11):

$$V_{\text{обсл}} = \frac{1}{t_{\text{обсл}}} = \frac{V_{\text{канала}}}{L_{\text{кадра}} \cdot 8} \quad (3.11)$$

Скорость обслуживания кадров может оказаться больше, чем скорость поступления кадров. В этом случае пропускной способности канала будет более чем достаточной. Однако необходимо учитывать, что скорость поступления кадров - это средняя по времени величина. Существуют такие ситуации в часы наибольшей нагрузки, когда происходит передача крупных порций информации, интенсивность которых превосходит возможности пропускной способности канала.

В случае, когда скорость обслуживания кадров оказывается меньше, чем скорость поступления кадров пропускная способность магистрального канала оказывается недостаточной. Коммутатор в данном случае осуществляет буферизацию данных: вновь принимаемые кадры накапливаются в буферной памяти до тех пор, пока не будут переданные предыдущие кадры. В данном случае возникают очередь и задержки. Теория массового обслуживания позволяет оценить время задержки исходя из скорости работы линии связи.

Зная степень занятости канала можно рассчитать вероятность отсутствия кадров в канале связи по формуле (3.12):

$$P_0 = 1 - P, \quad (3.12)$$

где  $P$  - степень использования канала связи.

Расчет степени использования и вероятности отсутствия кадров в канале произведем для скоростей передачи данных в канале связи на скоростях от 100 до 1000 Мбит/с с шагом изменения скорости 100 Мбит/с.

Результаты расчета сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1- Результаты расчета скорости обслуживания в канале, степени занятости канала Р и вероятности отсутствия кадров в канале Р<sub>о</sub>

V, Мбит/с	t <sub>обсл</sub> , мкс	V <sub>обсл</sub> , бит/с	Р	Р <sub>о</sub>
100	5,12	195000	0,923	0,077
200	2,56	391000	0,462	0,538
300	1,71	585000	0,308	0,602
400	1,28	781000	0,231	0,769
500	1,02	976000	0,184	0,816
600	0,85	1171000	0,154	0,846
700	0,73	1367000	0,132	0,868
800	0,64	1562000	0,115	0,885
900	0,57	1757000	0,102	0,898
1000	0,51	1953000	0,092	0,908

Из таблицы 3.1 видно, что по мере уменьшения степени занятости канала вероятность отсутствия кадров возрастает. В перспективе планируется увеличение числа терминалов сети и соответственно, увеличение объемов трафика, можно охарактеризовать данную пропускную способность канала как наиболее оптимальную для выбранной технологии и качества передачи.

Канал связи является системой с определенным классом обслуживания. Можно сказать, что канал связи, является системой обслуживания «с ожиданием». Следовательно, для выбранной оптимальной пропускной способности канала можно определить такие параметры как:

- среднее число кадров, одновременно находящихся в системе;
- среднее число кадров, ожидающих обслуживания в очереди;
- среднее время нахождения кадра в системе;
- среднее время ожидания в очереди.

Среднее число кадров, одновременно находящихся в системе, определим по формуле (3.13):

$$L = \frac{V}{V_{\text{обслуж.}} - V}, \quad (3.13)$$

где L - среднее число кадров, одновременно находящихся в системе;

V - средняя скорость поступления кадров;

V<sub>обсл.</sub> - средняя скорость обслуживания.

Численно эта величина равна:

$$L = \frac{180000}{976000 - 180000} = 0,23 \text{ кадра.}$$

Для определения числа кадров, ожидающих обслуживания в очереди, воспользуемся формулой (3.14).

$$L_q = P \cdot L, \quad (3.14)$$

где  $L_q$  - среднее число кадров, ожидающих обслуживания;  
 $P$  - степень использования канала.

Численно число кадров, ожидающих обслуживания, равно:

$$L_q = 0,184 \cdot 0,23 = 0,04 \text{ кадра.}$$

Среднее время нахождения кадра в системе представляет собой величину, обратную разнице между скоростью обслуживания и скоростью поступления кадров, т.е. определяется формулой (3.15).

$$W = \frac{1}{V_{\text{обсл}} - V}, \quad (3.15)$$

где  $W$  - среднее время нахождения кадра в системе;

$V_{\text{обсл}}$  - скорость обслуживания;

$V$  - скорость поступления кадров.

Время нахождения кадра в системе:

$$W = \frac{1}{976000 - 180000} = 12,6 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

Таким образом, можно сказать, что вызванная наличием очередей задержка кадров при передачи по каналу пропускной способностью 500 Мбит/с составит в среднем  $12,6 \times 10^{-5}$  секунд. Необходимо отметить, что это время составляет лишь часть полного времени нахождения кадра в системе. Необходимо также учитывать время распространения сигнала по физической среде.

Важным параметром, характеризующим очередь, является время ожидания в очереди, которое определяется по формуле (3.16).

$$W_q = W \cdot P, \quad (3.16)$$

где  $W_q$  - время ожидания в очереди;

$W$  - время нахождения кадра в системе.

Численно значение времени ожидания в очереди равно:

$$W_q = 12,6 \cdot 10^{-5} \cdot 0,184 = 2,3 \times 10^{-5} \text{ с.}$$

Время нахождения кадра в системе включает в себя время ожидания в очереди. Разность времени нахождения и времени ожидания дает время обслуживания одного кадра каналом или время передачи по каналу связи:

$$t = W - W_q, \quad (3.17)$$

$$t = W - W_q = 12,6 \cdot 10^{-5} - 2,3 \cdot 10^{-5} = 10,3 \cdot 10^{-5} = 1,03 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 1,03 \text{ мкс.}$$

Рассчитанное таким образом время обслуживания, в общем, (с учетом погрешностей окружения) совпадает с рассчитанным в таблице 3.1.

### 3.4 Расчет времени передачи пакета

Расчет будет производиться при следующих исходных данных:

$L_{ИМИН} = 368$  бит – минимальная длина информационной части пакета;

$L_{ИМАКС} = 12000$  бит – максимальная длина информационной части пакета;

$L_{СЛ} = 144$  бит - служебная часть пакета;

$R_K = 1000$  Мбит/с - пропускная способность тракта между коммутаторами;

$m = 20$  – максимальное число абонентов, установивших связь с коммутатором;

$R_{И} = 1$  Мбит/с - скорость передачи данных от терминала.

Время передачи (обслуживания)  $\mu$  при обслуживании пакетов, является величиной постоянной и определяется по формуле (3.18):

$$\mu = t_{ОБСЛ} = \frac{(L_{И} + L_{СЛ})}{R_K}, \quad (3.18)$$

где  $L_{И}$  – длина информационной части пакета, бит;

$L_{СЛ}$  – служебные биты (преамбула и концевик) пакета, бит;

$R_K$  – пропускная способность тракта между коммутаторами, бит/с;

$t_{обсл}$  – время обслуживания;

$\mu$  – время передачи.

Для кадра  $L_{ИМИН}$  :

$$\mu = (368+144)/1000 \cdot 10^6 = 0,512 \text{ мкс.}$$

Для кадра  $L_{ИМАКС}$  :

$$\mu = (12000+144)/1000 \cdot 10^6 = 12,144 \text{ мкс.}$$

Коэффициент использования  $K_{исп}$  находится по формуле (3.19):

$$K_{исп} = \frac{m \cdot R_{И}}{2 \cdot R_K} \cdot \left(1 + \frac{L_{СЛ}}{L_{И}}\right), \quad (3.19)$$

где  $m$  – число абонентов, установивших связь с коммутатором;

$R_{И}$  – скорость передачи данных от терминала, бит/с.

Для кадра  $L_{ИМИН}$  :

$$K_{исп} = \frac{20 \cdot 1 \cdot 10^6}{2 \cdot 1000 \cdot 10^6} \cdot \left(1 + \frac{368}{144}\right) = 0,036 .$$

Для кадра  $L_{ИМАКС}$  :

$$K_{исп} = \frac{20 \cdot 1 \cdot 10^6}{2 \cdot 1000 \cdot 10^6} \cdot \left(1 + \frac{12000}{144}\right) = 0,84 .$$

### 3.5 Расчет времени запаздывания

Среднее время запаздывания  $m(T)$  примет вид:

$$m(T) = \frac{2 - K_{исп} - \frac{x}{1 - p + 2 \cdot x}}{2 \cdot (1 - K_{исп})} \cdot \mu \quad (3.21)$$

Типичные значения вероятностей перехода равны  $p = 0,9$  и  $x = 0,3$ , что соответствует случаю, когда 60% времени последовательность находится в состоянии 2 (оба собеседника молчат) или 3 (говорит один из собеседников), т.е. канал используется только на 40%.

Оценка средней задержки. При постоянном прибытии пакетов (модель M/D/1) можно определить по формуле 3.46:

$$m(T) = \frac{0,75 - \frac{K_{исп}}{2}}{1 - K_{исп}} \cdot \mu \quad (3.22)$$

Для кадра  $L_{ИМИН}$  :

$$m(T) = \frac{0,75 - \frac{0,036}{2}}{1 - 0,036} \cdot 0,512 \cdot 10^{-6} = 5,86 \text{ мкс.}$$

Для кадра  $L_{ИМАКС}$  :

$$m(T) = \frac{0,75 - \frac{0,84}{2}}{1 - 0,84} \cdot 12,144 \cdot 10^{-6} = 25,05 \text{ мкс.}$$

Для оценки качества передачи по сети необходимо знать общую задержку, которая является суммой средней задержки в очереди, задержки в кодеке и задержке пакетирования.

Результирующая задержка  $m(T_{\Sigma})$  складывается из задержки в очереди  $m(T)$ , задержки пакетизации  $\delta_3$  и алгоритмической задержки  $\delta_{кодер}$  в кодерах:

$$m(T_{\Sigma}) = m(T) + \delta_3 + \delta_{КОДЕР}, \quad (3.23)$$

где задержка пакетизации  $\delta_3$  определяется по формуле:

$$\delta_3 = \frac{(L_{И} + L_{СЛ})}{R_{И}} \quad (3.24)$$

Для кадра  $L_{ИМИН}$  :

$$\delta_3 = (368+144)/1 \cdot 10^6 = 0,512 \text{ мс.}$$

При  $R_{И} = 1$  Мбит/с значение  $\delta_{кодер} = 1$  мс

$$m(T_{\Sigma}) = 0,00586 + 0,512 + 1 = 1,518 \text{ мс.}$$

Для кадра  $L_{ИМАКС}$  :

$$\delta_3 = (12000+144)/1 \cdot 10^6 = 12,144 \text{ мс,}$$

$$m(T_{\Sigma}) = 0,025 + 12,144 + 1 = 13,168 \text{ мс.}$$

Полученное значение не превышает рекомендованного значения  $m(T_{\Sigma})=200$  мс.

### 3.6 Расчет оптимизации длины пакета при пакетной передаче

Для определения оптимальной длины пакета достаточно определить оптимальную длину информационной части пакета, т. к. служебная часть пакета данных является постоянной. Оптимальная длина пакета может быть найдена из решения уравнения (3.25):

$$\frac{dm(T_{\Sigma})}{dL_{II}} = 0. \quad (3.25)$$

После выполнения необходимого преобразования оптимальная длина информационной части пакета определяется по формуле 3.26:

$$L_{II\text{опт}} = L_{CЛ} \left[ \frac{k}{(1-k)} \right] (1+F), \quad (3.26)$$

$$k = \frac{m \cdot R_{II}}{2 \cdot R_k}, \quad (3.27)$$

$$k = (20 \cdot 1 \cdot 10^6) / 2 \cdot 1000 \cdot 10^6 = 0,01$$

$$F = \sqrt{1 - \frac{1 - \frac{R_u}{2 \cdot R_k \cdot k} \cdot \left(\frac{1}{2} - k\right)}{1 + \frac{R_u}{R_k} \cdot \left(0,75 - \frac{k}{2}\right)} \cdot \frac{1-k}{1-k}}, \quad (3.28)$$

$$F = \sqrt{1 - \frac{1 - \frac{1 \cdot 10^6}{2 \cdot 1000 \cdot 10^6 \cdot 0,01} \cdot \left(\frac{1}{2} - 0,01\right)}{1 + \frac{1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 10^6} \cdot \left(0,75 - \frac{0,01}{2}\right)} \cdot \frac{1-0,01}{1-0,01}} = 0,156.$$

После выполнения необходимого преобразования оптимальная длина информационной части пакета определяется по формуле (3.29):

$$L_{II\text{опт}} = 144 \cdot [0,01 / (1 - 0,01)] \cdot (1 + 0,156) = 2 \text{ бита.}$$

Оптимальное время запаздывания определяется по формуле:

$$m(T_{\Sigma})_{Lu} = L_{\text{опт}} = T_{L\text{опт}} = \frac{L_{CЛ}}{R_{II}} \cdot \left[ \frac{k \cdot (F+1)^2}{(1-k) \cdot F} \cdot \left( \frac{R_{II}}{R_k} \cdot \frac{(0,75 - 0,5 \cdot k)}{(1-k)} + 1 \right) \right] +$$

$$+ (F+1) \cdot \left( \frac{R_{II}}{R_k} \cdot \frac{(0,75 - k)}{(1-k)} - \frac{k}{(1-k)} - \frac{R_{II}}{2 \cdot R_k} \right), \quad (3.30)$$

$$m(T_{\Sigma})_{Lu} = \frac{144}{1 \cdot 10^6} \cdot \left[ \frac{0,01 \cdot (0,156 + 1)^2}{(1 - 0,01) \cdot 0,156} \cdot \left( \frac{1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 10^6} \cdot \frac{(0,75 - 0,5 \cdot 0,01)}{(1 - 0,01)} + 1 \right) \right] +$$

$$+ (0,156 + 1) \cdot \left( \frac{1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 10^6} \cdot \frac{(0,75 - 0,01)}{(1 - 0,01)} - \frac{0,01}{(1 - 0,01)} - \frac{1 \cdot 10^6}{2 \cdot 1000 \cdot 10^6} \right) = 12,182 \text{ мкс}$$



## **Заключение**

В данной работе рассматриваются наиболее общие вопросы построения и управления сетью на основе требований к качеству сервиса (QoS). Причем все это в равной мере относится и к корпоративным сетям, и к Интернету — независимо от выбранной сетевой технологии (ATM, FrameRelay или SONET). Построена модель звена мультисервисной сети связи, которую можно использовать для оценки характеристик совместной передачи произвольного числа потоков широкополосной нагрузки при наличии для каждого потока возможности повторения заблокированной заявки на выделение канального ресурса. Каждый поток характеризуется интенсивностью поступления вызовов, требованием к необходимой величине канального ресурса, длительностью занятия канального ресурса, вероятностью повторения заблокированной заявки и временем, через которое заблокированное сообщение повторно будет предложено для обслуживания.

Даны формальные определения основным показателям совместного обслуживания с использованием стационарных состояний модели, которые помимо числа обслуживаемых сообщений каждого вида учитывают также и число заявок, находящихся на повторении.

К основным показателям обслуживания вызовов, которые будут использоваться для решения задач проектирования сети относятся: общая доля потерянных вызовов, доля времени, в течение которого линия не доступна для обслуживания заявок данного вида, среднее число канальных единиц, занятых каждым потоком, а также показатели, связанные с наличием повторных заявок для конкретного потока: среднее число повторных заявок на одну первичную и среднее число заявок, находящихся в состоянии повторения.

Проведено исследование варианта звена с одним потоком широкополосной нагрузки и возможностью повторения заблокированной заявки. Построен алгоритм оценки основных показателей совместного обслуживания. Показано, что в рассматриваемом частном случае алгоритм решения системы уравнений стационарного равновесия распадается на решение фиксированного числа подсистем, равного по количеству ограничению на максимально возможное число заявок, которые одновременно могут находиться в состоянии повторения, увеличенное на единицу.

Алгоритм отличается эффективностью реализации и может быть использован при любых соотношениях между входными параметрами системы. Построена модель звена мультисервисной сети связи, которую можно использовать для оценки характеристик совместной передачи произвольного числа потоков широкополосной нагрузки при наличии для каждого потока возможности повторения заблокированной заявки на выделение канального ресурса. Каждый поток характеризуется интенсивностью поступления вызовов, требованием к необходимой величине канального ресурса, длительностью занятия канального ресурса, вероятностью повторения заблокированной заявки и временем, через которое

заблокированное сообщение повторно будет предложено для обслуживания.  
В работе проведены экспериментальные исследования по определению параметров качества в мультисервисных сетях.

## Список литературы:

1. Сычев К. И. Многокритериальное проектирование мультисервисных сетей связи/ К. И. Сычев// Телекоммуникации. — № 9. — 2007. — с. 2–7.
2. Олвейн Вивек. Структура и реализация современной технологии MPLS.: Пер. с англ. — Издательский дом «Вильямс», 2004. — 480 с.
3. Климов Д. А. Построение сетей MPLS VPN. Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — №51 — 2009. — с. 57-59.
4. Лукин И. А. Мультисервисные решения — основа построение сетей. Вестник связи. — №4 — 2005. — с. 106-108
5. Навойцев В. В. Построение мультисервисных сетей связи на основе технологии локальных и вычислительных сетей. Известия Петербургского университета путей сообщения. — №2 —2008. — с. 119-128.
6. Захватов М. Построение виртуальных частных сетей (VPN) на базе технологии MPLS. — М.: Риверсайд Тауерз, 2004. —52 с.
7. Гольдштейн А. Б. Механизм эффективного туннелирования в сети MPLS. Вестник связи. —№2 — 2004.
8. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. Технология и протоколы MPLS. —СПб.: БХВ, 2005. — 304 с.
9. Филимонов А. Ю. Построение мультисервисных сетей Ethernet. —СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 592 с.
10. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. «Сети связи пост-NGN» СПб.:БХВ-Петербург,2013.-160 с.
11. [http://www.rotec.ru/products/products.phtml?huawei/h\\_osn1500.inc](http://www.rotec.ru/products/products.phtml?huawei/h_osn1500.inc)
12. Трещановский П.А. Оптимизация стохастической модели трафика для мультисервисных сетей // Инженерный вестник Дона. - 2011. - № 3. - С. 1-8.
13. Филимонов А.Ю. Построение мультисервисных сетей Ethernet. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 592 с.
14. Широков В.Л., Лысяков Ю.М. Временные задержки в сети микроЭВМ с шиной Q-bus // Иваново. Тезисы докладов всесоюзного научного семинара. "Локальные вычислительные сети: Опыт реализации и перспективы развития". – М.: МЦНТИ. – 1986. – С.84-88.
15. Столингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – М.: Питер. – 2003. – 783 с.
16. Kleinrock, L. *Queueing Systems, Volume II: Computer Applications*. New York: Wiley, 1976.
17. [http://intranet.kartel.local/Directions/TD/otdel\\_kontrolyaka4estva.wbp](http://intranet.kartel.local/Directions/TD/otdel_kontrolyaka4estva.wbp)
18. Алиев А.Х. Оценка параметров качества в мультисервисных сетях доступа. Научный журнал «Поиск» - №1 – 2014 – стр. 142-145