

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

К защите допустить
Зав. кафедрой ТС и СК
доцент А.Эшмурадов _____

« ____ » _____ 2009 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему _____ **Анализ качества функционирования**
_____ **мультисервисных сетей связи** _____

Выпускник	_____	Улуғхўжаев И.М.
	подпись	ф.и.о.
Руководитель	_____	Эшмурадов А.М.
	подпись	ф.и.о.
ОТ и ТБ	_____	Алиев У.Т.
	подпись	ф.и.о.
Рецензент	_____	_____
	подпись	ф.и.о.

Ташкент - 2009

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Факультет ТТ кафедра ТС и СК
Направление 5522200 - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ

У Т В Е Р Ж Д А Ю
Зав. кафедрой ТС и СК _____
« ____ » _____ 200__ г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента _____

Улуғхўжаев Исмоил Махаммадхонович

(фамилия, имя, отчество)

на тему Анализ качества функционирования

мультисервисных сетей связи

1. Тема утверждена приказом по университету от 26.01.2009 г. № 44-09
 2. Срок сдачи законченной работы 10.06.09 г.
 3. Исходные данные к работе Материалы изысканий, полученные при прохождении производственной практике.
 4. Содержание расчётно-пояснительной записки (перечень подлежащих к разработке вопросов) 1. Принципы построения мультисервисных сетей связи. 2. Показателей качества функционирования мультисервисных сетей связи. 3. Расчет и оценка качества функционирования мультисервисных сетей связи. 4. Охрана труда и техника безопасности.
 5. Перечень графического материала 1. Сравнительный график роста трафика данных и голос. 2. Модель разговорного тракта в сети.
 3. Типичное распределение задержки IP-пакетов 4. Структурная схема трактов систем передачи мультисервисной сети. 5. Значения потерь нагрузки QoS. 6. Графики функций зависимости коэффициента действительного ухудшения за счет оборудования от коэффициента потерь пакетов.
6. Дата выдачи задания 12.01.09 г.

Руководитель _____
подпись

Задание принял _____
подпись

7. Консультанты по отдельным разделам выпускной работы:

Наименование раздела	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание получил
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	Эшмурадов А.М.	12.01.09	12.01.09
ОТ и ТБ	Алиев У.Т.	14.03.09	14.03.09

8. График выполнения работы

№	Наименование раздела	Срок выполнения	Подпись руководителя (консультанта)
1.	Принципы построения мультисервисных сетей связи	17.02.09	
2.	Показателей качества функционирования мультисервисных сетей связи	09.03.09	
3.	Расчет и оценка качества функционирования мультисервисных сетей связи	31.03.09	
4.	Охрана труда и техника безопасности	28.04.09	

Выпускник _____ « » _____ 2009 г.
подпись

Руководитель _____ « » _____ 2009 г.
подпись

В данный выпускной квалификационной работе приведена качество функционирования мультисервисных сетей и расчёты показателей качества сети. Кроме того, рассмотрены вопросы техника безопасности и охрана труда при эксплуатации телекоммуникационных сетей связи.

Мазкур битирув малакавий ишида мультисервис тармоғини сифатли ишлаш даражаси тахлили ва тармоқни сифат кўрсаткичлари бўйича ҳисоблашлар келтирилган. Бундан ташқари техника хавфсизлиги масалалари кўриб чиқилди.

In the given final qualifying work be resulted quality of functioning of multiservice networks and accounts of parameters quality of a network. Questions the protection of work and security precautions also are considered.

ВВЕДЕНИЕ6
1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ8
1.1. Понятие мультисервисной сети8

1.2. Услуги мультисервисной сети	10
1.3. Мультисервисная сеть на основе IP/MPLS и Softswitch	14
1.4. Качество обслуживания в мультисервисных сетях	29
2. ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ	34
2.1. Показатели качества передачи телефонного трафика и потока видеоизображения в МСС	34
3. РАСЧЕТ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ	51
3.1. Оценка пропускной способности МСС	51
3.2. Расчет разделения типов нагрузки МСС	56
3.3. Расчет задержек и вероятности потерь элементов МСС	69
3.4. Расчет временных характеристик МСС	78
4. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	86
4.1. Техника безопасности при работе на электроустановках	86
4.2. Санитарные требования к оборудованию производственным помещениям	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
ЛИТЕРАТУРА	98
ПРИЛОЖЕНИЕ	99

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Беспрецедентное развитие в конце XX в. информационной и коммуникационной отраслей предопределило появление новых технологий, обеспечивающих предоставление услуг мультимедиа в широкополосных

сетях. Такие технологии и концепции отражают большие изменения на рынке телекоммуникаций, среди которых можно выделить следующие:

- создание новой глобальной сетевой инфраструктуры на базе широкополосных сетей и суперскоростных глобальных магистралей;
- принципиальные изменения на рынке дополнительных услуг, где доминирующую роль начинают играть услуги сетей мобильной связи и Internet;
- появление на рынке новых типов "игроков" - брокеров, розничных продавцов и т. д., что обуславливает более жесткую конкуренцию и изменение стоимости услуг.

В Республике Узбекистан этим вопросам уделяется тоже большое внимание. Развитие сферы информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) является одним из приоритетных направлений для Узбекистана.

За годы независимости Узбекистана произошли кардинальные изменения в жизни нашего общества, изменились цели и задачи, стоящие сегодня перед нашей экономикой, телекоммуникационной отраслью, информационной индустрией. В республике уделено особое внимание формированию Национальной системы с широким доступом к глобальным информационным системам и технологиям. Указ Президента Республики Узбекистан И.А.Каримова "О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно-коммуникационных технологий" дал мощный импульс дальнейшему развитию информационных технологий в Узбекистане. Была утверждена "Программа развития компьютеризации и информационно-коммуникационных технологий на 2002-2010 годы".

В труде Президента Узбекистана И.А. Каримова «Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана» говорится и о решении задач непосредственно касающихся сферы связи и информатизации. Так на странице 31 этого труда сказано: «Говоря другими словами, мы должны думать о посткризисном периоде нашего развития, выработке глубоко продуманной долгосрочной Программы

целевых проектов по модернизации и техническому обновлению базовых отраслей нашей экономики, внедрению современных инновационных технологий, призванных дать мощный толчок по выходу Узбекистана на новые рубежи, обеспечивающие конкурентоспособность нашей страны на мировом рынке». На странице 32 говорится о том, что: «Предварительная проработка проекта Программы по реализации важнейших приоритетных проектов, направленных на модернизацию, техническое и технологическое обновление и кардинальное повышение конкурентоспособности и рост экспортного потенциала экономики, показывает, что этот проект может включить в себя около 300 инновационных проектов в топливно-энергетической, химической и нефтегазоперерабатывающей, металлургической отраслях, легкой и текстильной промышленности, промышленности строительных материалов и машиностроении и других отраслях экономики на общую сумму свыше 24,0 млрд. долларов США, из них проекты нового строительства – около 18,5 млрд. долларов, проекты модернизации, реконструкции, технического и технологического перевооружения – примерно 6,0 млрд. долларов».

1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

1.1. Понятие мультисервисной сети

На сегодняшний день телекоммуникационным операторам приходится удовлетворять потребности клиентов в передаче разнообразного трафика и предоставлении клиентам большого спектра услуг.

Мультисервисная сеть - это инфраструктура, использующая единый канал для передачи данных разных типов трафика. Она позволяет уменьшить разнообразие типов оборудования, применять единые стандарты и единую кабельную систему, централизованно управлять коммуникационной средой для предоставления наиболее полного спектра услуг.

Проектирование мультисервисной сети начинается с определения видов предоставляемых услуг. В первую очередь необходимо решить, какие услуги будет предоставлять оператор, оценить соотношение различных видов трафика на текущий момент и спрогнозировать ситуацию на ближайшую перспективу. После этого можно приступать к выбору технологий, на которых будет строиться сеть.

В настоящее время большинство операторов связи пришли к необходимости создания единой мультисервисной среды для транспортировки и коммутации услуг. Построение современных сетей связи – сложный и трудоемкий процесс. Для успешного развития и процветания оператору сегодня уже недостаточно предоставлять традиционные услуги телефонной связи. Доставка до абонента широкого спектра услуг, в которые входят голосовая связь, передача данных, трансляция видеоизображения, расширенный пакет ДВО (дополнительных видов обслуживания) и интеллектуальных услуг, – вот ключ к успеху. Применение современных технологий и переход к сетям следующего поколения позволят оператору не только оставаться конкурентоспособным на инфокоммуникационном рынке, но и увеличить свою прибыль за счет внедрения новых услуг.

В настоящее время построение мультисервисных сетей с интеграцией различных услуг является одним из наиболее перспективных направлений развития сетей. Основная задача мультисервисных сетей заключается в обеспечении сосуществования и взаимодействия разнородных

коммуникационных подсистем в единой транспортной среде, когда для передачи обычного трафика (данных) и трафика реального времени (голоса и видео) используется единая инфраструктура.

В ситуации технологий конвергенции единая мультисервисная среда обеспечивает предоставление всех услуг объединяемых сетей. При этом операторы получают возможность расширять как номенклатуру, так и качество предоставляемых услуг, проникая в прежде закрытые для себя смежные области телекоммуникационной отрасли. Эта возможность позволяет создавать и принципиально новые услуги, стоящие на стыке или являющиеся комбинацией традиционных технологий передачи голоса, данных и видео. Таким образом, мультисервисная сеть предоставляет расширенный набор услуг с различным соотношением цена/качество.

Мультисервисная сеть обеспечивает:

- управление всеми услугами передачи данных: выделенными линиями, «прозрачными» локальными сетями;
- агрегирование трафика на уровне широкополосного доступа;
- агрегирование трафика мобильных сетей и консолидацию трафика в опорной сети;
- инфраструктуру телефонной связи нового поколения;
- агрегирование трафика опорных/пограничных IP-маршрутизаторов;
- передача традиционного трафика телефонии;
- организация доступа в Интернет и передача трафика Интернет по магистральным каналам;
- передача трафика корпоративных сетей, объединение локальных сетей.

1.2. Услуги мультисервисной сети

Сегодня услуги операторов связи часто классифицируются по одноранговому принципу и можно, например, увидеть список из таких услуг, как телефония, IP, VPN, DSL. Нечеткая классификация услуг нередко приводит к проблемам при разработке политики продаж и маркетинга, что, в

конечном счете, сказывается на сроках окупаемости создаваемой инфраструктуры и эффективности капиталовложений.

Поэтому услуги оператора связи целесообразно классифицировать с использованием многомерной структуры, основываясь на системе классификаторов (рис.1.1).

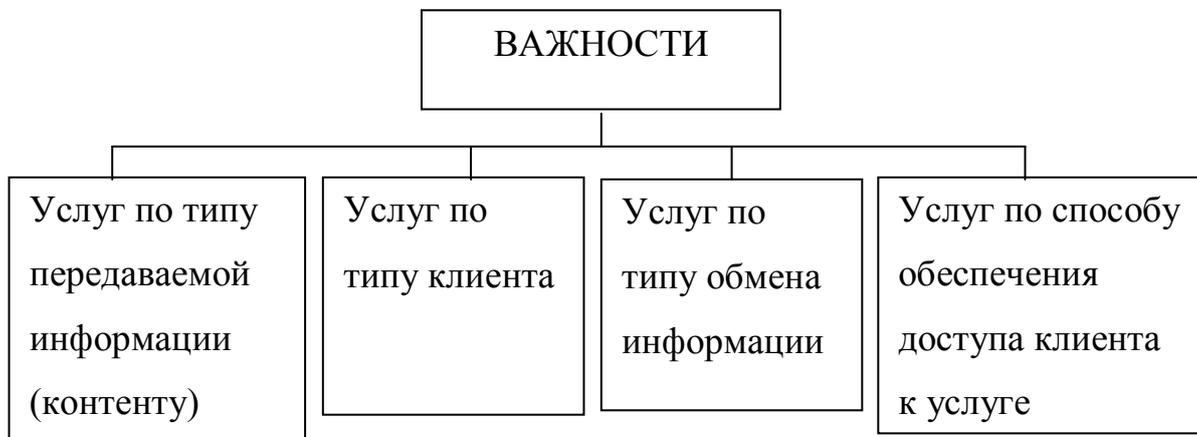


Рис. 1.1. Классификация услуг

Кроме того, вдобавок к приведенным выше способам классификации, для каждого типа услуг возможно подразделение по следующим признакам:

- по приоритетности внедрения и важности - базовые (основные) услуги и дополнительные (услуги с добавленной ценностью), при этом оказание дополнительной услуги возможно только при наличии базовой;

- по маркетинговой функции - услуги, ориентированные в основном на получение дохода, и услуги, направленные в основном на привлечение клиентов (приносящие доходы косвенным путем через оказание прочих услуг привлеченным таким образом клиентам).

Классификация услуг по типу передаваемой информации, несомненно, является основной. Однако и другие способы классификации часто являются необходимыми, поскольку помогают выделить особенности предоставления услуги, четко отделить ее от смежных услуг и описать область применения.

Классификация услуг по типу передаваемой информации (контенту). В соответствии с данным способом классификации услуги подразделяются, прежде всего, на следующие категории:

- услуги телефонии (VoIP, видеотелефонии);
- услуги передачи данных (Internet);
- широковещательные услуги;
- услуги выделенных каналов (услуги VPN);
- инфраструктурные услуги.

Под услугами телефонии подразумеваются услуги передачи голоса, конечными потребителями которых являются индивидуальные клиенты, взаимодействующие в основном с другими подобными клиентами в интерактивном режиме. Данные услуги подразделяются, прежде всего, на услуги фиксированной и мобильной телефонной связи. Кроме того, из данного типа услуг в настоящее время постепенно происходит выделение услуг передачи видео, частным видом которых является, например, услуга видеоконференцсвязи (как альтернатива телефонной конференцсвязи). Возможно, через некоторое время данный вид услуг разовьется настолько, что может быть выделен в самостоятельный тип.

Услуги передачи данных подразделяются в свою очередь на услуги IP, ATM, FR и т.п., в зависимости от протокола, на основании анализа заголовков пакетов которого производится соединение абонента с адресатом (коммутация).

Широковещательные услуги предполагают однонаправленную передачу информации одновременно большому кругу клиентов. К ним относятся в первую очередь услуги теле- и радиовещания. В последнее время происходит расширение спектра этих услуг за счет таких направлений, как, например, интерактивное телевидение и т.п.

Услуги выделенных каналов предполагают предоставление канала с тарифной политикой, не зависящей от типа и количества передаваемого

трафика и степени использования канала. Различие тарифов происходит только по типу канала и его максимальной пропускной способности.

Классификация услуг по типу клиента. Классификация по типу клиента подразделяет услуги на следующие группы:

- услуги, оказываемые другим операторам связи (провайдерам);
- корпоративным клиентам;
- индивидуальным пользователям.

Классификация услуг по типу обмена информацией. Взаимодействие с клиентами и партнерами может быть равноправным и неравноправным и в зависимости от этого подразделяться на следующие типы:

- предоставление доступа к ресурсам своей сети (и, возможно, через ресурсы своей сети к ресурсам других сетей);
- двусторонний обмен;
- транзит;
- центр обмена информацией (с центром взаиморасчетов или без него).

Базовые и дополнительные услуги. Высокодоходные услуги и услуги, выполняющие маркетинговые функции. Услуги мультисервисной сети можно разделить на две части — базовые (необходимо предоставлять во всех узлах сети) и дополнительные (предоставляются только при наличии достаточного спроса на них со стороны провайдеров или пользователей) услуги.

К базовым услугам мультисервисной сети относятся традиционные услуги передачи и доступа:

- передача традиционного телефонного трафика;
- передача трафика данных Интернет;
- передача трафика данных корпоративной сети;
- передача трафика мобильных сетей;
- доступ в сеть Интернет;
- доступ к сетям передачи данных.

Дополнительные услуги (услуги с добавленной ценностью), предлагаемые совместно с базовыми услугами, могут приносить доход, сопоставимый, а иногда и превышающий доход от предоставления базовой услуги.

К дополнительным услугам относятся следующие:

- предоставление в аренду (продажа) емкости концентраторов доступа DSL, данная услуга служит альтернативой непосредственному предоставлению доступа в сеть Интернет для конечных потребителей;
- передача голосового трафика IP-телефонии;
- передача видеотрафика для организации видеоконференций;
- передача видеотрафика от студий;
- доступ в сеть Интернет с заданием следующих параметров: гарантируемой минимальной и возможной максимальной полосы пропускания, допустимой максимальной задержки, допустимых пределов вариации задержки;
- организация виртуальной частной сети(IP-VPN);
- услуги контент-провайдеров: видео- и аудио- по запросу (данная услуга позволяет по запросу произвести трансляцию выбранной видео- (аудио-) программы), «интерактивные новости» (для пользователя реализуется возможность просмотра, прослушивания и чтения информации о произошедших за какое-то время событиях), электронный супермаркет (пользователь выбирает товар в «электронном магазине», получает по нему подробную информацию о его потребительских свойствах, цене и пр.), интерактивное обучение (аудио- и видеообучение иностранным языкам и другим предметам), игротека (электронная игротека предоставляет возможность провести свободное время за электронными играми).

1.3. Мультисервисная сеть на основе IP/MPLS и Softswitch

Современные телекоммуникационные сети используют технологию коммутации каналов и TDM (Time Division Multiplexing) в качестве схемы мультиплексирования. Они проектировались для передачи голосовых потоков и не могут эффективно поддерживать нерегулярный трафик данных. В то же время сегодня темпы роста трафика данных несоизмеримо выше голосового (рис.1.2.), и операторы столкнулись с проблемой, как заменить неэффективную TDM-инфраструктуру, сохранив при этом необходимое качество голосового трафика. Здесь возможен только один путь - постепенная замена TDM-сетей с коммутацией каналов на инфраструктуру пакетных сетей.

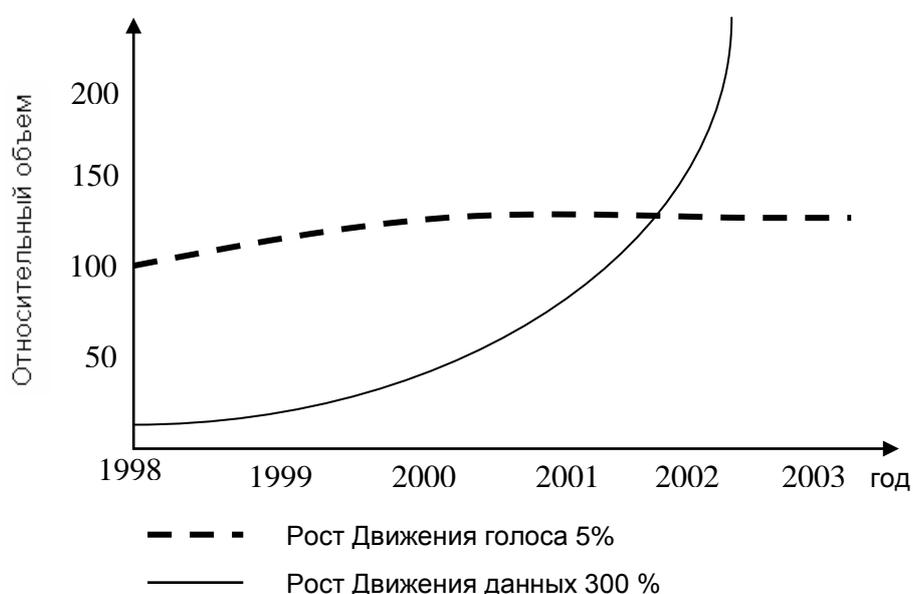


Рис.1.2. Сравнительный график роста трафика данных и голос

На начальном же этапе развития мультисервисная сеть, скорее всего, будет представлять собой интеграцию сети с коммутацией каналов и сети с коммутацией пакетов. Вряд ли можно предположить, что существующие сети коммутации каналов (ТфОП, ISDN) просто выключат и забудут об их существовании. И точно так же трудно сегодня сказать, какая технология коммутации составит основу сети будущего. Сейчас лидерами можно считать IP и АТМ, но при нынешних темпах развития телекоммуникаций появление новых и более удачных технологий можно ожидать в любой момент.

Остается лишь делать прогнозы, и пример одного из них представлен на рис.1.3.

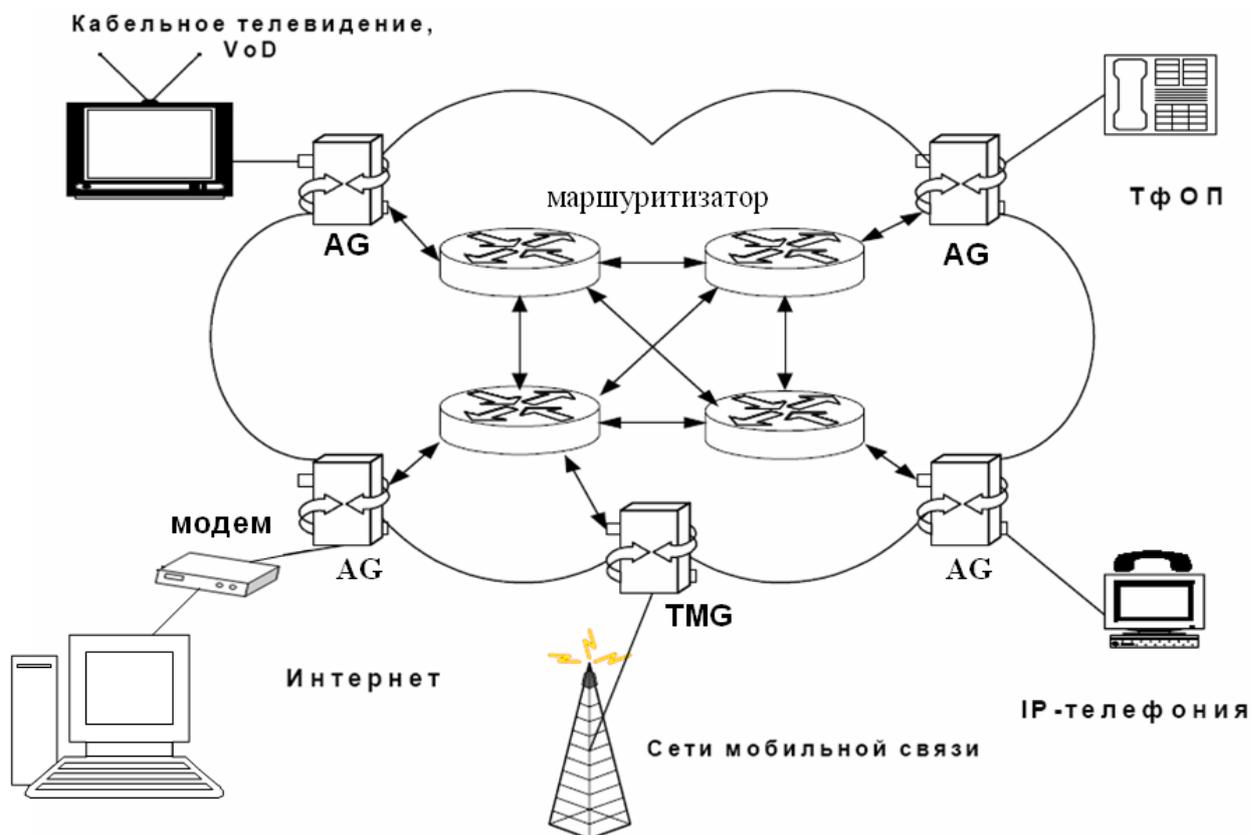


Рис. 1.3. Мультисервисная сеть нового поколения

Технология voice over IP (VoIP)

Данная технология представляет собой компрессию голосового сигнала с последующей передачей по цифровым каналам передачи данных с использованием протокола IP. Частным случаем IP-телефонии является Интернет-телефония, при которой в качестве передающей сети используется сеть Интернет. Притом, что IP-телефония - сравнительно новая технология, она уже успела зарекомендовать себя вполне перспективной и жизнеспособной.

Преимущества IP-телефонии неоспоримы. В первую очередь это низкая стоимость передачи информации. А также это универсальность обработки информации независимо от ее исходного вида, а, следовательно,

использование одних и тех же каналов для передачи информации разного типа. При этом популярность технологий пакетной передачи речи растет, причем как среди операторов, так и среди корпоративных пользователей. В последние годы немало компаний успешно внедрили эти технологии для организации каналов дальней телефонной связи.

IP-телефония позволяет установить телефонную связь через IP-сеть по выделенному виртуальному каналу (рис. 1.4). Наиболее часто в качестве IP-сети используют Интернет. Основной принцип IP телефонии заключается в оцифровке и компрессии голоса (обычно по алгоритмам G.711, G.729, G.729a или G.723.1) с последующей пакетизацией и передачей по IP сетям.



Рис. 1.4. Основные соединения в IP-телефонии

Основная задача мультисервисных сетей заключается в обеспечении взаимодействия разных коммуникационных подсистем, чтобы для передачи голоса, данных и видео использовалась единая инфраструктура.

Каждая коммуникационная подсистема мультисервисной сети может использовать различную технику для обработки своего трафика (голоса, данных или видео), и на каждой стадии этого процесса могут применяться различные коммуникационные стандарты. На границе сети эти потоки должны быть приведены к единому формату - задача, которая, вообще говоря, требует значительных вычислительных мощностей. Ее выполняют соответствующие шлюзы (рис. 1.5). Их можно разделить на три основные категории:

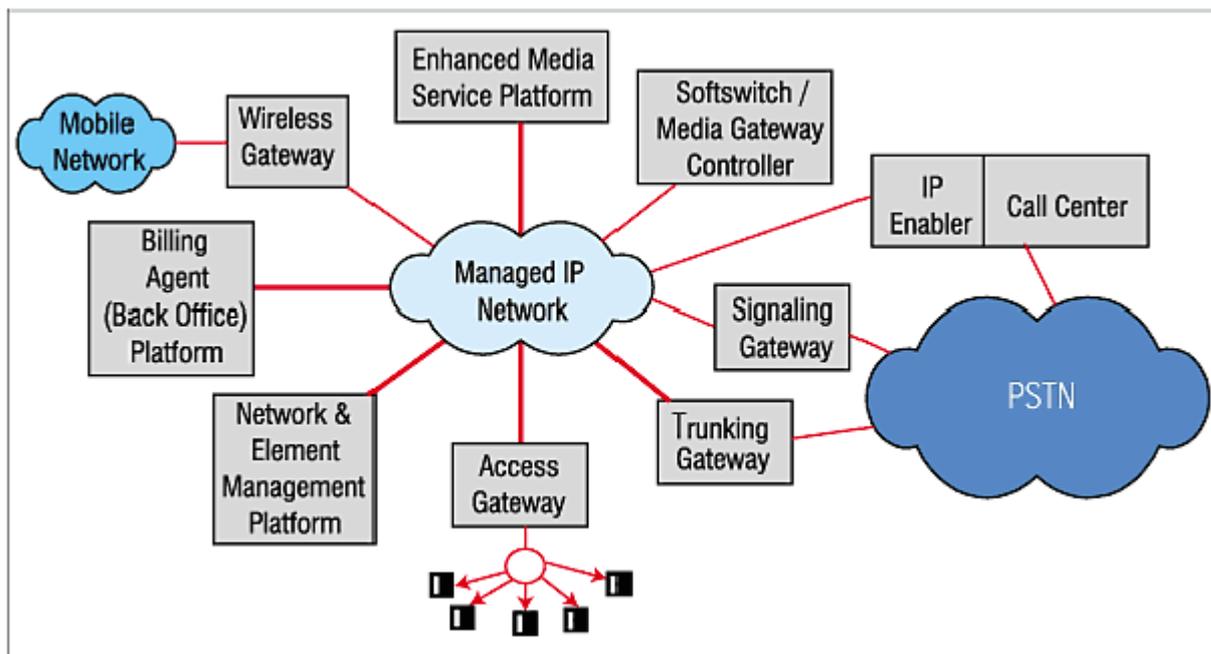


Рис. 1.5. Соответствующие шлюзы IP-сети

• Media Gateways (MG) обеспечивают взаимодействие между IP-сетью и сетевыми сервисами, такими, например, как сервисы телефонных сетей общего пользования (PSTN) и беспроводных сетей. В его задачу входит обеспечить взаимодействие сетей разных стандартов. Оно осуществляет преобразование форматов медиа - потоков, таких, как голос и видео, и управляет передачей информации между разными сетями. В общем, шлюз выполняет некоторые или все из следующих функций:

- служит мультисетевым терминатором (например, для цифровых каналов T1/E1, сетей Ethernet и ATM);
- кодирует/декодирует голос в разных стандартах кодирования (G.729A, PCM, GSM и т. п.);
- подавляет эхо;
- определяет и генерирует тональную частоту.

Организациями ETSI и IETF были определены три основных типа шлюзов:

Access Gateway - соединяет сетевой интерфейс пользователя, такой, как ISDN или традиционный аналоговый, с мультисервисной сетью (VoIP или

VoATM). В типичном случае это будет терминатор для TDM-сети, который передает вызовы MGC для управления ими и принятия решений;

Trunking Gateway - служит интерфейсом между телефонными сетями PSTN и IP-сетью (или ATM). Этот шлюз обычно управляет большим числом виртуальных цифровых каналов и однонаправленных TDM-каналов. При этом сигнальная информация передается по отдельному каналу (через шлюз SG).

Network Access Server - является специализированной формой шлюза доступа Access Gateway. Он служит терминатором для вызовов от модемов и обеспечивает доступ к IP-сети.

- Signaling Gateways (SG) транслируют протоколы сигнализации между различными сетями. Шлюз отвечает за обработку сигнальной информации от сетей с коммутацией каналов (обычно SS7) и передачу ее шлюзу MGC по управляемой IP-сети. Он также позволяет удаленным устройствам в IP-сети обмениваться сообщениями с телефонной сетью PSTN для установки вызовов.

- Media Gateway Controllers (MGC) или Softswitch обеспечивают координацию между шлюзами в соответствии с сигнальной информацией, которую они получают от шлюзов сигнализации. Он служит посредником при обработке сигнальной информации между сетями с коммутацией каналов и пакетными сетями, обрабатывает и управляет вызовами от шлюзов MG, осуществляет управление потоками при передаче голоса и данных в мультисервисных сетях.

Многопротокольная коммутация по меткам (MPLS)

Основой технологии многопротокольной коммутации по меткам - MPLS (MultiProtocol Label Switching) послужили разработки компаний Ipsilon (IP Switching), Cisco (Tag Switching) и IBM (ARIS), а также предложения ряда

разработчиков, направленные на создание средств управления трафиком в неориентированных на соединение сетях, к которым, как известно, относятся и IP-сети.

Последние на сегодняшний день остаются главным объектом приложения технологии MPLS, поскольку стали магистральным направлением развития корпоративной и глобальной телекоммуникационной инфраструктуры. Данная технология представляет собой попытку ускорить продвижение IP-пакетов и сохранить гибкость, характерную для IP-сетей, с помощью механизмов управления трафиком и поддержания качества обслуживания, применяющихся в сетях ATM. Внедрение технологии MPLS позволяет сохранить все лучшее, что присуще архитектуре IP-over-ATM (эффективное мультиплексирование и гибкость трафика, высокая производительность), и при этом она еще больше повышает масштабируемость сетей, упрощает их построение и эксплуатацию. Важно и то, что MPLS может использоваться не только с ATM, но и с любой другой технологией канального уровня. MPLS использует и развивает концепцию виртуальных каналов, используемых в сетях ATM, Frame Relay, объединяя ее с техникой выбора путей на основе информации о топологии и текущей загрузке сети, получаемой с помощью протоколов маршрутизации сетей IP. Это упрощает переход к следующему поколению волоконно-оптических магистралей Интернет на основе технологий SDH/WDM или IP/WDM.

Главная особенность технологии MPLS – отделение процесса коммутации пакета от анализа IP-адреса в его заголовке, что позволяет осуществлять коммутацию пакетов значительно быстрее. В соответствии с протоколом MPLS маршрутизаторы и коммутаторы присваивают на каждой точке входа в таблицу маршрутизации особую метку и сообщают эту метку соседним устройствам.

На сегодняшний день существуют три основные области применения MPLS:

- управление трафиком;
- поддержка классов обслуживания (CoS);
- организация виртуальных частных сетей (VPN).

Расположение технологии MPLS в семиуровневой модели OSI показано на рис. 1.6.



Рис. 1.6. Плоскости MPLS

Сетевой уровень – это комплексный уровень, который обеспечивает возможность соединения и выбор маршрута между двумя конечными системами, подключенными к разным "подсетям", которые могут находиться в разных географических пунктах. В данном случае "подсеть" – это, по сути, независимый сетевой кабель (иногда называемый сегментом). Так как две конечные системы, желающие организовать связь, может разделять значительное географическое расстояние и множество подсетей, сетевой уровень является доменом маршрутизации. Протоколы маршрутизации выбирают оптимальные маршруты через последовательность соединенных между собой подсетей. Традиционные протоколы сетевого уровня передают информацию вдоль этих маршрутов.

Канальный уровень – (формально называемый информационно-канальным уровнем) обеспечивает надежный транзит данных через физический канал. Выполняя эту задачу, канальный уровень решает вопросы

физической адресации (в противоположность сетевой или логической адресации), топологии сети, линейной дисциплины (каким образом конечной системе использовать сетевой канал), уведомления о неисправностях, а также вопросы упорядоченной доставки блоков данных и управления потоком информации.

Физический уровень – определяет электротехнические, механические, процедурные и функциональные характеристики активации, поддержания и деактивации физического канала между конечными системами. Спецификации физического уровня определяют такие характеристики, как уровни напряжений, синхронизацию изменения напряжений, скорость передачи физической информации, максимальные расстояния передачи информации, физические соединители и другие аналогичные характеристики.

Комитет IETF определил три основных элемента технологии MPLS:

- Метка;
- FEC – класс эквивалентности пересылки;
- LSP – коммутируемый по меткам тракт.

Метка – это идентификатор фиксированной длины, определяющий класс эквивалентности пересылки FEC. Метки имеют локальное значение, т.е. привязка метки к FEC используется только для пары маршрутизаторов. Метка используется для пересылки пакетов от верхнего маршрутизатора к нижнему, где, являясь входящей, заменяется на исходящую метку, имеющую также локальное значение на следующем участке пути. Метка передается в составе любого пакета, при этом ее место в пакете зависит от используемой технологии канального уровня.

Протокол MPLS поддерживает различные типы меток: это может быть 4-байтовая метка, которая вставляется между заголовками канального и сетевого уровня (рис.1.7). Являясь протоколно независимой, она может использоваться для инкапсуляции пакетов любого протокола сетевого уровня. Это может быть метка идентификаторов виртуального канала и

виртуального пути (VCI/VPI) или метка идентификатора соединения канального уровня (DLCI).

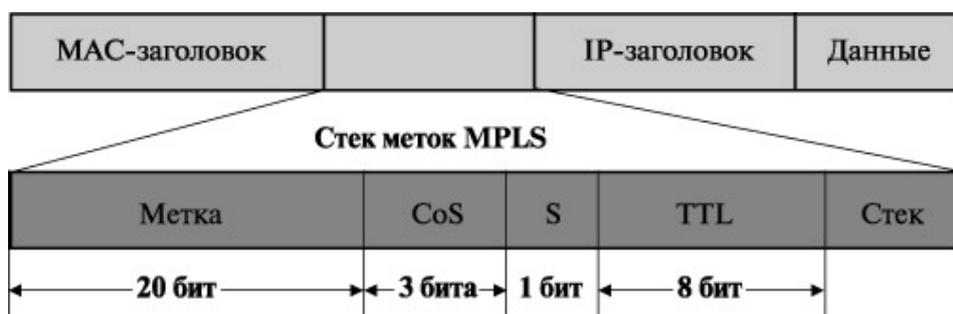


Рис.1.7. Формат записи стека меток

1. Дно стека (S). Является средством поддержки иерархической структуры стека меток *MPLS*. В заголовке последней (т. е. самой глубокой или нижней) метки бит S=1, а во всех остальных метках в стеке бит S=0.

2. Время жизни (TTL). Это 8-битовое поле служит для представления значения времени жизни пакета. Данное поле является механизмом, предотвращающим возможность бесконечной циркуляции пакетов по сети вследствие образования закольцованных маршрутов. Байт TTL находится в конце заголовка метки.

3. Экспериментальное поле (CoS). Это 3-битовое поле зарезервировано для экспериментальных целей (*QoS*). В настоящее время проводится работа на создание согласованного стандарта использования этих битов для поддержки дифференцированного обслуживания разнотипного трафика и идентификации класса обслуживания. Первоначально это поле так и называлось – "Класс обслуживания" (CoS), и это название до сих пор широко распространено.

4. Значение метки. Это 20-битовое поле несет в себе код метки. Может быть любым числом в диапазоне от 0 до 220- 1, за исключением резервных значений (0, 1, 2, 3 и др.), определением использования которых занимается рабочая группа *MPLS* в составе комитета IETF.

Класс эквивалентности пересылки FEC – это форма представления группы пакетов с одинаковыми требованиями к передаче, т.е. все пакеты такой группы, обрабатываются одинаково на пути их следования к пункту назначения. Как говорилось ранее, в заголовке IP-пакета содержится гораздо больше информации, чем требуется для выбора следующего маршрутизатора. Этот выбор можно организовать путем выполнения следующих двух групп функций в маршрутизаторе:

- относит пакет к определенному классу FEC;
- ставит в соответствие каждому FEC следующий шаг маршрутизации.
- FEC используется для описания пакетов с адресом назначения, обычно адресом конечного получателя трафика, например хост-машины.

Использование FEC позволяет:

- Объединять пакеты в классы. При таком объединении значение FEC в пакете может использоваться для установки приоритетов. При обработке пакетов предоставляется более высокий приоритет одним пакетам по отношению к другим.

- Обеспечить поддержание эффективных операций QoS. Например, FEC могут быть связаны с высокоприоритетным голосовым трафиком в реальном времени, низкоприоритетным трафиком Интернет-конференций и т. д.

В сети MPLS возможны два подхода к пересылке пакетов с учетом класса обслуживания.

Первый - предусматривает обработку пакетов в выходных очередях маршрутизаторов с учетом значений приоритета, указанного в заголовке MPLS.

Второй - базируется на том, что для каждой пары, состоящей из входного и выходного маршрутизаторов, определяется несколько путей коммутации меток (Label Switched Path, LSP) с различными характеристиками производительности, полосы пропускания, времени задержки и других параметров. После этого входной граничный

маршрутизатор направляет один тип трафика по одному пути, другой – по другому, третий - по третьему и т.д.

Коммутируемый по меткам тракт LSP – это последовательность MPLS-маршрутизаторов. Набор пакетов, передаваемый по LSP, относится к одному FEC, и каждый маршрутизатор LSR в LSP-туннеле назначает для него свою метку. LSP-туннель создается внутри LSP-тракта. Следует отметить, что зачастую начало и конец туннеля не совпадают с началом и концом LSP-тракта. Для каждого туннеля подсчитывается число пропущенных пакетов и байт. Иногда поток данных может быть настолько велик, что для него создается несколько LSP-туннелей между отправителем и получателем. В одном LSP может быть создано несколько LSP-туннелей с различными точками приема и передачи, а в каждом туннеле могут быть созданы LSP-туннели другого уровня. В этом проявляется иерархичность структуры MPLS. Возможны два варианта создания туннелей: по принципу hop-by-hop, который предполагает, что каждый маршрутизатор самостоятельно выбирает дальнейший путь следования пакета, или по принципу явной маршрутизации, в котором маршрутизаторы передают пакет в соответствии с указаниями, полученными от верхнего в данном тракте LSR. Таким образом, в первом случае маршрут следования пакетов определяется случайным образом, а в случае явной маршрутизации он известен заранее. В сети MPLS может существовать набор маршрутизаторов, которые являются входными для конкретного FEC, тогда считается, что для этого FEC существует LSP-туннель с разными точками входа и выхода. Если для некоторых из этих LSP выходным является один и тот же LER, то можно говорить о дереве LSP, корнем которого служит данный выходной маршрутизатор. LSP можно рассматривать как тракт, создаваемый путем сцепления одного и более участков маршрута, который позволяет пересылать пакет, заменяя на каждом узле сети MPLS входящую метку исходящей меткой (так называемый алгоритм перестановки меток).

Простейшую MPLS-сеть функционально можно разделить на две области — ядро и граничную область. Ядро образуют устройства, минимальным требованием к которым является поддержка MPLS и участие в процессе маршрутизации трафика для того протокола, информация которого коммутируется с помощью MPLS, т.е. транзитные маршрутизаторы MPLS (Label Switching Routers - LSR).

Маршрутизаторы ядра занимаются только коммутацией. Все функции отнесения пакетов к тому или иному FEC, а также реализацию таких дополнительных сервисов, как фильтрация, явная маршрутизация, выравнивание нагрузки и управление трафиком, выполняют граничные LSR или пограничные маршрутизаторы MPLS (Label Edge Routers – LER).

Любой IP-пакет на входе в сеть MPLS, независимо от того, поступает этот пакет от отправителя или же он пришел из смежной сети, которая может быть MPLS-сетью более высокого уровня, относится к определенному классу эквивалентной пересылки FEC (Forwarding Equivalence Class). Напомним, что анализ заголовка IP-пакета и назначение FEC производится только один раз на входе в сеть.

Программный коммутатор Softswitch

Softswitch – гибкий программный коммутатор, один из основных элементов мультисервисных сетей связи.

Softswitch является носителем интеллектуальных возможностей мультисервисных сети, он координирует управление обслуживанием вызовов, сигнализацию и функции, обеспечивающие установление соединения через одну или несколько сетей.

Архитектуры Softswitch предусматриваются четыре функциональные плоскости:

- транспортная плоскость - отвечает за транспортировку сообщений по сети связи. Включает в себя Домен IP-транспортировки, Домен взаимодействия и Домен доступа, отличного от IP.

- плоскость управления обслуживанием вызова и сигнализации - управляет основными элементами сети IP-телефонии. Включает в себя контроллер медиашлюзов, Call Agent, Gatekeeper.

- плоскость услуг и приложений - реализует управление услугами в сети. Содержит серверы приложений и серверы ДВО.

- плоскость эксплуатационного управления - поддерживает функции активизации абонентов и услуг, техобслуживания, биллинга и другие эксплуатационные задачи.

Транспортная плоскость (Transport Plane) отвечает за транспортировку сообщений по сети связи. Этими сообщениями могут быть сообщения сигнализации, сообщения маршрутизации для организации тракта передачи информации или непосредственно пользовательские речь и данные. Транспортная плоскость обеспечивает также доступ к сети IP-телефонии сигнальной и/или пользовательской информации, поступающей со стороны других сетей или терминалов. Как правило, устройствами и функциями транспортной плоскости управляют функции плоскости управления обслуживанием вызова и сигнализации.

Плоскость управления обслуживанием вызова и сигнализации (Call Control & Signaling Plane) управляет основными элементами сети IP-телефонии и в первую очередь теми, которые принадлежат транспортной плоскости. Она управляет обслуживанием вызова на основе сигнальных сообщений, поступающих из транспортной плоскости, устанавливает и разрушает соединения для передачи пользовательской информации по сети. Эта плоскость включает в себя такие устройства, как контроллер медиашлюзов MGC (Media Gateways Controller), сервер обслуживания вызова Call Agent, привратник Gatekeeper и LDAP-сервер.

Плоскость услуг и приложений (Service & Application Plane) содержит логику выполнения услуг и/или приложений в сети IP-телефонии и управляет этими услугами путем взаимодействия с устройствами, находящимися в плоскости управления обслуживанием вызова и сигнализации. Плоскость услуг и приложений состоит из таких устройств, как серверы приложений Application Servers и серверы дополнительных услуг Feature Servers. Она может также управлять специализированными компонентами передачи пользовательской информации, например, медиасерверами, которые выполняют функции конференц-связи, IVR и т.п.

Плоскость эксплуатационного управления (Management Plane) обеспечивает функции включения/выключения абонентов и услуг, эксплуатационной поддержки, биллинга и другие функции технической эксплуатации сети. Плоскость эксплуатационного управления может взаимодействовать с некоторыми или со всеми другими тремя плоскостями либо по стандартному протоколу (например по протоколу SNMP), либо по внутренним протоколам и через интерфейсы API.

Назначение Softswitch полный контроль процесса установления любого соединения. Вне зависимости от того, пользователь какой сети является инициатором этого процесса, и от того, кто будет вызываемым пользователем (или пользователями, если речь идет о конференцсвязи). Таким образом, Softswitch должен работать со всеми используемыми системами сигнализации и обеспечивать взаимодействие между устройствами, работающими по разным протоколам, что иллюстрирует рис.1.8.

Всего в иерархической структуре сети на основе технологии Softswitch различают четыре уровня. Это, помимо уровня доступа, базовый уровень (ядро), уровень управления и прикладной уровень (уровень услуг).

Под базовым уровнем передачи понимается в основном сеть коммутации пакетов, состоящая из магистрального оборудования передачи

типа IP-маршрутизатора и/или АТМ-коммутаторов. Он представляет собой основу для передачи информации в сети Softswitch.

Уровень управления представлен блоком управления Softswitch и обеспечивает реализацию интегрированных функций управления и обработки, таких как обработка и управление вызовами, адаптация и взаимодействие протоколов доступа, и формирует общесетевую платформу поддержки приложений.

Прикладной уровень обеспечивает интерфейс пользователя с системой, реализацию интегрированных интеллектуальных услуг, ориентированных на пользователей, и настройку услуг в соответствии с их требованиями.

Взаимодействие между уровнями осуществляется через стандартные интерфейсы и под управлением устройства управления Softswitch.

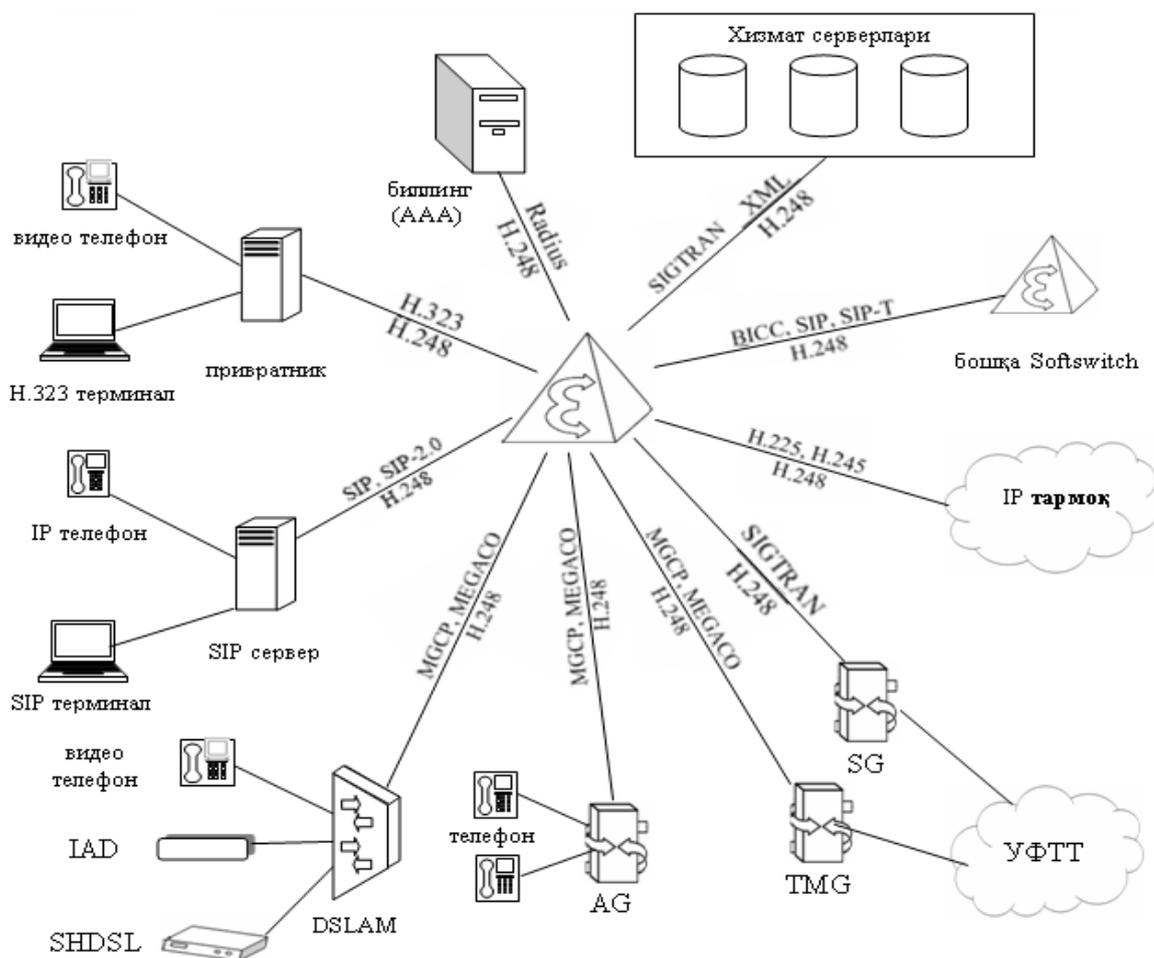


Рис.1.8. Обобщенная схема Softswitch в составе современной сетью связи общего пользования

GK - Gate Keeper (Гейткипер)

SG - Signalling Gateway (Сигнальный шлюз)

TG - Trunking Gateway (Шлюз соединительных линий)

AG - Access Gateway (Шлюз доступа)

МАК - Мультисервисные абонентские концентраторы.

1.4. Качество обслуживания в мультисервисных сетях

В настоящее время многие операторы пытаются привлечь клиентов дополнительными информационными услугами: IP-телефония, интерактивные игры, доступ к разнообразным базам данных и депозитариям, электронным магазинам, видеоконференции, видео-телефония и т.д. По этой причине многие компании, в первую очередь производящие сетевое оборудование, уделяют повышенное внимание средствам управления трафиком (TE) и обеспечению необходимого качества обслуживания (QoS).

Существует множество ситуаций, в которых необходимо обеспечивать QoS. Например, видео, комбинированное с аудио, очень чувствительно к различным задержкам. Мы быстро обращаем внимание, когда речь не синхронизирована с движением губ.

Протоколы передачи данных также очень чувствительны к ошибкам и потерям. Необнаруженная ошибка может привести к серьезным последствиям, если это, например, часть загруженной программы. Потеря пакета часто требует повторной передачи, что уменьшает пропускную способность и увеличивает время ответа.

Одним из основных аспектов, который должен приниматься во внимание при проектировании МСС, является обеспечение качества обслуживания. Специфика пакетных сетей состоит в том отличие от сетей с коммутацией каналов, в одном и том же информационном потоке может передаваться разнородный трафик. При этом каждый из типов трафика характеризуется рядом критичных и некритичных параметров. Для передачи

голосового трафика через пакетные сети вводится понятие классов обслуживания, позволяющих оценить качество предоставления услуги в пакетной сети. Определение качества обслуживания в настоящий момент является субъективным и базируется на методе экспертных оценок, т.е. априори невозможно абсолютно гарантировать, что при проектировании сети будут заложены сетевые характеристики, позволяющие однозначно обеспечить требуемое качество. С другой стороны, пакетные сети имеют развитые механизмы обеспечения качества обслуживания, использование которых позволяет влиять на предоставление услуг связи в процессе эксплуатации.

Функции качества обслуживания (QoS) заключаются в обеспечении гарантированного и дифференцированного обслуживания сетевого трафика путем передачи контроля за использованием ресурсов и загруженностью сети ее оператору. QoS представляет собой набор требований, предъявляемых к ресурсам сети при транспортировке потока данных. QoS обеспечивает сквозную гарантию передачи данных и основанный на системе правил контроль за средствами повышения производительности IP-сети, такими как механизм распределения ресурсов, коммутация, маршрутизация, механизмы обслуживания очередей и механизмы отбрасывания пакетов.

Ниже перечислены некоторые из основных преимуществ качества обслуживания.

Обеспечение поддержки существующих и появляющихся мультимедийных служб и приложений передача контроля за ресурсами сети и их использованием сетевому оператору. Обеспечение гарантии обслуживания и дифференцирование сетевого трафика. Это условие является необходимым для объединения аудио/видеотрафика и трафика приложений в пределах одной сети.

Способность сети обеспечивать различные уровни обслуживания, запрашиваемые теми или иными сетевыми приложениями, наряду с проведением контроля за характеристиками производительности полосой

пропускания, задержкой/дрожанием и потерей пакетов – может быть классифицирована по трем перечисленным ниже категориям.

Негарантированная доставка данных (best-effort service). Обеспечение связности узлов сети без гарантии времени и самого факта доставки пакета в пункт назначения. Отбрасывание пакета может произойти только в случае переполнения буфера входной или выходной очереди маршрутизатора. На самом деле негарантированная доставка пакетов не является частью QoS вследствие отсутствия гарантии качества обслуживания и гарантии обеспечения доставки пакетов. Негарантированная доставка пакетов является на сегодняшний день единственной услугой, поддерживаемой в Internet.

Дифференцированное обслуживание (differentiated service). Дифференцированное обслуживание предполагает разделение трафика на классы на основе требований к качеству обслуживания. Класс трафика дифференцируется и обрабатывается сетью в соответствии с заданными для этого класса механизмами QoS. Подобная схема обеспечения качества обслуживания (QoS) довольно часто называется схемой CoS.

Следует отметить, что дифференцированное обслуживание само по себе не предполагает обеспечения гарантий предоставляемых услуг. В соответствии с данной схемой трафик распределяется по классам, каждый из которых имеет свой собственный приоритет. По этой причине дифференцированное обслуживание довольно часто называют мягким QoS (soft QoS).

Дифференцированное обслуживание удобно применять в сетях с интенсивным трафиком приложений.

Гарантированное обслуживание (guaranteed service). Гарантированное обслуживание предполагает резервирование сетевых ресурсов с целью удовлетворения специфических требований к обслуживанию со стороны потоков трафика.

В соответствии с гарантированным обслуживанием выполняется предварительное резервирование сетевых ресурсов по всей траектории движения трафика.

Гарантированное обслуживание довольно часто называют еще жестким QoS (hard QoS) в связи с предъявлением строгих требований к ресурсам сети.

К сожалению, резервирование ресурсов на всем пути следования отдельных потоков трафика невозможно реализовать в масштабах магистральной Internet, обслуживающей в отдельный момент времени тысячи потоков данных.

Выводы

В данной главе проведен подробный анализ требований, предъявляемых к разработчикам сетей при планировании современных мультисервисных сетей.

Определено понятие мультисервисной сети как универсальной, высокоскоростной, информационно — транспортной сети, обеспечивающие предоставление «триединой» услуги — «голос, данные, видео».

Определены возможности сетей нового поколения такие как:

- универсальный характер обслуживания разных приложений;
- независимость от технологий услуг связи и гибкость получения набора, объема и качества услуг;
- передачу разнородного, мультимедийного трафика с круглосуточным режимом функционирования, обеспечивать требуемое качество сервиса при передаче мультимедийного трафика;
- высокоскоростной доступ конечных пользователей к сетевым ресурсам;
- достаточная надежность, производительность, необходимые средства контроля и управления, обеспечение надежного функционирования за счет возможности дублирования своих компонентов и возможности их оперативной замены;

- управление сетевыми элементами из единого центра управления , который должен обеспечивать устойчивую и надежную между всеми обслуживаемыми точками сети;
- наличие современных средств защиты от несанкционированного доступа со стороны внешней сети и защиты информации и конфигурации;
- возможность увеличения количества портов и пропускной способности сети добавлением оборудования.
- Определена структура современной мультисервисной сети как сети следующего поколения, в состав транспортной сети которой могут входить:
 - транзитные узлы, выполняющие функции переноса и коммутации;
 - конечные (граничные) узлы, обеспечивающие доступ абонентов к мультисервисной сети;
 - контроллеры сигнализации, выполняющие функции обработки информации сигнализации, управления вызовами и соединениями;
 - шлюзы, позволяющие осуществить подключение традиционных сетей связи (ТФОП, СПД, СПС).

2. ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

2.1. Показатели качества передачи телефонного трафика и потока видеоизображения в МСС

В отличие от традиционных сетей связи для мультисервисных сетей вопрос обеспечения и контроля качества услуг является очень актуальным. В традиционных сетях с коммутацией каналов (например, в телефонной сети общего пользования) качество услуги передачи речи предсказуемо благодаря гарантированной полосе пропускания канала и введенным ограничениям на сетевые характеристики (нормы на затухание, на количество узлов коммутации в соединительном тракте и др.). Наоборот, в традиционных сетях с коммутацией пакетов (например, в сети Интернет) качество передачи данных никак не гарантируется, и услуга предоставляется по принципу "наилучшей попытки" (best effort). Задача же мультисервисной сети – предоставить пользователям набор услуг, которые могут предъявлять различные требования к качеству обслуживания QoS (Quality of Service). Причем особенность работы мультисервисных сетей предполагает предоставление не только разнотипных услуг (например, телефония и передача данных), но и однотипных услуги, но разного качества (например, традиционная телефония и IP-телефония). Это позволяет операторам мультисервисных сетей предоставлять потребителю разные варианты услуги с различным соотношением цена/качество.

Параметры трафика используются механизмами QoS сетевой технологии для резервирования полосы пропускания и для контроля за использованием полосы пропускания.

Пропускная способность — всего лишь единичный элемент в целом комплексе факторов, оказывающих влияние на скоростные характеристики сети. Максимальная пропускная способность кольца обычно измеряется

физической скоростью передачи данных, которая определяет скорость, с которой пакеты передаются между различными точками кольца.

Для сети с коммутацией каналов процесс обмена информацией можно представить как обмен пакетами постоянной длины, равной одному октету. Задержка каждого октета складывается из двух величин, обладающих практически нулевой дисперсией:

- времени распространения сигнала – T_p , которое зависит в основном от расстояния между терминалами и типа используемых сред переноса информации;

- суммарной длительности задержки октета в коммутационных станциях, задействованных в установленном соединении – T_k .

Все величины, определяющие значение T_k , нормированы в рекомендациях Международного Союза Электросвязи (МСЭ) серии Q.500. Измерения, проведенные специалистами МСЭ и ETSI (Европейского института телекоммуникационных стандартов), показали, что к снижению качества телефонной связи приводит задержка свыше 150 мс уже. Это означает, что задержка на уровне 150 мс свойственна разговорному тракту длиной 37,5 тыс. км. Иными словами, за редким исключением (при значительном удалении терминалов друг от друга, да еще при условии использования спутниковых каналов связи) тракт в сети с коммутацией каналов обеспечивает доставку информации за время, существенно меньшее критической величины $T_0 = 150$ мс.

Обозначим время доставки информации в сети с коммутацией каналов для i -го соединения как $T_c(i)$. Под i -ым соединением понимается типовой тракт в телефонной сети, характеризующийся протяженностью канала связи. Множество $\{I\}$ будет содержать от пяти до десяти элементов. Разницу $T_0 - T_c(i)$ можно рассматривать как временной запас, использование которого в сети с коммутацией каналов не предполагается.

В сети с коммутацией пакетов величина $T_0 - T_C(i)$ используется для решения ряда задач, свойственных этой технологии распределения информации. Иными словами, в сетях с коммутацией пакетов реализуется один из алгоритмов управления запасами, от свойств которого зависит качество телефонной связи. Задача проектирования такой сети (с точки зрения соблюдения норм, установленных для качества обслуживания) состоит в том, чтобы рационально использовать имеющийся запас, равный $T_0 - T_C(i)$. Рациональным использованием запаса целесообразно считать разрешение дополнительной задержки при условии, что выполняются все требования к качеству обслуживания трафика.

Ниже эти нормы будут рассматриваться применительно к телефонной связи. Во-первых, качество телефонного разговора существенно зависит от задержки пакетов. Во-вторых, обслуживание трафика речи приносит оператору основные доходы, несмотря на развитие рынка новых видов связи и дополнительных услуг. По всей видимости, такое положение сохранится и в будущем.

Передачу сигнала от говорящего абонента к слушающему можно представить с помощью модели, которая показана на рис. 2.1. Она основана на модели взаимодействия открытых систем, разработанной Международной организацией по стандартизации (ISO). Пакеты формируются за счет использования протокола IP. Поэтому многие специалисты оперируют термином "IP-пакет".

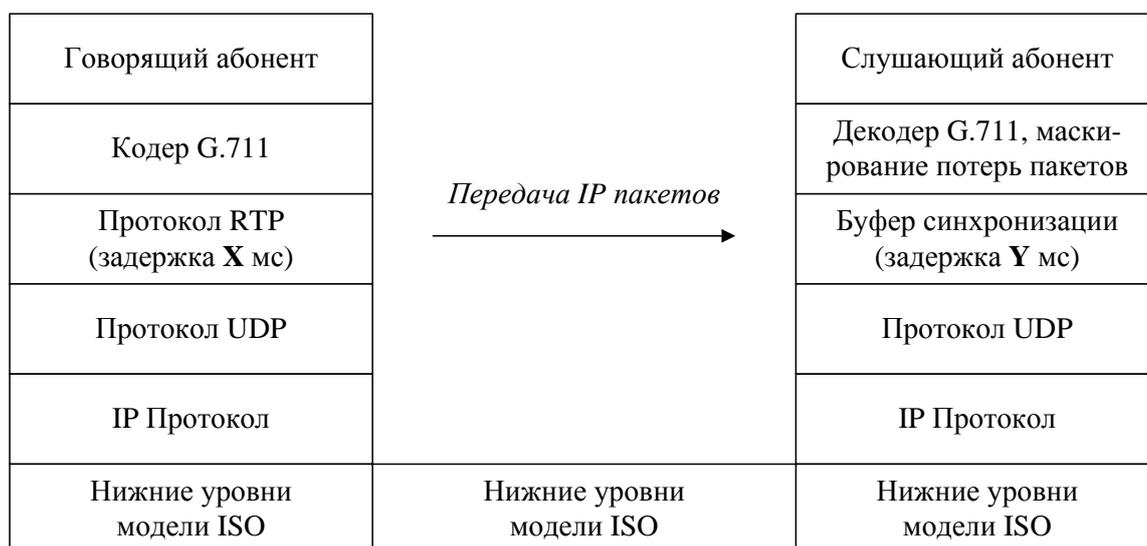


Рис. 2.1. Модель разговорного тракта в сети NGN

Для телефонной связи в рекомендации МСЭ предлагаются следующие качественные показатели:

- математическое ожидание времени задержки IP-пакетов между говорящим и слушающим абонентами (IPTD) не должно превышать 100 мс;
- вероятность того, что вариация задержки IP-пакетов (IPDV) превысит 50 мс, должна быть меньше 0,001;
- вероятность потери IP-пакетов (IPLR) следует ограничить величиной 0,001;
- доля искаженных IP-пакетов (IPER) не должна превышать порог, равный 0,0001.

Задержка создает неудобство при ведении диалога, приводит к перекрытию разговоров и возникновению эхо. Эхо возникает в случае, когда отраженный речевой сигнал вместе сигналом от удаленного конца возвращается опять в ухо говорящего. Эхо становится трудной проблемой, когда задержка в петле передачи больше, чем 50 мс. Так как эхо является проблемой качества, системы с пакетной коммутацией речи должны иметь возможность эхо и использовать эффективные методы эхоподавления. Затруднение диалога и перекрытие разговоров становятся серьезным вопросом, когда задержка в одном направлении передачи превышает 250 мс.

Когда речь или данные разбиваются на пакеты для передачи через IP-сеть, пакеты часто прибывают в пункт назначения в различное время и в разной последовательности. Это создает разброс времени доставки пакетов (джиттер). Джиттер приводит к специфическим нарушениям передачи речи, слышимым как трески и щелчки. Различают три формы джиттера:

- джиттер, зависимый от данных (Data Dependent Jitter — DDJ) — происходит в случае ограниченной полосы пропускания или при нарушениях в сетевых;

- искажение рабочего цикла (Duty Cycle Distortion — DCD) — обусловлено задержкой распространения между передачей снизу вверх и сверху вниз;

- случайный Джиттер (Random Jitter — RJ) — является результатом теплового шума.

Потеря пакетов другим серьезным негативным явлением в IP-телефонии. Потерянные пакеты в IP-телефонии нарушают речь и создают искажения тембра существующих IP-сетях все голосовые кадры обрабатываются как данные. При пиковых грузках и перегрузках голосовые кадры будут отбрасываться, как и кадры данных. Однако кадры данных не связаны со временем и отброшенные пакеты могут быть успешно переданы путем повторения. Потеря голосовых пакетов, в свою очередь, не может быть восполнена таким способом и в результате произойдет неполная передача информации. Предполагается, что потеря до 5% пакетов незаметна, а свыше 10-15% — недопустима. Причем данные величины существенно зависят от алгоритмов компрессии/декомпрессии.

Для точного определения величины IPDV целесообразно рассмотреть график, который приведен на рис.2.2. Он показывает типичное поведение функции распределения времени задержки IP-пакетов.

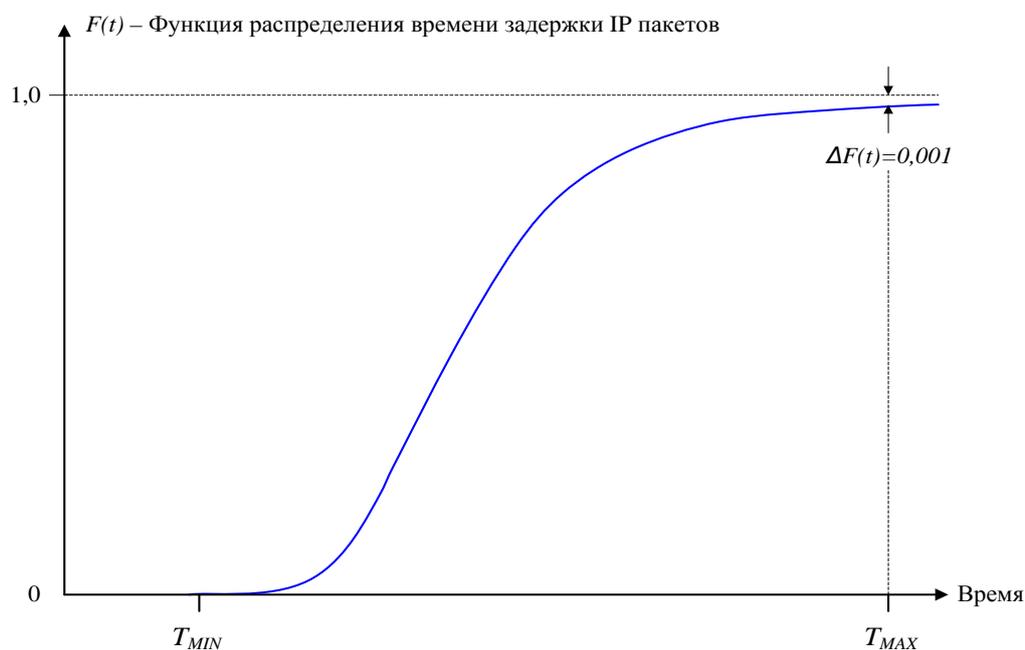


Рис.2.2. Типичное распределение задержки IP-пакетов

Величина в 50 мс задается для отрезка времени $T_{MAX} - T_{MIN}$. Значение T_{MIN} равно минимальному времени передачи IP-пакета. Оно определяется при условии, что обработка и передача пакета осуществляется без ожидания в очереди и, кроме того, сами процессы обработки и передачи пакета занимают минимально возможное время, если длительность каждой из этих двух операций представляет собой случайную величину. Величину T_{MAX} можно рассматривать как квантиль функции распределения, установленный для ее значения в точке 0,999. Это значение получается при вычитании из единицы заданной вероятности показателя IPDV – 0,001 (эта вероятность обозначена на графике как $\Delta F(t)$).

Вернемся к двум процессам, показанным на рис.2.3. Процесс $P(t)$ можно рассматривать как поток IP-пакетов, генерируемых терминалами, которые используются для всех видов связи (речь, данные и видео). В этом потоке можно выделить IP-пакеты, относящиеся к телефонной связи (процесс $P_T(t)$). В телефонных сетях процесс $P_T(t)$ может быть представлен пуассоновским потоком заявок.

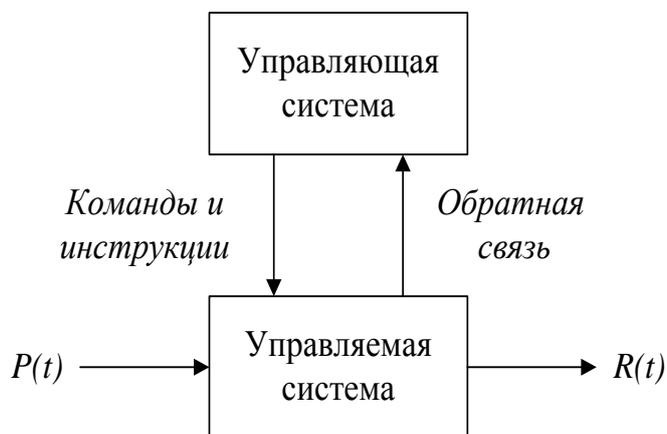


Рис.2.3. Модель устройства коммутации

Иная ситуация складывается с трафиком данных (процесс $P_D(t)$). Его фрактальные свойства могут породить большие очереди IP-пакетов. Поэтому совместное обслуживание потоков $P_T(t)$ и $P_D(t)$ потребует весьма существенных транспортных ресурсов и высокой производительности коммутационных устройств. Другое решение заключается во введении приоритета для потока $P_T(t)$, т. е. преимущества при обслуживании трафика речи.

Процесс $R(t)$ также можно представить в виде потока IP-пакетов, принимаемых различными терминалами. В нем можно выделить процесс $R_T(t)$, связанный с телефонной связью. Этот процесс должен полностью соответствовать перечисленным выше четырем требованиям к величинам IPTD, IPDV, IPLR и IPER. Анализ моделей, позволяющих получить характеристики для процесса $R_T(t)$, показывает, что сложнее всего обеспечить требования к допустимому уровню IPDV. Для эффективного обслуживания трафика речи очень важно минимизировать дисперсию времени задержки IP-пакетов в сети NGN. Для сравнительных оценок лучше оперировать коэффициентами вариации, представляющими собой отношение квадратного корня из дисперсии к среднему значению исследуемой случайной величины.

Это утверждение иллюстрирует рис.2.4, на котором показаны две кривые – $f_1(t)$ и $f_2(t)$. Эти кривые представляют собой типичные плотности функции распределения длительности задержки IP-пакетов в сети.

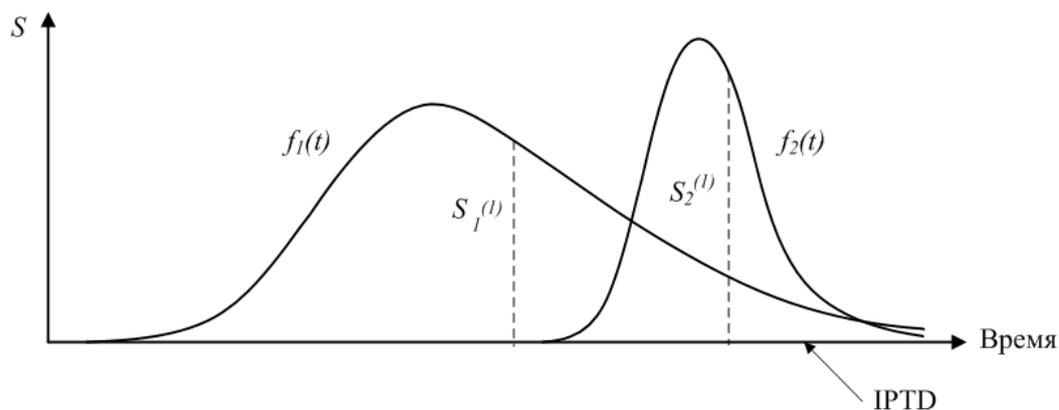


Рис.2.4. Плотность распределения длительности задержки IP-пакетов в сети

Для каждой кривой свойственно свое значение математического ожидания времени задержки IP-пакетов – $S_1^{(1)}$ и $S_2^{(1)}$. Очевидно, что $S_1^{(1)} < S_2^{(1)}$. Форма обеих кривых позволяет сделать вывод относительно коэффициентов вариации для обоих распределений – C_1 и C_2 . Очевидно, что $C_1 > C_2$. Если нормируемое значение IPTD, показанное стрелкой на оси абсцисс, больше $S_2^{(1)}$, то распределение $f_2(t)$ представляется предпочтительным.

Передачи потокового видеоизображения по МСС. Теперь рассматривается случай передачи потокового видеоизображения по сети передача данных и учитываются такие характеристики сети передача данных как негарантированная доставка пакетов, динамически меняющаяся ограниченная пропускная способность, передача данных пакетами ограниченного размера. Рассматривается случай отсутствия обратного канала связи, то есть в условиях, когда нет никакой возможности узнать, передан ли или потерялся пакет, что характерно для широковещательных приложений.

В современных алгоритмах кодирования видеоизображение состоит из элементов данных, между которыми существует зависимость в виде ациклического графа. Каждый элемент данных характеризуется двумя

основными параметрами: размером в байтах b и искажением d - ухудшением качества получаемого видеоизображения при невозможности декодировать элемент данных. Для вычисления искажения используется формальная метрика отношения максимального сигнала к шуму.

$$Q = 10 \lg \frac{(2^r - 1)^2}{\sigma^2} \text{ дБ}, \text{ где } \sigma = \sum_{x=1}^A \sum_{y=1}^B (p(x, y) - p'(x, y))^2 \quad (2.1)$$

Здесь r – количество бит в пикселе; A, B – размеры x, y видеоизображения в пикселях; $p(x, y), p'(x, y)$ – значение пикселя с координатами (x, y) в воспроизводимом и оригинальном изображении.

В сети передача данные передаются пакетами с ограниченным размером. Будем считать, что вероятность потери пакета равна ε . Элементы данных размера большего, чем максимально допустимый, разбиваются на пакеты, и для каждого передаваемого пакета вероятность потери всегда равна ε . Для уменьшения вероятности потери элемента данных будем использовать метод прямого исправления ошибок Рида-Соломона, в которой при пересылке k пакетов (далее основных пакетов) отправляется $n - k$ избыточных пакетов так, что при потере не более $n - k$ любых пакетов (не обязательно избыточных) всегда можно восстановить все k основных пакетов.

В общем случае оптимальное расписание передачи пакетов это расписание, дающее минимальные потери качества за счет не передающихся или потерянных пакетов. Так в работе строится модель задачи в упрощенной формулировке, когда каждый пакет передается ноль либо один раз и в сети отсутствуют потери. Введем понятие эффективного искажения D_i элемента данных i как ожидаемое улучшение качества всего воспроизводимого видеоизображения в случае передачи элемента данных разбитого на k_i пакетов и передачи $n_i - k_i$ избыточных пакетов. Задачу поиска оптимального множества передаваемых пакетов можно сформулировать как задачу нахождения целочисленного вектора x количества пакетов для передачи элементов данных дающего оптимальное качество видеоизображения

$$\sum_{i=1}^n D_i(\bar{x}) \rightarrow \max, \quad (2.2)$$

при ограничении суммарного размера передаваемых данных, что равносильно ограничению количества передаваемых пакетов

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq V, \quad (2.3)$$

Эта задача является задачей дискретного программирования.

В работе задача аппроксимируется задачей поиска максимального значения Лагранжиана

$$\sum_{i \in k} (D_i(\bar{x}) - \lambda x_i) \rightarrow \max, \quad (2.4)$$

Множитель λ динамически корректируется в зависимости от размера виртуального буфера на стороне отправителя.

Решение задачи строится интерактивно в три этапа на каждом шаге итерации. Рассмотрим более подробно первый этап шага итерации. На этом этапе рассматривается множество элементов данных A , каждый из которых удовлетворяет двум условиям:

- пакет еще ни разу не передавался;
- все пакеты, от которых зависит, данный пакет уже передавались хотя бы один раз.

Основная идея первого этапа состоит в том, что из множества A выбираются те элементы данных, для которых Лагранжиана i -го элемента данных M_i положителен

$$M_i(\bar{x}) = D_i(\bar{x}) - \lambda x_i, \quad (2.5)$$

В этом случае при передаче пакетов таких элементов данных функция (2.4) увеличится и, таким образом, решение улучшится. Легко показать, что эффективное искажение для элементов данных удовлетворяющих условиям множества A равно

$$D_i(\bar{x}) = d_i p_{x_i}^{k_i} \prod_{\forall j: j \rightarrow i} p_{x_j}^{k_j}, \quad (2.6)$$

где $p_{x_i}^{k_i}$ - вероятность восстановления i -го элемента данных, состоящего из k_i основных и $n_i - k_i$ избыточных пакетов, которая выражается формулой

$$p_n^k = \sum_{i=k}^n C_n^k (1-\varepsilon)^i \varepsilon^{n-i}, \quad (2.7)$$

Обозначим

$$F_{x_i} = \frac{\sum_{l=k_i}^{x_i} C_l^{k_i} (1-\varepsilon)^l \varepsilon^{x_i-l}}{x_i}, \quad (2.8)$$

Тогда подставив (2.7) в (2.6), а (2.6) в (2.5) получим, что условие максимизации функции (2.7) при условии, что оно положительно достигается при x_i максимизирующем функцию (2.8). Обозначим такое x_i символом x_i' , а соответствующее значение F символом F_i' . В этом случае значение функции M будет равно

$$M_i'(\bar{x}) = (d_i F_i' \prod_{\forall j: j \rightarrow i} p_{x_j}^{k_j} - \lambda) x_i', \quad (2.9)$$

Рассчитаем значения x_i' , M_i' , для каждого пакета из множества A . Выберем подмножество элементов данных A^* множества A , для которых M_i' положительно.

Попытаемся улучшить Лагранжиан для множества A^* . Для этого определим приращение Лагранжиана для i -го элемента данных как разницу между функцией Лагранжиана в случае, когда i -й элемент данных передается на один раз больше и исходным значением функции M

$$\Delta M_i(x_i) = M(x_i + 1) - M(x_i), \quad (2.10)$$

Для каждого пакета из множества A^* , последовательно увеличивая, x_i начиная с x_i' найдем x_i'' для которого справедливы два неравенства

$$\Delta M_i(x_i'' - 1) > 0, \quad \Delta M_i(x_i'') \leq 0. \quad (2.11)$$

Если подмножество A^* непустое, то для каждого элемента данных I из множества A^* последовательно добавляем в расписание x_i'' пакетов. На этом первый этап шага итерации заканчивается.

Если подмножество A^* пустое, то переходим ко второму этапу шага итерации, в противном случае второй этап пропускаем и переходим сразу к третьему этапу. Рассмотрим более подробно второй этап шага итерации. На данном этапе производится поиск в глубину с глубиной N множества B элементов данных обладающего следующими свойствами:

- все элементы данных множества B еще не добавлены в расписание передачи пакетов;
- элементы множества B пронумерованы так, что никакой элемент данных не зависит ни от одного элемента данных следующего за ним;
- количество элементов данных множества B не больше глубины поиска N ;
- для любого элемента данных множества B справедливо утверждение: “Все элементы данных, от которых зависит элемент данных множества B либо принадлежат множеству B , либо уже добавлены в расписание передачи пакетов”;
- для множества B выполняется неравенство

$$\sum_{i \in C} D'_i > 0, \quad (2.12)$$

Поиск останавливается после нахождения первого множества, удовлетворяющего этим условиям. В этом случае для каждого элемента данных i из множества B последовательно добавляем в расписание x'_i пакетов и считаем, что второй этап шага итерации закончен.

Заметим, что глубина поиска в глубину зависит от вычислительной мощности компьютера, таким образом, поиск дает более точный результат на более мощных компьютерах.

В случае, когда на первом или на втором этапе в расписание добавлено непустое множество пакетов, то переходим к третьему этапу. На 3-м этапе рассматривается множество C элементов данных, каждый из которых удовлетворяет условиям:

- пакеты элемента данных уже добавлены в расписание;

- по крайней мере, для одного из элементов данных от которого зависит данный элемент, пакеты уже добавлены в расписание.

Основная идея третьего этапа состоит в последовательном вычислении приращения Лагранжиана для каждого элемента данных из множества S и числа пакетов x_i, x_i+1 и т. д. до тех пор пока не найдено количество пакетов удовлетворяющего условиям (2.11). Если это число x_i'' больше x_i , то в расписание добавляется $x_i'' - x_i$ избыточных пакетов для i -го элемента данных.

При этом для упрощения клиентской реализации они добавляются так, что бы все пакеты одного элемента данных передавались друг за другом. Приращение Лагранжиана для i -го элемента данных вычисляется по формуле

$$\Delta D_i(\bar{x}) = \left(\frac{p_{x_i}^{k_i} + 1}{p_{x_i}^{k_i}} - 1 \right) (D_i^s + \sum_{\forall j \neq i} D_j^s) - \lambda. \quad (2.13)$$

Заметим, что формула (2.13) в отличие от (2.6) и (2.9) учитывает элементы данных зависящие от данной.

Особенности реализации в условиях меняющейся пропускной способности сети и скорости проигрывания видеоизображения. В предыдущей разделах мы описали метод составления расписания передачи пакетов потокового видео без учета того, что пропускная способность сети, а так же скорость проигрывания видеоизображения может меняться. Так при уменьшении пропускной способности сети ресурсов сети может не хватить для своевременной передачи всех элементов данных, а при увеличении пропускной способности часть ресурсов сети может не использоваться. В данной работе эта проблема решается динамической корректировкой множителя Лагранжиана. В работах множитель корректируется в зависимости от размера виртуального буфера на стороне отправителя. Так, при увеличении размера виртуального буфера (обычно вызванного уменьшением пропускной способности сети либо увеличением битовой скорости видеоизображения) множитель λ увеличивается и соответственно

уменьшается количество передаваемых пакетов, а при уменьшении размера виртуального буфера (обычно вызванного увеличением пропускной способности сети либо уменьшением битовой скорости видеоизображения) множитель λ уменьшается и соответственно возрастает количество передаваемых пакетов. Но такой подход имеет и недостаток, заключающийся в том, что при часто меняющейся пропускной способности или битовой скорости видеоизображения качество видеоизображения будет заметно варьироваться, что с точки зрения восприятия иногда даже хуже чем обеспечение постоянного минимального качества. Как будет показано далее, эта проблема может быть решена в случае, когда интервал возможного времени передачи пакета или, другими словами, размер окна передачи пакета достаточно велик.

Будем отличать две скорости: битовая скорость добавления пакетов в расписание и пропускная способность сети, которая равна битовой скорости передачи пакетов по сети, или битовой скорости выхода пакетов из расписания.

Будем рассчитывать множитель отдельно для каждого блока данных исходя из условия равенства битовой скорости добавления пакетов в расписание пропускной способности сети.

При этом сначала оценивается начальное значение множителя Лагранжиана, а затем, по окончании составления расписания этот множитель интерактивно меняется до тех пор, пока не будет получена искомая скорость битового потока. При оценке начального значения используются разные алгоритмы для первого и последующих блоков данных видеоизображения.

Пусть B – суммарный размер блока данных, T – время проигрывания блока данных, ε – вероятность потери пакета. Тогда скорость, необходимую для передачи всего блока данных, можно оценить как.

$$R' = \left(1 + \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}\right) \cdot \frac{8B}{T}, \quad (2.14)$$

Множитель Лагранжиана линейно зависит от отношения полного качества к размеру видеоизображения, а так же от битовой скорости передачи блока данных, и обратно пропорционален пропускной способности сети. Пусть A – коэффициент пропорциональности, тогда начальное значение множителя Лагранжиана для первого блока данных можно аппроксимировать формулой:

$$\lambda(0) = \frac{A \cdot D}{B} \cdot \frac{R'}{R}, \quad (2.15)$$

В действительности оценка (2.15) достаточно грубая и сильно зависит от способа кодирования видеоизображения, кроме того, эта оценка может заметно отличаться для разных блоков данных закодированным один и тем же алгоритмов, для видеоизображения разного качества, разной степенью изменения изображения и т. д. Для уточнения множителя Лагранжиана используем метод градиентного спуска. Сначала составим расписание передачи пакетов для начального значения множителя, и если для данного расписания скорость передачи видеоизображения будет заметно отличаться от фактической, будем интерактивно корректировать множитель и составлять новое расписание до тех пор, пока они не станут равными в пределах допустимой погрешности. Так значение множителя на $(i+1)$ -м шаге итерации равно

$$\lambda(i+1) = \lambda(i) \left(1 + B \cdot \left(\left[\frac{B(i)}{T \cdot R} \right] - 1 \right) \right). \quad (2.16)$$

Для оценки начального значения множителя для следующего блока данных будем изменять множитель Лагранжиана по отношению к предыдущему пропорционально изменению битовой скорости видеоизображения и обратно пропорционально изменению пропускной способности сети:

$$\lambda(N+1) = \lambda(N) \left(1 + C \cdot \left(\frac{\frac{R'(N+1)}{R(N+1)}}{\frac{R'(N)}{R(N)}} - 1 \right) \right), \quad (2.17)$$

Так, если битовая скорость видеоизображения и пропускная способность сети не изменились по отношению к предыдущему блоку данных, то и множитель Лагранжиана не изменится.

Назовем средним качеством видеоизображения ожидаемое качество получаемого видеоизображения на единицу времени. Для обеспечения постоянного качества видеоизображения попытаемся составить расписание передачи пакетов так, что бы каждый раз для рассматриваемого в данный момент блока данных обеспечить равенство среднего качества видеоизображения блока данных среднему качеству видеоизображения предыдущего блока данных. Таким образом, среднее качество видеоизображения будет равно константе, которую назовем желаемым качеством видеоизображения. Будем называть блоки данных, для которых среднее качество видеоизображения, при расчете множителя Лагранжиана по алгоритму, предложенному в предыдущей главе, меньше желаемого, блоками с дефицитом пропускной способности, а блоки данных, для которых среднее качество видеоизображения выше желаемого, блоками с избытком пропускной способности.

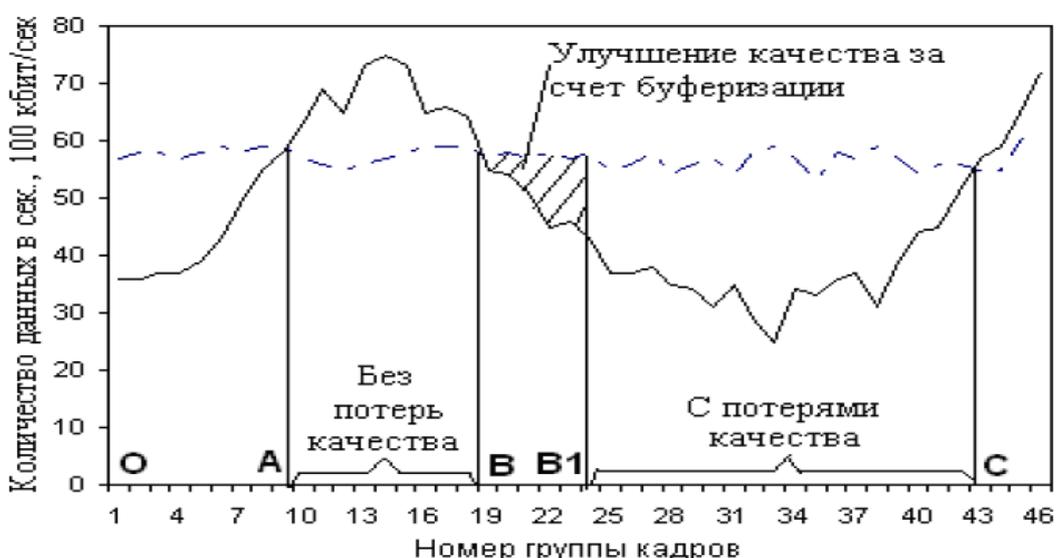


Рис. 2.5. Изменение битовой скорости добавления пакетов в расписание (пунктирная линия) и пропускной способности сети (сплошная линия)

На рисунке 2.5 промежутки АВ являются промежутками с избытком пропускной способности, а 0А (от начала до А) и ВС – с дефицитом пропускной способности. Если искусственно обеспечивать среднее качество видеоизображения равному желаемому на промежутках с избытком пропускной способности, то пропускная способность сети будет использоваться не полностью на промежутках с избытком пропускной способности. С другой стороны, на промежутках с дефицитом пропускной способности среднее качество видеоизображения ниже желаемого и варьируется.

Выводы

В данной главе проведен подробный анализ показателей качества функционирования мультисервисных сетей связи.

Качество услуг мультисервисных сетей может быть реализовано соответствующими механизмами обеспечения заданного QoS используемых сетевых технологий. Однако любые сетевые технологии не позволяют на 100% гарантировать качество всех услуг. Мультисервисная транспортная сеть строится на основе одной из технологий пакетной коммутации (например, IP, Frame Relay, ATM), в основе которых лежит принцип статистического мультиплексирования. Данный принцип позволяет с одной стороны эффективно использовать полосу пропускания, но требует введения механизмов для управления задержками в сети. Поэтому для поддержки качества обслуживания в сетевые технологии были введены (в технологию IP) механизмы QoS, которые должны поддерживать заданный уровень обслуживания.

Для высокого качества обслуживания в сети NGN потребуется координация процессов развития телефонной сети общего пользования на всех уровнях ее иерархии. В этом плане задачи, возникающие перед операторами, будут сложнее, чем при цифровизации телефонной сети.

3. РАСЧЕТ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

3.1. Оценка пропускной способности МСС

Бурное развитие телекоммуникационных систем на базе современных информационных и компьютерных технологий требует создания звена мультисервисных сетей связи на базе многофункциональных абонентских и сетевых терминалов с повышенной эффективностью. Исследована проблема повышения эффективности многофункционального абонентского и сетевого терминала (МАиСТ) мультисервисных сетей передачи различных видов информации - повышения пропускной способности передачи информационных потоков неоднородного трафика и определены их некоторые показатели QoS (Quality of Service). Вместе с тем, еще не решена задача оценки пропускной способности МАиСТ мульти-сервисных сетей в случае, когда совместно обслуживаются потоки неоднородного трафика (речи, данные, факсы, Internet, видео). Необходимость оценки пропускной способности мультисервисных сетей обусловлено тем, что бурное развитие абонентских и сетевых терминалов многофункционального и интеллектуального типа с внедрением новейших технологий IP-телефонии (Internet Protocol), Dsp(digital Signal Processing), АТМ (Asynchronous Transfer Mode), ISDN (Integrated Services Digital Network), NGN(Next Generation Network) требует дальнейшего их исследования.

Для алгоритма расчета пропускной способности терминального оборудования мультисервисных сетей связи необходимо создать схему функционирования модели звена, которая наиболее точно будет учитывать телекоммуникационные процессы управления передачи потоков пакетов, протекающих в рассматриваемой сети при оказании услуг. Причем каждый обслуживаемый трафик (речи, данные, видео и др.) предъявляет определенные требования к показателям системы телекоммуникации.

Математическая формулировка задача оценки характеристик пропускной способности трактов систем передачи при совместном обслуживании неоднородного трафика будет описываться следующими целевыми функциями:

$$Q_{nc} = \left\{ \left[\max_i (C_{i,max}, \eta_{i,ocn}), \min_i (D_{i,kn}, T_{i,cp.з}) \right], i = \bar{1}, \bar{n} \right\}, \quad (3.1)$$

где $C_{i,max}$ - максимальное значение пиковой пропускной способности терминального оборудования мультисервисных сетей связи при передаче i -го потока пакетов; $T_{i,cp.з}$ - среднее время задержки при передаче i -го потока пакетов; $\eta_{i,ocn}$ - отношение сигнал-помеха (ОСП) при передаче i -го потока пакетов; $D_{i,kn}$ - коэффициент потерь пропускной способности трактов систем передачи мультисервисной сети.

Для реализация целевой функции (3.1), характеризующей подход оценки пропускной способности МАиСТ мультисервисных сетей, которая создает основу предлагаемого алгоритма расчета передачи потоков пакетов неоднородного трафика, предложена простейшая структура трактов систем передачи, состоящих из МА и СТ на базе DSP-технологии при оказании интегрированного (IntServ) и дифференцированного (DiffServ) качества обслуживания разнотипных пакетов гетерогенного трафика. Данная схема определяет структурные модели звена сетей связи, которая позволяет более точно учесть телекоммуникационные процессы, протекающие в исследуемой мультисервисной сети на базе технологий NGN, АТМ и IP-телефонии.

С учетом считаем, что в модуль буферного накопителя входного порта поступают марковские входящие потоки пакетов (МАР - Markov Arrival Process) с параметрами $\lambda_{вх}$ ($\lambda_p, \lambda_{np}, \lambda_{в}$), образуемые в результате суперпозиции n неоднородных информационных потоках с интенсивностью λ_i , создаваемых различными типами источников (голоса, факсы, Internet, данные и видео) нагрузки.

Допустим, что на звено мультисервисной сети связи, имеющей $N_{i,m}$ МАиСТ и характеризующейся с ограниченным доступом d , поступает стационарный марковский поток пакетов с параметрами $\lambda_i, i = \overline{1, n}$ а потом с вероятностью P_i , поступает пакет граничному маршрутизатору и коммутатору, требующий для гарантированного обслуживания i -го терминалов, которое определяется следующим образом:

$$P = \frac{\lambda_i}{\lambda}, \quad \lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (3.2)$$

Из алгоритма работы модели функционирования звена сети следует, что структура трактов систем передачи описывается одноканальной системой массового обслуживания с произвольным распределением времени обслуживания - $MAP/G/1/N_{\text{бн}}$ с некоторыми допущениями и одним терминалом с буферным накопителем (БН) конечной емкости $N_{\text{бн}}, 1 \leq N_{\text{бн}} < \infty$. БН входного порта работает по дисциплине FIFO. Звенья мультисервисной сети, состоящие из МАиСТ занумерованы от 1 до $j+1$ их соединяющие, занумерованы последовательно от 1 до j . Скорость j -го МАиСТ равна V_j . Переменными величинами будут значения интенсивностей нагрузок передаваемых по каждому из маршрутов, и значения числа каналов $V_j, j = \overline{1, n}$.

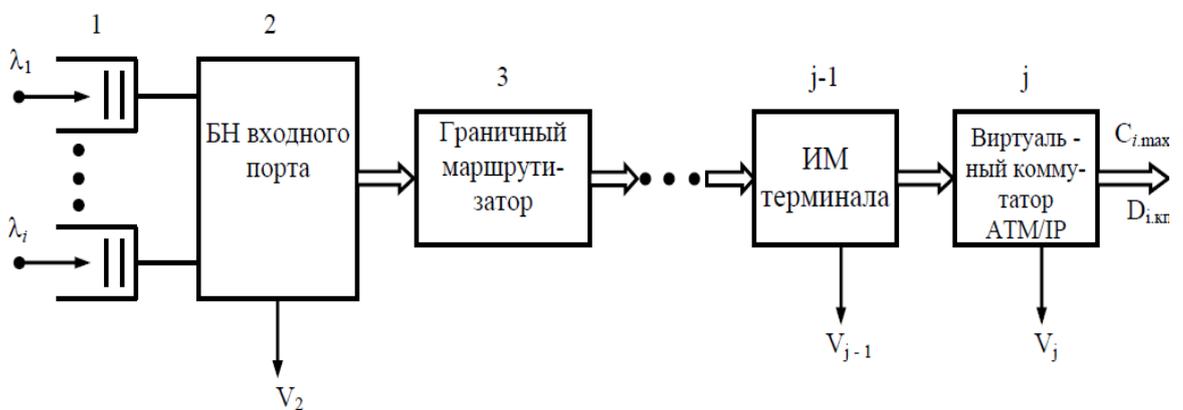


Рис. 3.1. Структурная схема трактов систем передачи мультисервисной сети, состоящей из многофункциональных абонентских и сетевых терминалов.

На основе (3.1) и системно-технического анализа схемы функционирования модели звена мультисервисной сети связи создан эффективный алгоритм расчета, учитывающий объединение процессов разного обслуживания и мультиплексирование потоков пакетов неоднородного трафика, который позволяет оценить характеристики трактов систем передачи.

Оценка характеристики трактов систем передачи неоднородного трафика. Для оценки показателей трактов систем передачи на основе алгоритма расчета необходимо обратить особое внимание на требуемую скорость передачи звеньев $V_{i,t}$, по заданной скорости поступления входного потока λ_i , загрузке системы $\rho_i(\lambda_{ex}) < 1$, матрице маршрутов Λ_i и количеству абонентских и сетевых терминалов $N_{i,m}, i = \overline{1, n..}$.

На основе структурной модели функционирования звена мультисервисных сетей связи определено, что скорость поступления потоков пакетов на звено в этом случае зависит от текущего состояния системы - от числа уже поступивших пакетов. Эти условия можно сформулировать с помощью процесса размножения и гибели в следующем виде:

$$\lambda_i = \begin{cases} \lambda \cdot (N_m - i), & \text{если } i = \overline{0, N_m} \\ 0, & \text{если } i > N_m \end{cases}, \quad (3.3)$$

Одним из важных показателей качества функционирования трактов системы передачи потоков разнотипных пакетов является максимальное значение пиковой пропускной способности (Peak-rate throughput), характеризующей максимальное число пакетов, при котором звено сети с помощью МАиСТ может передавать в единицу времени.

Максимальное значение пиковой пропускной способности при передаче i -го потока пакетов при допустимом значении ОСП $\eta_{i,ocn.don}$ в звеньях сетей связи определяется следующим выражением:

$$C_{i,\max}(\eta_{i,\text{осн}} \geq \eta_{i,\text{осн.дон}}) = \sum [V_{i,t} \cdot N_{i,t,\text{дон}}] \cdot K_{i,\text{сж}} \quad i = \overline{1, n} \quad (3.4)$$

где $K_{i,\text{сж}}$ - коэффициент сжатия трафика i -го потока пакетов на основе дифференциальных алгоритмов данных и алгоритмов интерполяции речевых и видеосигналов.

Из алгоритма работы звена сетей связи следует, что среднее время задержки передачи пакетов состоит из временных характеристик трактов систем передачи трафика и зависит от количества $N_{i,m}$ блочно-модульных систем абонентских и сетевых терминалов, которые приводят к возрастанию $T_{i,\text{ср.з}}$.

На основе структурной схемы трактов систем передачи мультисервисной сети, состоящих из МА-иСТ при реализации алгоритма «End to end» выявлено, что значение суммарной битовой скорости трафика от всех источников i -го звена, передающих потоков пакетов по каналом связи j -й виртуального коммутатора, определяется как

$$V_{ij}^{\text{бс}} = \frac{1}{N_{ij}^t} \sum_{n=1}^{N_{ij}} V_{ij}^{(n)}, \quad i = \overline{1, n} \quad (3.5)$$

где n - количество источников сообщения; N_{ij}^t - число МАиСТ в системе передачи мультисервисной сети, начиная от всех источников i -й области до получателей j -й областями.

Коэффициент потерь пропускной способности трактов систем передачи мультисервисной сети, состоящих из МАиСТ будем оценивать с помощью максимальной пакетной скорости на звене сети $V_{i,\max,n}$ при условии выполнения заданных требований к средней вероятности ошибки приема на бит $P_{i,\text{с.ош}} \leq P_{i,\text{с.ош.дон}}$, $i = \overline{1, n}$.

Установлено, что при нормальном функционировании звена сетей связи, когда отсутствует неограниченное возрастание очереди $\rho(\lambda_{ij}) < 1$ и нет ограничений по доступу ($i=j$), коэффициенты потерь пропускной способности

МАИСТ мультисервисных сетей $D_{i.kn}$ должны быть меньше единицы, и определяется следующим выражением:

$$D_{i.kn}(P_{i.c.ou} \leq P_{i.c.ou.don}) = 1 - \frac{V_{i.max.n}}{C_{i.max}(\eta_{i.ocn} \geq \eta_{i.ocn.don})} < 1. \quad (3.6)$$

где $V_{i.max.n}$ - пакетная скорость передачи МАИСТ мультисервисных сетей связи при передаче i -го трафика и с учетом (3.5) определяется неравенством

$$V_{i.max.n} \geq V_{i.usx.m} + V_{j.ex.m} \quad i = j \quad (3.7)$$

$V_{i.usx.m}, V_{j.ex.m}$ - соответственно, скорость передачи исходящего и приема входящего неоднородного трафика.

Из (3.4), (3.5) и (3.6) следует, что определение скоростных характеристик трактов системы передачи позволяет оценить коэффициенты потерь пропускной способности звена мультисервисных сетей связи на базе МАИСТ, а также нижние и верхние границы потенциально достижимой пропускной способности МАИСТ мультисервисных сетей связи.

3.2. Расчет разделения типов нагрузки МСС

Согласно традиционной классификации, распространенной среде инженеров, занимающихся проектированием и эксплуатацией систем связи, сетевые приложения можно разбить на три основные части: передача данных, пакетная телефония и потоковое видео. Нагрузка коммуникационных приложений, относящихся к первой группе, обычно передается, по принципу Best Effort и не чувствительна к задержке, если величина нагрузки лежит в разумных пределах. Нагрузка коммуникационных приложений второй и третьей групп принадлежит к категории мультимедийных нагрузок (Stream Traffic) и предъявляет к сети требования по предоставлению гарантированной полосы пропускания (ПП) и обеспечению необходимого качества обслуживания (QoS).

Приведем краткое описание модели мультисервисной пакетной сети при реализации на ней технологии разделения типов нагрузки между

трафиками мультимедийных приложений QoS и нагрузки Best Effort. В сети имеется некоторое число узлов (маршрутизаторов), соединенных между собой цифровыми линиями. Обозначим через L общее число линий и будем считать их пронумерованными произвольным образом.

Пусть g_l - скорость l -й линии ($l=1, 2, \dots, L$) выражения в основные передаточных единицах. Допустим, что по сети передаются N потоков нагрузки речевых и мультимедийных приложений QoS, анализируемых на уровне соединения. Пронумеруем имеющиеся потоки заявок на соединение произвольным образом.

Каждый из обслуживаемых потоков (например, k -й) характеризуется интенсивностью поступления требований на занятие полосы передачи λ_k средних временем удерживания выделенной полосы T_k числом основных передаточных единиц, необходимых для обслуживания поступившего требования к маршрутом следования пакетов от узла источника к узлу получателю задаваемых последовательностью номеров соединительных линий (СЛ), составляющих маршрут.

Заявка на установление соединения от k -го потока принимается к обслуживанию если каждая из линий, составляющих маршрут следования нагрузки k -го потока, имеет свободными не менее b_k основных передаточных единиц. В противном случае заявка на установление соединения получает отказ и не возобновляется в форме повторной попытки. Множество маршрутов, по которым идет передача нагрузки QoS, и требований к занимаемой ПП можно описать с помощью маршрутной матрицы $Q = \|q_{l,k}\|$ прямоугольного размера $L \times N$. Элемент матрицы Q служит для сообщения информации о том, используется или нет l -я цифровая линия для передачи сообщения k -го потока и какое число единиц ресурса линии при этом занимает. Данная информация следует из равенства: b_k вызовов k -го потока использует l -ю цифровую линию, занимая для своего обслуживания b_k основных передаточных единиц; 0, вызов k -го потока не использует l -ю цифровую линию.

Помимо нагрузки потоков QoS вести происходит передача пакетов по принципу Best Effort. При поступлении на l -ю СЛ пакет принимается к обслуживанию, если на линии существует хотя бы одна свободная передаточная единица. В противном случае пакет становится на ожидание в буфер, ассоциированный с l -й СЛ и имеющий неограниченную емкость. Время пребывания пакета в буфере неограниченно, а дисциплина выбора на обслуживание производится по правилу FIFO.

Предположим, что после завершения передачи на l -й линии пакет с вероятностью $p(l,j)$ продолжит свое обслуживание на j -й линии вероятностью $p(l,l)$ повторит обслуживание на l -й линии и с вероятностью

$$P(l,0) = 1 - \sum_{j=1}^L p(l,j) \quad (3.8)$$

уйдет из сети. Элементы $p(l,j)$, ($l= 1,2,\dots, L$), ($j=0, 1,2,\dots, L$) объединим в матрицу переходов пакетов $P \|p_{l,j}\|$. Данная матрица имеет прямоугольный вид и состоит из L строк и $L+1$ столбцов.

Предположим, что поступление сообщений k -го потока нагрузки QoS подчиняется закону Пуассона, а время передачи имеет экспоненциальное распределение с параметром μ_k , $k= 1,2,\dots, N$. Аналогично будем считать, что пакеты, в первой попытке поступающие на l -ю СЛ составляют пуассоновский поток, имеющий интенсивность $\lambda_{d,l}$, а время обслуживания пакета на l -й линии имеет экспоненциальное распределение с параметром μ_d . В построенной модели сообщения потоков QoS имеют абсолютный приоритет в занятии передаточного ресурса линии, Это означаем, что сообщение потока QoS может вытеснить с передачи требуемое для обслуживания число пакетов нагрузки Best Effort. Вытесненные пакеты попадают в буфер и начинают заново передаваться по мере появления свободного передаточного ресурса.

В силу принятых предположений о характере реализуемых в модели случайных величин введенная модель описывается Марковским процессом. Введем компоненты соответствующего процесса. Пусть $i_k(t), k= 1,2,\dots, N$

число сообщений k -го потока нагрузки QoS, находящихся на передаче в момент t , а $I_{d,l}(t)$, $l=1,2,\dots,L$ - число пакетов нагрузки Best Effort находящихся в момент t на l -й линии на передаче или: ожидании. Динамика изменения состояний модели описывается Марковским процессом

$$r(t) = [i_1(t), \dots, i_N(t), i_{d,1}(t), \dots, i_{d,L}(t)], \quad (3.9)$$

определенным на бесконечном пространстве состояний S . Обозначим через $P(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L})$ стационарные вероятности $r(t)$.

Для исследуемой модели не для всех значений входных параметров существует стационарное распределение вероятностей $P(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L})$. Соединения для нагрузки QoS предоставляются на основе модели с потерями. Поэтому интенсивности поступления заявок на соединения QoS могут принимать любые численные значения, лежащие в интервале от нуля до бесконечности. Напротив, заявки на соединение типа Best Effort обслуживаются на основе модели с неограниченным ожиданием. Поэтому интенсивности поступления соответствующих заявок не должны превосходить ПП линии, оставшейся свободной от передачи сообщений нагрузки QoS. Не будем давать точные значения интервала изменения $\lambda_{d,l}$, а ограничимся лишь приведенным выше обсуждением, позволяющим найти границы изменения $\lambda_{d,l}$.

Процесс обслуживания сообщений потоков QoS будем характеризовать следующими величинами: r_k - доли сообщений k -го потока, получившие отказ в установлении требуемого соединения, и M_k - средняя величина полосы линии, выраженная в основных передаточных единицах и занятая сообщениями k -го потока. Формальные выражения для соответствующих характеристик через значения доли времени пребывания модели с фиксированным числом соединений каждого типа и известным числом пакетов, находящихся на передаче или ожидании на каждой из имеющихся линий, можно записать в следующем виде:

$$r_k = \sum_{(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L}) \in B_k} P(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L})$$

$$M_k = \sum_{(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L}) \in S} P(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L}) \cdot i_k b_k, \quad k=1,2,\dots,N; \quad (3.10)$$

где S - множество возможных состояний модели; B_k - множество состояний модели, в которых заявка на соединение от k -го потока нагрузки QoS получает отказ из-за недостаточности ресурса в одной из линий, составляющих маршрут следования нагрузки k -го потока. Используя результаты, можно показать справедливость соотношений

$$M_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k} b_k (1 - r_k) = a_k b_k (1 - r_k), \quad (3.11)$$

где $a_k = \lambda_k / \mu_k$ - интенсивность k -го потока нагрузки QoS, выраженная в Эрлангах. Таким образом, для оценки введенных показателей обслуживания нагрузки QoS достаточно знать только долю отказов в установлении требуемого соединения.

Процесс обслуживания пакетов Best Effort будем характеризовать средним временем задержки пакета на l -й линии W_l , которая складывается из времени передачи и пребывания (возможно неоднократно) в буфере. Величина $W_l = 1, 2, \dots, L$, рассчитывается с использованием формулы Литтла:

$$W_l = \frac{y_l}{\gamma_l}, \quad \text{где } y_l \text{ - среднее число пакетов, находящихся на } l\text{-й линии на}$$

ожидании и обслуживании, а γ_l - интенсивность потока пакетов, попадающих на l -ю линию. Аналогично (3.10) получаем

$$y_l = \sum_{(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L}) \in S} i_{d,l} P(i_1, \dots, i_N, i_{d,1}, \dots, i_{d,L}), \quad (3.12)$$

Для оценки значений y_l $l= 1, 2, \dots, L$, необходимо составить и решить систему линейных уравнений (к ним перейдем несколько позднее).

Точная оценка показателей обслуживания нагрузки QoS. Вычисление этих показателей облегчается, поскольку заявки на соединение для данного типа трафика имеют абсолютный приоритет в занятии полосы передачи СЛ.

Следовательно, значения τ_k и M_k могут быть найдены независимо от характеристик обслуживания нагрузки Best Effort.

Предположим, что $\lambda_{d,l}=0, l= 1, 2, \dots, L$. Упрощенная подобным образом модель сети описывается Марковским процессом $\tau(t)=[i_1(t), \dots, i_N(t)]$, у которого отсутствуют компоненты, связанные с наличием на передаче пакетов нагрузки Best Effort. Аналогичным образом упрощаются и введенные ранее формулы (2), определяющие значения τ_k и M_k , а также значения стационарных вероятностей, которые теперь имеют вид $P(i_1, \dots, i_N)$. Из [2,3] следует, что для вероятностей стационарных состояний упрощенной модели: выполняется свойство мультипликативного представления, позволяющее записать следующее выражение

$$P(i_1, \dots, i_N) = P(0, \dots, 0) \frac{a_1^{i_1}}{i_1!} \frac{a_2^{i_2}}{i_2!} \dots \frac{a_N^{i_N}}{i_N!}, \quad (3.13)$$

$$(i_1, \dots, i_N) \in S$$

Наличие свойства мультипликативности послужило основой для нескольких алгоритмов точного вычисления τ_k и M_k . По ряду показателей среди которых необходимо отметить простоту реализации и возможность однотипного использования расчетной схемы для целого класса моделей, наиболее удачным следует признать сверточный алгоритм. Для упрощения изложенного материала сформулируем основные шаги алгоритма в случае, когда в сети имеется всего одно звено, и обсудим, к каким изменениям приводит анализ общего случая,

1. Предположим, что на звено, имеющее скорость ν основных передаточных единиц поступают заявки только от k -го потока нагрузки. Выразим значения ненормированных стационарных вероятностей пребывания на передаче i сообщений k -го потока через вероятность отсутствия соответствующих сообщений на передаче, приняв последнюю вероятность за единицу. Нетрудно убедиться в том, что искомое выражение определяется соотношением $a_k^i / i!$. Составим векторы ненормированного распределения для сообщений k -го потока в виде $[p_k(0), p_k(1), \dots, p_k(\nu)]$.

Компонента $p_k(r)$ вычисляется по формуле $p_k(r) = a_k^i / i!$, если величина r представлена в виде $r = ib_k$, где i - целое число. В противном случае $p_k(r) = 0$. Здесь r — число основных передаточных единиц, занимаемых сообщениями k -го потока, i - число сообщений l -го потока, находящихся на обслуживании.

2. Найдем векторы индивидуальных распределений для всех N потоков, передаваемых по сети,

3. Назовем сверткой вектора $a = [a(0), a(1), \dots, a(v)]$ и вектора той же размерности $b = [b(0), b(1), \dots, b(v)]$ вектор $z = [z(0), z(1), \dots, z(v)]$ с компонентами $z(i)$ вычисляемыми по формулам:

$$z(i) = \sum_{j=0}^i a(j)b(i-j), \quad i = 0, 1, \dots, v, \quad (3.14)$$

Выполним свертку всех N индивидуальных распределений и получим ненормированные значения вероятностей $P(r)$ числа основных передаточных единиц, занятых всеми потоками, предлагаемыми для передачи по звену сети.

4. Произведем нормировку и найдем искомые показатели обслуживания

$$\begin{aligned} r_k &= P(v) + P(v-1) + \dots + P(v - b_k + 1), \\ M_k &= a_k b_k (1 - r_k) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Оценка показателей обслуживания для сети методом свертки осуществляется тем же способом. Сначала наводят векторы индивидуальных распределений в предположении единственности поступления заявок на соединение от анализируемого потока. Число компонент вектора определяется максимальным числом сообщений данного потока, которые одновременно могут находиться на передаче. Затем производится свертка векторов индивидуальных распределений. При ее выполнении необходимо соблюдать ограничения, задаваемые максимальной пропускной способностью каждого звена. На финальной стадии получаем ненормированные вероятности занятости ПП в каждом; из имеющихся

звеньев сети. После нормировки их можно использовать для оценки показателей совместной передачи нагрузки.

Приближенная оценка показателей обслуживания нагрузки QoS. Для этой оценки пользуются методом просеянной нагрузки. Суть метода и его название становятся понятными при анализе рассуждений, положенных в его основу. Обозначим через β_l долю заявок на установление соединения, получивших отказ из-за недостаточности ресурса на l -й СЛ. Если считать выполненным предположение о том, что заявки на каждом звене сети блокируются независимо, то интенсивность нагрузки, поступающей на l -е звено, можно считать пуассоновской и равной

$$\Lambda_l = \frac{1}{1 - \beta_l} \sum_{n \in N_l} a_n b_n \prod_{j \in R_n} (1 - \beta_j)^{b_n}$$

а для вычисления доли потерянных заявок k -го потока на установление соединения использовать выражение

$$r_k = 1 - \prod_{j \in R_k} (1 - \beta_j)^{b_k}, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.16)$$

Решением системы неявных уравнений является

$$\beta_l = E \left(v_l \frac{1}{1 - \beta_l} \sum_{n \in N_l} a_n b_n \prod_{j \in R_n} (1 - \beta_j)^{b_n} \right), \quad (3.17)$$

$$l = 1, 2, \dots, L$$

Его можно найти с помощью метода подстановок, начиная с нулевого начального приближения. Многочисленные исследования показали приемлемость донного подхода для приближенной оценки показателей обслуживания нагрузки QoS. По этой причине, а также благодаря простоте реализации, данный алгоритм будет использован при построении схемы вычисления характеристик обслуживания пакетов нагрузки Best Effort.

Рассмотренный отдельно процесс обслуживания соответствующих нагрузок обладает свойством мультипликативного представления стационарных вероятностей, что значительно облегчает построение точных и приближенных методов расчета модели; Если предположить, что интенсивности нагрузки QoS равны нулю, то получаем модель с мультипли-

кативным решением, но уже для числа пакетов, находящихся на передаче и ожидании.

Пусть γ_i - суммарная интенсивность поступления пакетов на l -ю СЛ. Значения: $\gamma_l, l=1,2,\dots, L$, можно найти из решения системы линейных уравнений;

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \lambda_{d,1} + \gamma_1 p(1,1) + \gamma_2 p(2,1) + \dots + \gamma_L p(L,1); \\ \gamma_2 &= \lambda_{d,2} + \gamma_1 p(1,2) + \gamma_2 p(2,2) + \dots + \gamma_L p(L,2); \\ &\dots\dots\dots \\ \gamma_L &= \lambda_{d,L} + \gamma_1 p(1,L) + \gamma_2 p(2,L) + \dots + \gamma_L p(L,L). \end{aligned} \quad (3.18)$$

Тогда в соответствии с задержка пакета на l -й линии W_l определяется независимо от передачи пакетов на других линиях и находится из выражения, полученного для изолированного звена, состоящего из ν_l основных передаточных единиц и бесконечного буфера. На звено поступает пуассоновский поток вызовов интенсивности $\theta = \gamma_l / \mu_d$. Тогда

$$W = \frac{\nu_l E(\nu_l, \theta)}{(\nu_l - \theta) \{ \nu_l - \theta [1 - E(\nu_l, \theta)] \}}, \quad (3.19)$$

Необходимо отметить, что это точное равенство выполняется только при отсутствии нагрузки QoS.

Заметим, что данная ситуация соответствует рассматриваемой постановке задачи, поскольку сначала необходимо определить ресурс каждой линии, обеспечивающий заданные характеристики обслуживания нагрузки QoS (т.е. доля потерянных заявок должна быть мала), а затем искать те объемы пакетов по технологии Best Effort, которые сеть может пропустить без существенной задержки.

Примеры расчетов. Рассмотрим использование разработанных расчетных процедур для решения задачи об оценке ПП (т.е. скорости передачи по СЛ) по заданной нагрузке. Данная проблема часто возникает при эксплуатации и проектировании сетей связи.

Предположим известна топология сети, т.е. заданы узлы, установлены связи между ними в виде СЛ и определены маршруты следования нагрузок QoS и Best Effort в форме маршрутной матрицы Q и матрицы переходов P . Необходимо определить скорости передачи СЛ, т.е. значения v_l , $l=1, \dots, L$, при которых потоки нагрузки QoS будут обслужены с заданным качеством, а также указать возможную при этом максимальную интенсивность потоков нагрузки Best Effort. Зададим, качество обслуживания нагрузки QoS долей отказов на соединение и положим, что время задержки пакетов Best Effort не должно превосходить заданной величины.

В качестве начальных значений последовательности приближений к v_l можно взять целую часть от интенсивности суммарной нагрузки QoS, проходящей через линию v_l , $l=1, \dots, L$. Затем по (3.16) и (3.17) вычислить $r(l)$. Значения r_l , $l=1, \dots, L$, сравнивают с нормированными показателями. Если заданный уровень обслуживания не достигнут, то одна из скоростей увеличивается. Линия, на которой скорость увеличивается, выбирается путем сравнения приближенных значений потерь нагрузки β_l на каждом из звеньев (3.17). Увеличение скорости происходит на линии l с максимальными потерями β_l .

На втором этапе оценивается величина интенсивности потоков нагрузки Best Effort, которые могут быть переданы при ограничении на задержку. Эта часть задачи также решается подбором с помощью расчетной схемы, изложенной выше.

Рассмотрим конкретные примеры вычислений. Допустим, имеется модель сети со следующими входными параметрами: $L=6$, $N=5$, $\lambda_1=20$, $b_1=1$, $\lambda_2=5$, $b_2=2$, $\lambda_3=5$, $b_3=3$, $\lambda_4=10$, $b_4=2$, $\lambda_5=10$, $b_5=1$, $\mu_k=1$, $k=1, \dots, 5$, $\mu_{d,l}=1$, $l=1, \dots, 6$.

Компоненты маршрутной матрицы D и матрицы вероятностей переходов P принимают значения.

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

(3.21)

$$P = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,1 & 0,3 & 0 & 0,3 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0 & 0 \\ 0,4 & 0 & 0,2 & 0,3 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,2 & 0,1 & 0,1 \\ 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,1 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,2 & 0,1 \end{pmatrix}.$$

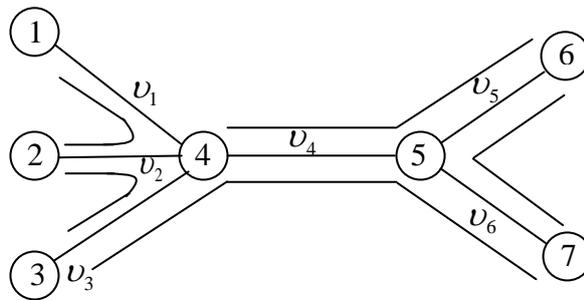


Рис.3.2. Схема исследуемой модели сети приведена

В таблице показаны результаты вычислений характеристик обслуживания нагрузки QoS на первых 10 шагах реализации рекуррентного алгоритма определения скорости СЛ (номер варианта - это номер рекуррентного шага).

Таблица 3.1

Номер шаг	Емкость СЛ						Доли потерянных заявок нагрузки QoS				
	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
1	20	38	25	35	30	25	0,1844	0,2382	0,3040	0,1975	0,1398
2	22	30	25	35	30	25	0,1491	0,2189	0,3009	0,1977	0,1306
3	22	32	25	35	30	25	0,1327	0,1775	0,3073	0,1973	0,1293
4	24	32	25	35	30	25	0,1055	0,1905	0,3052	0,1974	0,1297
5	24	32	25	35	32	25	0,1059	0,1873	0,3162	0,1630	0,1154
6	24	34	25	35	32	25	0,0902	0,1541	0,3213	0,1624	0,1061
7	24	34	25	35	34	25	0,0905	0,1511	0,3303	0,1358	0,0783
8	24	34	25	35	34	27	0,0756	0,1605	0,3241	0,1312	0,0667
9	26	34	25	35	34	27	0,0698	0,1677	0,3016	0,1253	0,0669
10	26	34	27	35	34	27	0,0612	0,1402	0,2786	0,1	0,0701

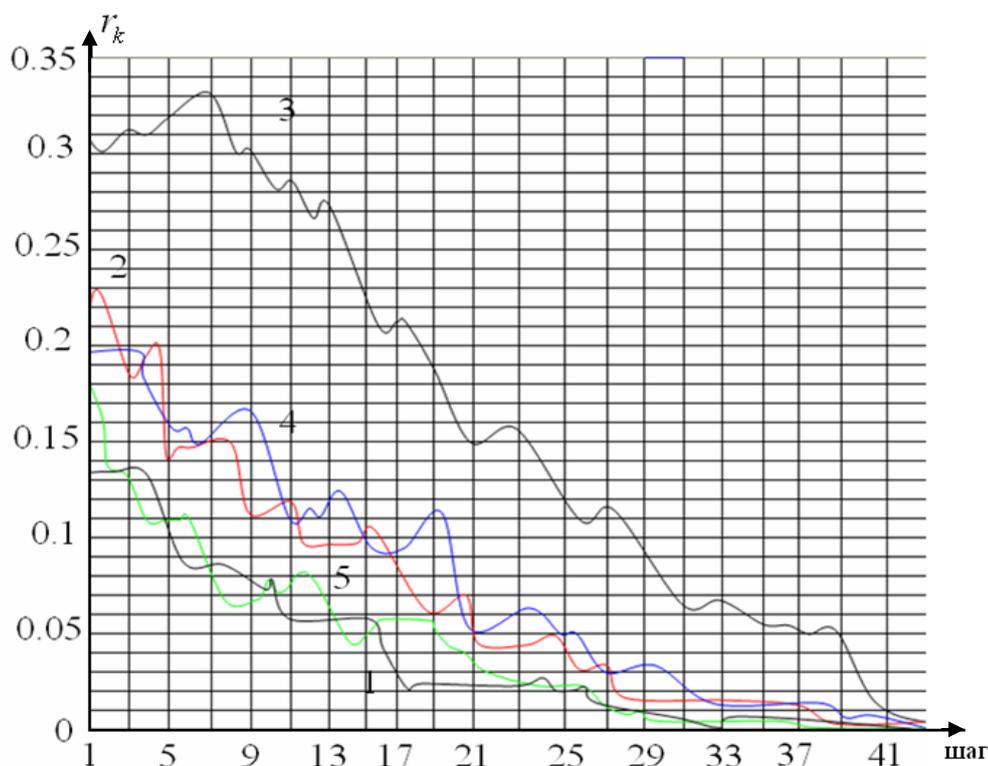


Рис.3.3. Значения потерь нагрузки QoS

Процесс сошелся на 45-м шаге. Предполагалось, что расчетные потери для всех пяти потоков не должны превосходить 5%. Поскольку метод просеянной нагрузки занижает величину потерь маршрутов с большим числом звеньев, то для учета этого явления рекуррентный процесс был остановлен, когда оценки потерь на маршрутах стали меньше 1%. Сходимость значений потерь нагрузки QoS при решении задачи определения полосы передачи СЛ, обеспечивающей нормированный уровень потерь для всех шагов счета, приведена на рис. 3.3 (номер кривой соответствует номеру потока). Найденные значения скоростей СЛ принимают значения $v_1=31$, $v_2=43$, $v_3=41$, $v_4=54$, $v_5=43$, $v_6=42$.

На следующем этапе решения общей проблемы находили значения интенсивностей нагрузки Best Effort, которые сеть может обслужить при условии, что время задержки пакета на каждой линии не превосходит двух значений среднего времени передачи. Сходимость значений времени задержки для всех шагов счета показана на рис.3.4 (номер кривой соответствует номеру СЛ).

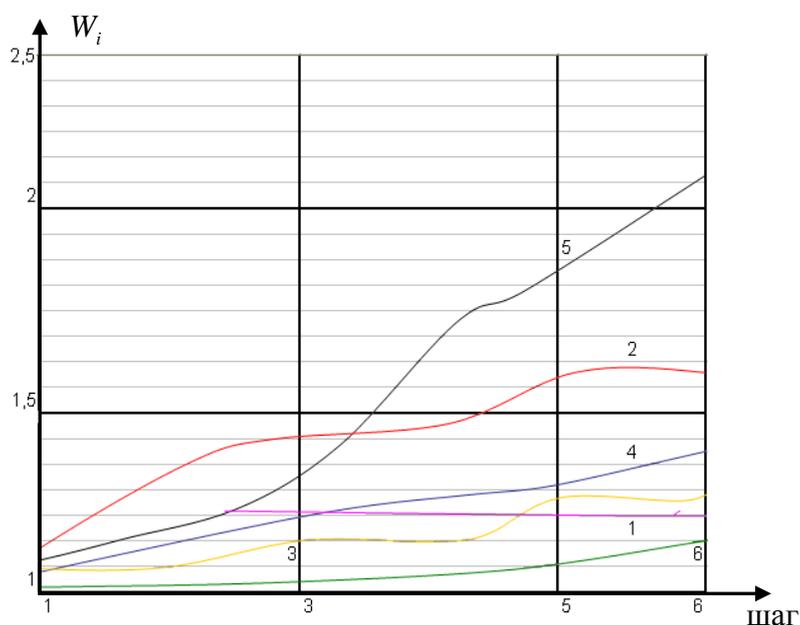


Рис.3.4. Значения средней задержки

Найденные величины интенсивностей принимают значения $\lambda_{d1}=3, \lambda_{d2}=3, \lambda_{d3}=5, \lambda_{d4}=3, \lambda_{d5}=5, \lambda_{d6}=7$.

Поскольку решение задачи было получено приближенными методами, имеет смысл оценить погрешность решения с помощью средств имитационного моделирования. Приведем рассчитанные подобным образом значения потерь нагрузки QoS и среднего времени задержки пакетов Best Effort для найденных значений скорости передачи v_l и интенсивностей поступления пакетов $\lambda_{dl}, l=1, \dots, 6$.

Приведенные данные показывают, что найденные значения скоростей передачи обеспечивают заданный уровень потерь заявок на соединение нагрузки QoS, а передача рассчитанных объемов нагрузки Best Effort удовлетворяет ограничению по задержке, т.е. разработанные методы приемлемы для инженерных расчетов.

3.3. Расчет задержек и вероятности потерь элементов МСС

Международным союзом электросвязи (МСЭ) и Европейским институтом стандартов в области телекоммуникаций (ETSI) разработаны требования к качеству передачи речи (общее и слышимое качество передачи, задержка информации) с учетом особенностей субъективного восприятия для различных классов качества обслуживания абонентов. Однако, данные требования накладываются на качество передачи речи из конца в конец (от говорящего до слушающего). При расчете пропускной способности каналов мультисервисной сети возникает необходимость в определении требований к объективным параметрам качества обслуживания речевых пакетов в узлах IP-сети (средняя задержка пакетов, максимальная задержка пакетов, вероятность потерь пакетов и др.).

В настоящем параграфе предлагается методика расчета объективных параметров качества обслуживания речевых пакетов в узле IP-сети (максимальная задержка и допустимая вероятность потерь) в зависимости от проектируемого качества передачи речи в системе IP-телефонии для различных речевых кодеков и длины IP-пакетов. Общее качество передачи речи и объективные параметры качества обслуживания речевого трафика связаны через оценку общего качества передачи R многопараметрическими зависимостями. Оценка общего качества передачи R включает все параметры передачи речи и рассчитывается по следующей формуле:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e,eff} + A \quad (3.21)$$

где R_0 – соотношение сигнал/шум; I_s – коэффициент, который включает все факторы ухудшения, проявляющиеся при передаче речи; I_d – коэффициент влияния задержки; $I_{e,eff}$ – коэффициент действительного ухудшения за счет оборудования; A – коэффициент преимущества.

Величина R_0 представляет основное отношение сигнала к шуму, включающее такие источники шума, как шум канала и шум помещения.

Коэффициент I_s является комбинацией всех факторов ухудшения, действующих более или менее одновременно с речевым сигналом, такие как шум квантования, уровень входного и выходного сигнала, местный эффект и т.п.

Коэффициент I_d учитывает все факторы ухудшения, которые связаны с задержкой распространения речевого сигнала. Существуют три различных параметра, определяющих время передачи речи (рис.3.5).

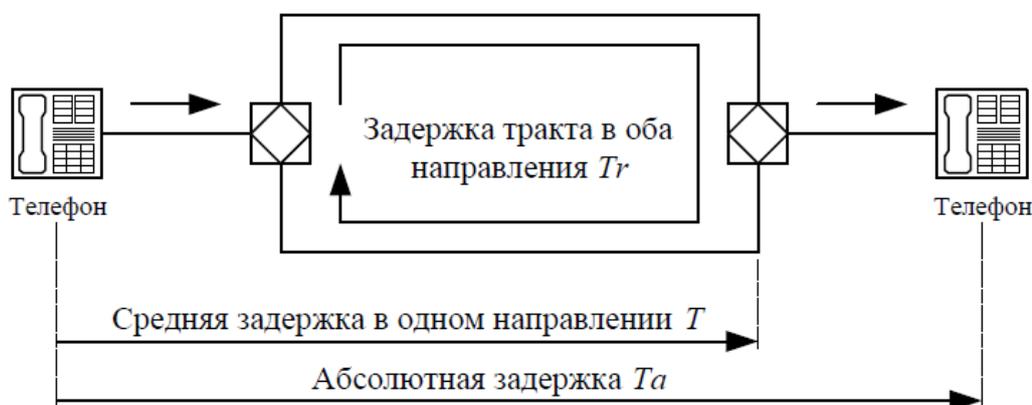


Рис.3.5. Определяющих время передачи речи

Абсолютная задержка T_a представляет общую (суммарную) задержку передачи речи в одном направлении между стороной передачи и стороной приема и используется для оценки ухудшения вследствие излишней длительности задержки.

Средняя задержка сигнала в одном направлении T представляет задержку передачи сигнала между передающей стороной и точкой тракта соединения, в которой происходит отражение сигнала, являющегося источником эха. Задержка тракта в оба направления, то есть в обоих направлениях T_r представляет только задержку в четырехпроводном шлейфе, где ухудшение качества происходит вследствие наличия эха слушающего, возникающего в результате двойного отражения сигнала.

Таким образом, коэффициент I_d вычисляется по формуле:

$$I_d = I_{dte}(T) + I_{dte}(Tr) + I_{dte}(Tr) + I_{dd}Ta \quad (3.22)$$

где $I_{dte}(T)$ – функция, которая определяет ухудшения, вызванные эхом говорящего; $I_{dte}(Tr)$ – функция, которая определяет ухудшения вследствие эха

слушающего; $I_{dd}(Ta)$ – функция, которая определяет ухудшение, вызываемое слишком большой абсолютной задержкой, имеющей место даже при совершенном подавлении эха.

Если при соединении используются цифровые аппараты (четырёхпроводный режим без дифференциальных систем) при выключенной громкой связи, то ухудшения качества связи вследствие влияния эха отсутствуют, то есть $I_{dte}(T)=0$ и $I_{dle}(Tr)=0$.

При $Ta < 100$ мс $I_{dd}(Ta) = 0$. При $Ta > 100$ мс:

$$I_{dd}(Ta) = 25 \left\{ \left[1 + \Theta^6 \right]^{\frac{1}{6}} - 3 \left[1 + \left(\frac{\Theta}{3} \right)^6 \right]^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}, \quad (3.23)$$

где:

$$\Theta = \frac{\lg\left(\frac{Ta}{100}\right)}{\lg 2} \quad (3.24)$$

Для соединений с аналоговыми (двухпроводными) вставками задержка передачи на абонентских линиях незначительная. По этой причине, средняя задержка передачи в одном направлении приблизительно равна абсолютной задержке $T \approx Ta$, а задержка тракта в оба направления равна удвоенному значению абсолютной задержки $Tr \approx 2Ta$:

$$I_d = I_{dte}(Ta) + I_{dle}(2Ta) + I_{dd}(Ta). \quad (3.25)$$

Исходя из выше перечисленных условий, были построены графики зависимости коэффициента задержки I_d от абсолютной задержки передачи речи для цифровых и цифро-аналоговых соединений, которые представлены на рис.3.6.

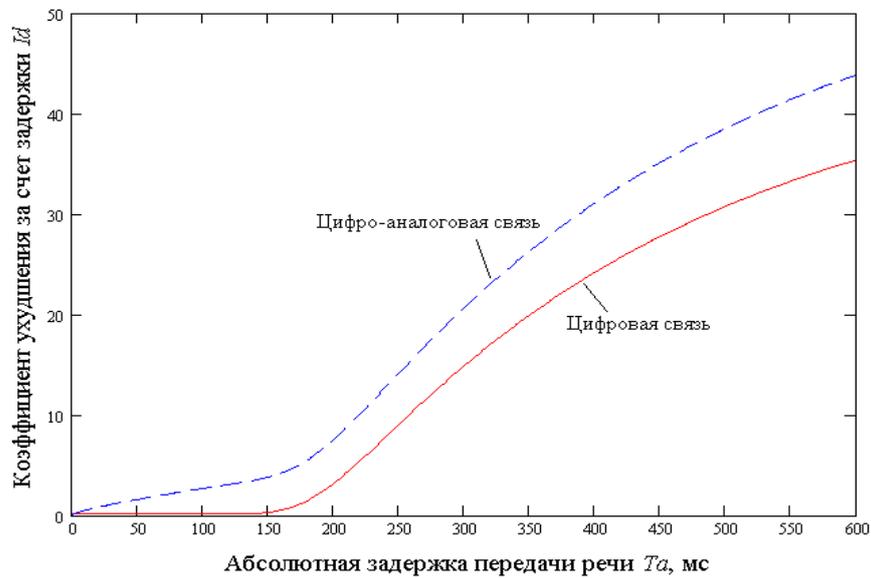


Рис.3.6. Зависимости коэффициента задержки и абсолютной задержки

Из графиков видно, что вклад в ухудшение связи за счет задержки резко возрастает при превышении абсолютной задержки 150 мс. Качество соединений с аналоговыми вставками более подвержено влиянию задержки по сравнению с цифровыми соединениями и зависит от аппаратной реализации эхокомпенсаторов.

Коэффициент действительного ухудшения за счет оборудования $I_{e,eff}$ представляет ухудшение, вносимое низкоскоростными кодеками, а также ухудшения за счет потерь пакетов со случайным распределением. Значения данного коэффициента для аппаратуры, использующей низкоскоростные кодеки, не связано с другими исходными параметрами. Они зависят от результатов субъективных испытаний с усредненной оценкой мнений (MOS), а также от общего качества сети.

Коэффициент действительного ухудшения за счет оборудования $I_{e,eff}$ вычисляется по формуле:

$$I_{e,eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_n}{P_n + B_{pl}} \quad (3.26)$$

где I_e – коэффициент ухудшения за счет оборудования при отсутствии потерь пакетов; P_n – вероятность потерь пакетов, %; B_{pl} – показатель устойчивости к потере пакетов.

Значения коэффициента ухудшения при отсутствии потерь пакетов в канале I_e и показателя устойчивости к потере пакетов B_{pl} для различных кодеков, полученные экспериментальным путем, представлены в таблице 3.2 и таблице 3.3 соответственно. На рисунке 3.7 представлены графики функций зависимости коэффициента действительного ухудшения за счет оборудования от коэффициента потерь пакетов для некоторых типов кодеков, рассчитанные с использованием выражения (3,26) и данных, приведенных в таблице 3.2 и таблице 3.3.

Из графиков видно, что кодек G.711, с включенной функцией маскирования потерянных кадров (PLC), наиболее устойчив к потере пакетов по сравнению с тем же кодеком без функции маскирования. В кодеках G.723.1 (6,3 кбит/с) и G.729A используются встроенные функции подавления пауз (VAD) и маскирования потерянных кадров. Кодек G.711 с выключенной функцией маскирования потерянных кадров при вероятности потерь 0.01 вносит ухудшения соизмеримые с ухудшением, вносимым кодеком G.723.1 ($I_e > 20$).

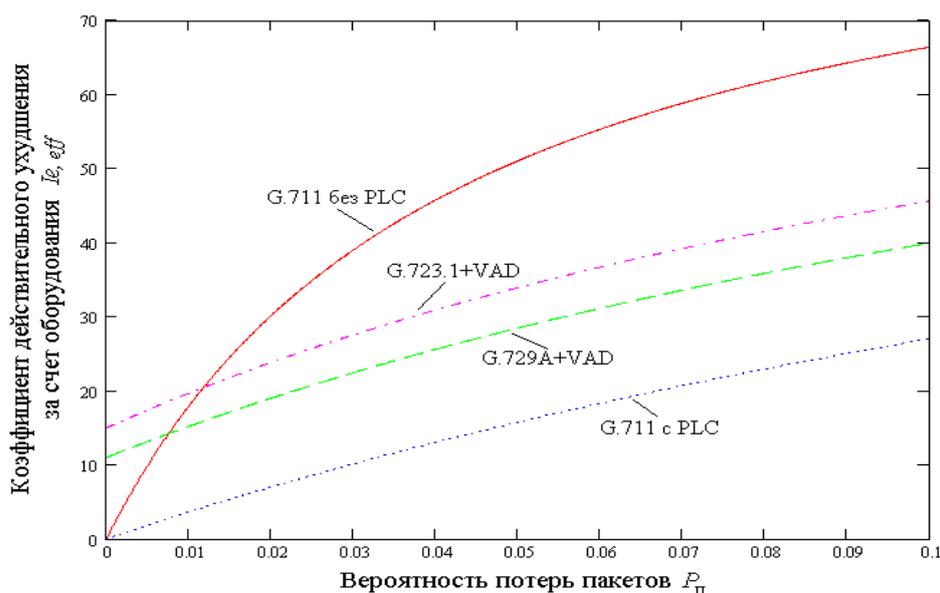


Рис.3.7. Графики функций зависимости коэффициента действительного ухудшения за счет оборудования от коэффициента потерь пакетов

Таблица 3.2

Тип кодека	Рекомендация МЭС-Т	Скорость передачи, кбит/с	Значение коэффициента I_e
ИКМ	G.711	64	0
АДИКМ	G.726, G.727	40	2
	G.721(1988), G.726, G.727	32	7
	G.726, G.727	24	25
	G.726, G.727	16	50
LD-CELP	G.728	16	7
		12,8	20
CS-ACELP	G.729	8	10
	G.729A + VAD	8	11
ACELP	G.723.1	5,3	19
MP-MLQ	G.723.1	6,3	15

Таблица 3.3

Кодек	Размер пакета, мс	I_e	Bpl
G.723.1+VAD	30	15	16,1
G.729A+VAD	20 (2 кадра)	11	19,0
GSM-EFR	20 ms	5	10,0
G.711	10 ms	0	4,3
G.711	10 ms	0	25,1

Коэффициент преимущества A не связан со всеми остальными параметрами передачи. Он позволяет компенсировать коэффициенты ухудшения при наличии каких-либо преимуществ (факторов улучшения), доступных пользователю. Значения коэффициента преимущества для ряда систем связи приведены в таблице 3.4. В дальнейшем, при расчетах будем брать коэффициент преимущества равным нулю ($A = 0$).

Таблица 3.4

Пример системы связи	Максимальное значение A
Обычная (проводная)	0
Сотовая сеть подвижной связи в здании	5
Подвижная связь в географической зоне или на движущемся транспортном средстве	10
Связь с труднодоступными районами, например, через спутниковые каналы с несколькими переприемами	20

Таким образом, после обобщения представленных выше результатов и подстановки соответствующих значений в (3.4), были построены графики в зависимости величины R от вероятности потерь P_p и абсолютной задержки T_a ($(,)$ п $R = f P T_a$): для кодека G.711 с функцией PLC и длиной пакетов 10

мс (рис.3.8); для кодека G.711 без функции PLC и длиной пакетов 10 мс (рис.3.9); для кодека G.729А с функциями VAD и PLC и длиной пакетов 20 мс (рис.3.10); для кодека G.723.1 (6,3 кбит/с) с функциями VAD и PLC и длиной пакетов 30 мс (рис3.11).

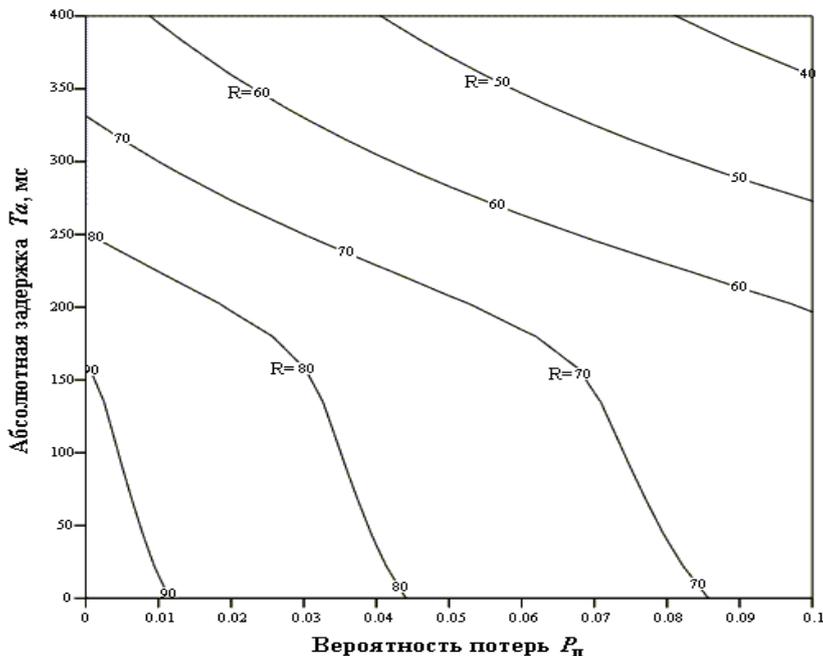


Рис.3.8. Плоскости зависимости величины от вероятности потерь и абсолютной задержки

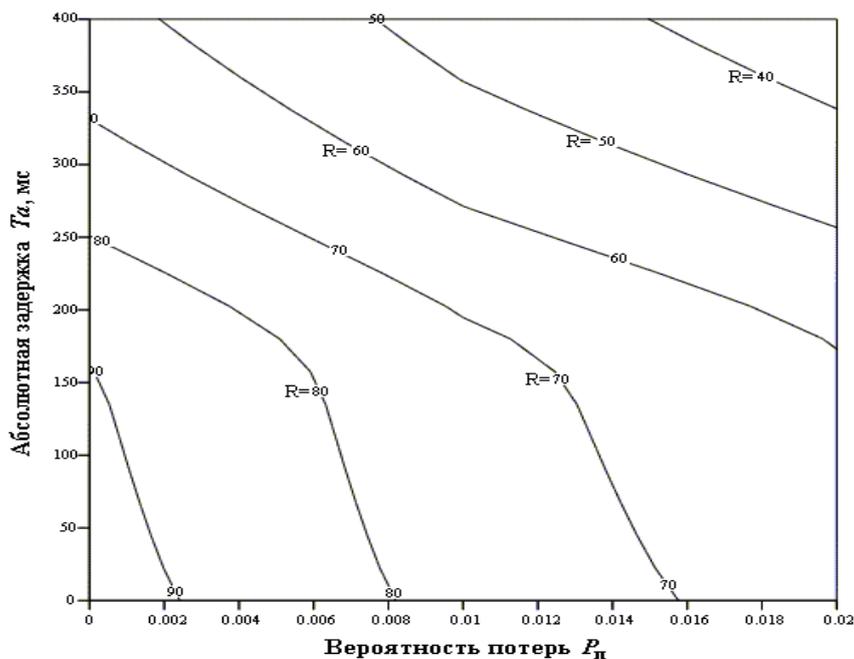


Рисунок 3.9. Плоскости зависимости величины от вероятности потерь и абсолютной задержки

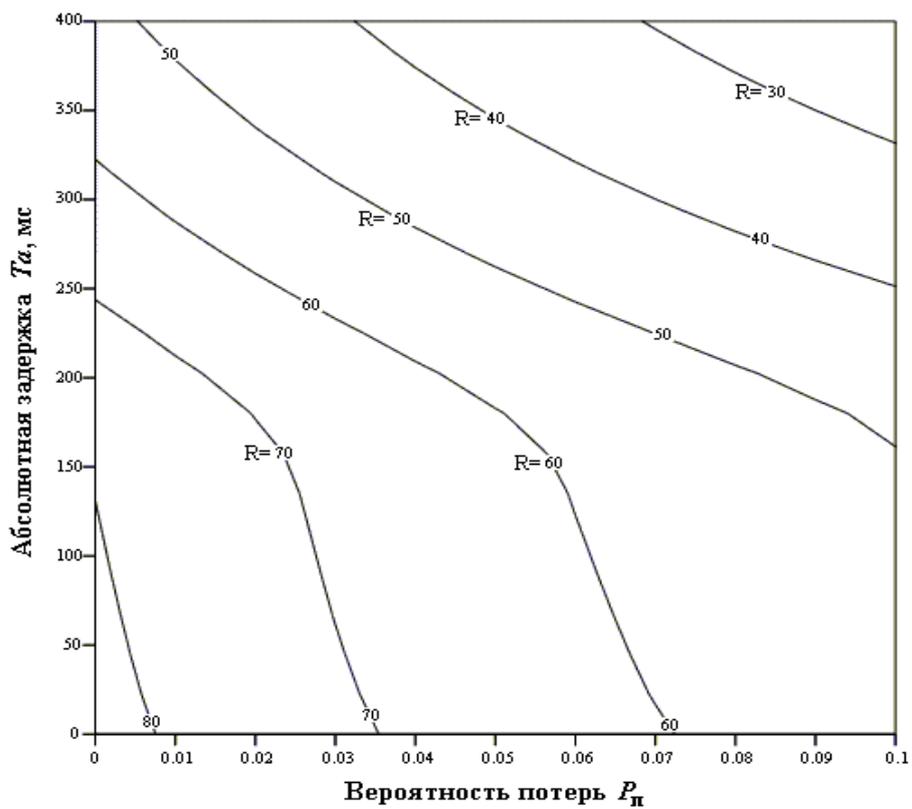


Рисунок 3.10. Плоскости зависимости величины от вероятности потерь и абсолютной задержки

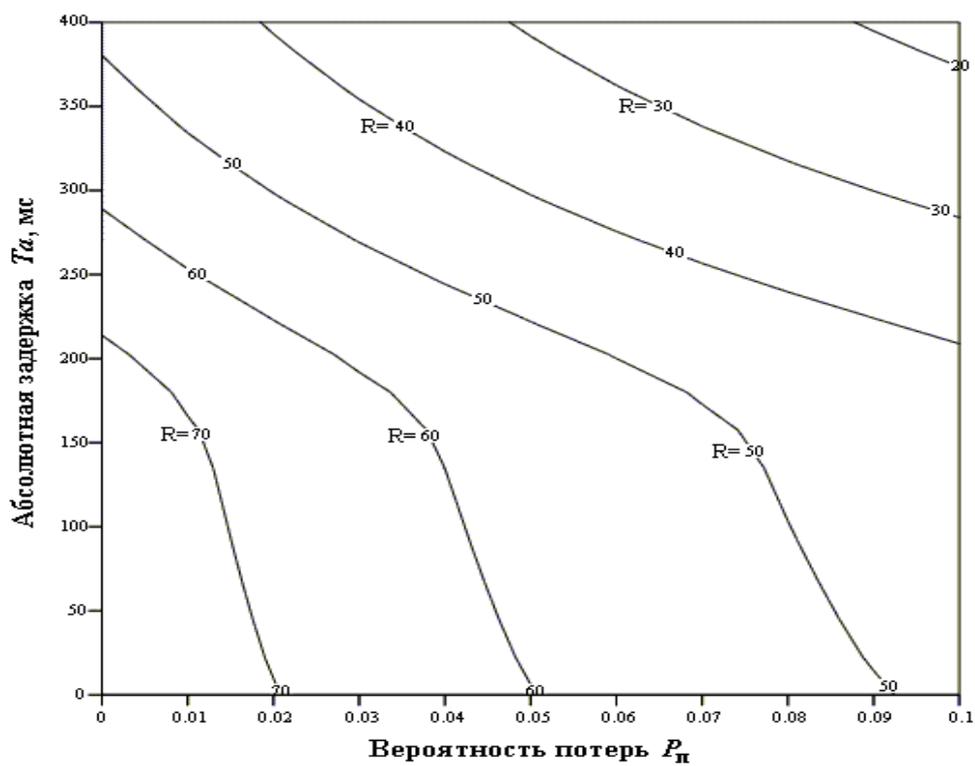


Рисунок 3.11. Плоскости зависимости величины от вероятности потерь и абсолютной задержки

Из представленных графиков можно получить для конкретного класса качества обслуживания (общего качества передачи R) значение абсолютной задержки сигнала и вероятность потерь пакетов для всего тракта. Воспользовавшись результатами предыдущего параграфа можно рассчитать для конкретного случая (тип речевого кодека, длина речевого пакета, объем буфера подавления джиттера и т.д.) допустимую величину задержки и вероятность потерь пакетов в узлах IP-сети для обеспечения заданного качества обслуживания R .

Предположив, что во всех транзитных узлах коммутации допускается равная максимальная величина задержки пакетов, получим максимально-допустимую задержку пакетов в одном узле IP-сети:

$$\hat{T}_y = \frac{T_{c.\max} - T_p}{M} \quad (3.27)$$

где \hat{T}_y – допустимая задержка пакетов в узле IP-сети; $T_{c.\max}$ – максимальная задержка пакетов в IP-сети; T_p – задержка распространения сигнала по линиям связи; M – число транзитных узлов.

Вероятность потерь для последовательных и независимых систем (транзитных узлов коммутации) находится по следующей формуле:

$$P_n = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - P_{n.i}) \quad (3.28)$$

где M – число транзитных узлов коммутации; $P_{n.i}$ – вероятность потерь пакетов в транзитном узле коммутации i .

Приняв вероятность потерь равной и независимой во всех транзитных узлах, вычислим предельное значение вероятности потерь в узле IP-сети:

$$P_{n.i} = \hat{P}_n \quad \text{для } i = 1, 2, \dots, M; \quad (3.29)$$

$$P_n = 1 - (1 - \hat{P}_n)^M \quad (3.30)$$

$$\hat{P}_n = 1 - \sqrt[M]{1 - P_n} \quad (3.31)$$

где \hat{P}_n – допустимая вероятность потерь в транзитном узле IP-сети.

Рассмотрим численные значения для полученных выражений. В таблице 3.5 представлены результаты расчета допустимой вероятности

потерь пакетов \hat{P}_y и допустимой задержки пакетов в транзитном узле IP-сети \hat{T}_y для высокого и среднего классов качества обслуживания в системе IP-телефонии в соответствии с предложенной методикой.

Таблица 3.5

Вид соединения	Внутри дорожной сети			С выходом на магистральную сеть		
	Протяженность тракта, км	3000			9000	
Число транзитных узлов	6			8		
Класс качества обслуживания	Высокий узкополосный			Средний узкополосный		
Качество передачи речи R	80			70		
Допустимая задержка сигнала, мс	100			150		
Тип кодека	G.711	G.729A	G.723.1	G.711	G.729A	G.723.1
Длина речевого пакета, мс	10	20	30	10	20	30
Скорость IP-потока, кбит/с	96	24	17	96	24	17
Число кадров в пакете	80	2	1	80	2	1
Задержка предсказания, мс	0	5	7,5	0	5	7,5
Задержка в кодеке, мс	10	35	97,5	10	35	97,5
Максимальная задержка в сети, мс	90	55	3	140	105	53
Задержка распространения, мс	15			45		
Задержка пакетов в транзитном узле, мс	12,5	6,7	–	11,9	7,5	1
Вероятность потерь пакетов в сети	0,043	0,008	–	0,084	0,035	0,02
Вероятность потерь пакетов в узле	0,007	0,001	–	0,015	0,006	0,003

Из таблицы видно, что использование кодека G.723.1 не позволяет обеспечить высокое качество передачи речи в системе IP-телефонии из-за большой задержки в терминальном оборудовании. При кодировании речи в соответствии с G.729A требования к задержке и вероятности потерь выше, чем при кодировании речи в соответствии с G.711 при относительно одинаковом качестве передачи речи.

Таким образом, представленная методика позволяет рассчитать задержку и вероятность потерь пакетов в узлах IP-сети в зависимости от качества передачи речи в системе IP-телефонии.

3.4. Расчет временных характеристик МСС

В этом разделе, посвящена исследованию основных вероятностно-временных характеристик NGN. Она в значительной мере основана на

результатах, полученных во второй главе диссертации. Одна из важных задач планирования сети – распределение нормы на показатели качества, определенные для сети в целом, по ее основным фрагментам. Такая задача не вызывает особых проблем при декомпозиции норм, определенных для математического ожидания времени задержки IP пакетов. Ее решение существенно усложняется при распределении норм для квантиля функции $S(t)$.

Исследование поведения квантиля функции $S(t)$ в зависимости от числа фаз обслуживания (количества коммутаторов в соединении между терминалами пользователей – N) и их загрузки – ρ осуществляется путем анализа СеМО. Для трафика речи рекомендацией МСЭ Y.1541 установлена норма для разницы квантиля функции $S(t)$ в точке 0,999 – V_{UPPER} и минимального значения времени обмена пакетами (при отсутствии очередей) – V_{MIN} . На четвертом рисунке показана зависимость квантиля V_{UPPER} от числа фаз обслуживания и их загрузки.

Зависимость величины V_{UPPER} от числа фаз носит линейный характер. Определение параметров соответствующей прямой методом наименьших квадратов показало, что максимальное отклонение функции $V_{UPPER} = f(N)$ от кривой вида $V_{UPPER} = kN + b$ не превышает пяти процентов. Этот факт позволяет использовать простую процедуру распределения квантиля V_{UPPER} по основным фрагментам NGN.

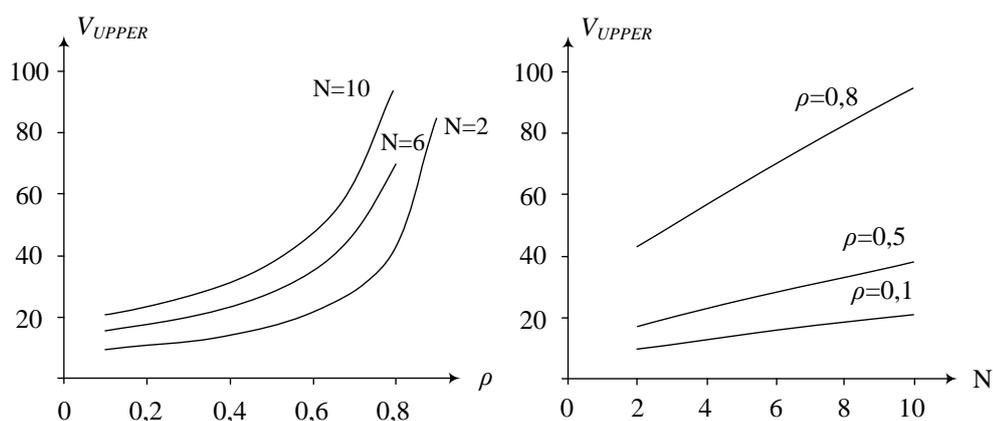


Рис.3.12. Зависимость квантиля V_{UPPER} от загрузки и числа фаз

Для исследования NGN, представленной в виде СеМО, необходимо определить характер потока заявок (IP пакетов), который поступает на каждую фазу обслуживания. С этой целью выполнено аналитическое исследование СеМО, которое показало, что коэффициент вариации потока заявок на входе каждой фазы – C_A очень близок к единице. Если на каждой фазе расположено K систем, то искомое выражение может быть представлено в такой форме:

$$C_A^2 \approx 1 - \frac{\rho^2(1 - C_B^2)}{K^2}. \quad (3.26)$$

Очевидно, что для реальных значений коэффициента вариации времени обслуживания заявок ($C_B < 1$) и загрузки СМО ($0,2 \leq \rho \leq 0,8$) даже при двух СМО на каждой фазе $C_A^2 \approx 1$. Это соотношение следует считать необходимым условием для поддержки гипотезы о простейшем характере входящего потока. Близость C_A к единице не является достаточным условием для подобного утверждения. Для проверки гипотезы о простейшем характере входящего потока было проведено моделирование ряда СеМО. Его результаты показали, что поток заявок на входе каждой системы в СеМО можно считать простейшим.

Нуждается в оценке ошибки и допущение о бесконечном числе мест для ожидания в очереди – четвертая позиция в классификации Кендалла-Башарина для предложенных моделей. С этой целью были исследованы ошибки, которые возникают при расчете вероятностей состояний для СМО с экспоненциальным законом распределения длительности обслуживания заявок. В первой системе число мест для ожидания равно m , а для второй оно не ограничивается. Ошибка δ при расчете вероятности потерь, определяемой состоянием P_{m+1} , при замене первой модели на СМО вида $M/M/1/\infty/f_0^0$ вычисляется так:

$$\delta = \rho^{m+2}. \quad (3.27)$$

В области невысоких загрузок и при разумных величинах буферной памяти ($m > 5$) ошибка, обусловленная использованием модели вида $M/G/1/\infty/f_0^0$, очень мала. Это означает, что предположение о неограниченном числе мест для ожидания начала обслуживания практически не сказывается на результатах исследований, касающихся характеристик качества обслуживания трафика в NGN.

Весьма важным вопросом для поддержки требуемых показателей качества обслуживания трафика в NGN считается оценка эффективности введения системы приоритетов. Соответствующий анализ был проведен на примере СМО вида $\vec{M}_2/\vec{D}_2/1/\infty/f_1^0$, которая хорошо описывает процесс обработки IP пакетов за постоянное время τ . При обслуживании заявок без приоритета дисперсия – σ_s^2 и коэффициент вариации времени их задержки – C_s определяются следующим образом:

$$\sigma_s^2 = \frac{(\rho_1 + \rho_2)[4 - (\rho_1 + \rho_2)]}{12[1 - (\rho_1 + \rho_2)]^2} \tau^2 = \frac{\rho(4 - \rho)}{12(1 - \rho)^2} \tau^2, \quad (3.28)$$

$$C_s = \frac{\sqrt{(\rho_1 + \rho_2)[4 - (\rho_1 + \rho_2)]}}{[2 - (\rho_1 + \rho_2)]\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{\rho(4 - \rho)}}{(2 - \rho)\sqrt{3}}. \quad (3.29)$$

Величина ρ_i – в общем случае – определяет загрузку системы заявками i -го приоритета. При обслуживании без приоритетов сумма $\rho_1 + \rho_2$ может быть заменена величиной ρ – суммарной загрузкой СМО. Дисперсия и коэффициент вариации длительности задержки заявок первого относительного приоритета могут быть определены по таким формулам:

$$\sigma_{s1}^2 = \frac{(\rho_1 + \rho_2)(4 - \rho_1 - 3\rho_2)}{12(1 - \rho_1)^2} \tau_1^2, \quad (3.30)$$

$$C_{s1} = \frac{\sqrt{(4 - \rho_1 - 3\rho_2)(\rho_1 + \rho_2)}}{(2 - \rho_1 + \rho_2)\sqrt{3}}. \quad (3.31)$$

Величина τ_1 равна времени обслуживания заявок первого относительного приоритета. Очевидно, что процесс обработки IP пакетов в коммутаторах будет идентичным, то есть $\tau_1 = \tau$. Для сравнения

эффективности приоритетного обслуживания заявок можно рассмотреть частный случай функционирования NGN, когда $\rho_1 = \rho_2$. На пятом и шестом рисунках приведены графики исследуемых характеристик СМО. Оба графика иллюстрируют весьма высокую эффективность приоритетной дисциплины обслуживания заявок, которая проявляется при росте загрузки СМО. Очевидно, что дисперсия заявок второго относительного приоритета будет расти. Этот факт не представляется существенным, так как для трафика данных (которому и назначается второй приоритет) дисперсия задержки IP пакетов не влияет на показатели качества обслуживания.

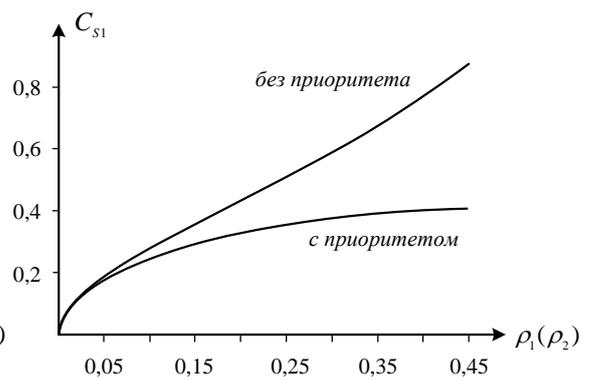
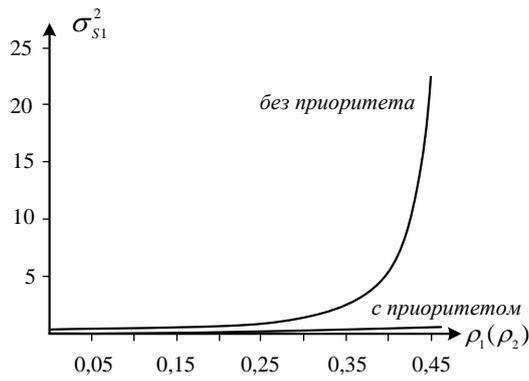


Рис.3.13. Дисперсия времени задержки заявок для двух алгоритмов их обслуживания
 Рис.3.14. Коэффициент вариации времени задержки заявок для двух алгоритмов их обслуживания

В последние годы возрос интерес к фрактальным процессам, позволяющим лучше исследовать работу сетей передачи данных. С точки зрения качества телефонной связи фрактальные свойства трафика данных существенны по той причине, что соответствующие пакеты будут с высокой вероятностью "вклиниваться" в очередь на обработку и передачу. Если бы в NGN использовались абсолютные приоритеты, то трафик данных не влиял бы на качество телефонной связи. Обслуживание с относительными приоритетами требует оценки влияния фрактальных свойств трафика данных на задержку IP пакетов, относящихся к передаче речи.

При любых проявлениях фрактальности периоды занятости чередуются с периодами свободности. Поэтому верхней границей влияния фрактальных свойств может стать модель с бункером на входе.

Для количественной оценки влияния трафика данных на характеристики качества обслуживания телефонного трафика вполне достаточно исследовать функцию распределения длительности ожидания заявок в очереди – $W(t)$. Величины λ_1 и λ_2 определяют значения интенсивности потока заявок первого и второго приоритетов соответственно, то есть IP пакетов трафика речи и данных. Величины τ_1 и τ_2 соответствуют значениям длительности обработки заявок первого и второго приоритетов. Для модели с бункером на входе интенсивность λ_2 определяется так:

$$\lambda_2 = \frac{1 - \lambda_1 \tau_1}{\tau_2}. \quad (3.32)$$

Функцию распределения длительности ожидания заявок в очереди можно получить в следующем виде:

$$W(t) = \frac{1 - \lambda_1 \tau_1}{\tau_2} [F(t) - \Psi_+(t - \tau_2)F(t - \tau_2)]. \quad (3.33)$$

Обозначение $\Psi_+(t - \tau_2)$ используется для указания на тот факт, что учитываются только положительные значения аргумента. Во всех остальных случаях второй член в квадратных скобках формулы (3.33) равен нулю. Функция $F(t)$ вычисляется по такой формуле:

$$F(t) = \frac{1}{\lambda_1} \sum_{i=0}^{\left[\frac{t}{\tau_1} \right]} \left[e^{\lambda_1(t - i\tau_1)} \sum_{k=0}^i (-1)^k \frac{\lambda_1^k (t - i\tau_1)^k}{k!} - 1 \right]. \quad (3.34)$$

Верхний предел суммирования устанавливается как целая часть отношения величин t и τ_1 .

На седьмом рисунке показано изменение квантиля исследуемой функции – V_{UPPER} . Величина τ_2 варьируется в диапазоне от 0 до $15\tau_1$. По оси абсцисс указана величина k , которая определяется отношением $\tau_2 : \tau_1$.

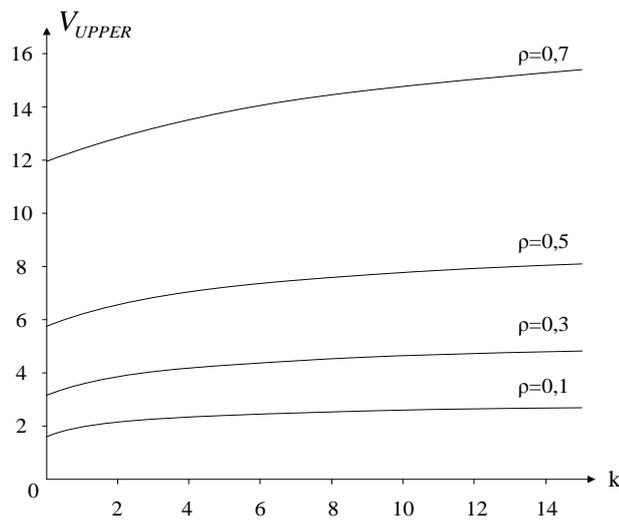


Рис. 3.15. Влияние времени передачи IP пакетов с данными на квантиль функции распределения времени ожидания $W(t)$

Выводы

В данной главе исследована проблема повышения эффективности многофункционального абонентского и сетевого терминала (МАиСТ) мультисервисных сетей передачи различных видов информации - повышения пропускной способности передачи информационных потоков неоднородного трафика и определены их некоторые показатели QoS (Quality of Service). Вместе с тем, еще не решена задача оценки пропускной способности МАиСТ мульти-сервисных сетей в случае, когда совместно обслуживаются потоки неоднородного трафика (речи, данные, факсы, Internet, видео).

Согласно традиционной классификации, распространенной среде инженеров, занимающихся проектированием и эксплуатацией систем связи, сетевые приложения можно разбить на три основные части: передача данных, пакетная телефония и потоковое видео. Нагрузка коммуникационных приложений, относящихся к первой группе, обычно передается, по принципу Best Effort и не чувствительна к задержке, если величина нагрузки лежит в разумных пределах. Нагрузка коммуникационных приложений второй и третьей групп принадлежит к категории

мультимедийных нагрузок (Stream Traffic) и предъявляет к сети требования по предоставлению гарантированной полосы пропускания (ПП) и обеспечению необходимого качества обслуживания (QoS).

Методика расчета объективных параметров качества обслуживания речевых пакетов в узлах IP-сети в зависимости от качества передачи речи в системе IP-телефонии, в соответствии с которой были рассчитаны допустимые значения задержки и вероятности потерь речевых пакетов в узлах IP-сети для различных видов соединений в системе информационного взаимодействия на железнодорожном транспорте. Расчеты показали, что кодек G.723.1 недопустимо использовать на технологическом сегменте из-за низкого качества передачи речи и высоких требований к задержке и вероятности потерь пакетов в узлах IP-сети.

Анализ задержки и вариации задержки в системе IP-телефонии и показаны возможные пути ее уменьшения. Представлены выражения для расчета задержки сигнала в системе IP-телефонии в зависимости от типа речевого кодека, числа речевых кадров в IP-пакете, протяженности каналов связи и других факторов, а также показана взаимосвязь между задержкой сигнала и вероятностью потерь пакетов в IP-сети.

Очевидно, что введение приоритетного обслуживания позволяет избежать заметного влияния трафика данных на телефонную нагрузку, включая также те его последствия, которые порождаются фрактальными свойствами. Достаточно лишь ограничить длину пакета разумной величиной, что вполне приемлемо для обслуживания трафика данных.

4. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. Техника безопасности при работе на электроустановках

При работе на электроустановках человек, находящийся в непосредственной взаимосвязи с аппаратурой должен иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки подобный работник должен быть обучены (до допуска к самостоятельной работе) в специализированных центрах подготовки персонала.

Электротехнический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приёмам освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях. Персонал, обслуживающий электроустановки, должен пройти проверку знаний правил и других нормативно-технический документов (правил и инструкций по технической эксплуатации, пожарной безопасности, пользованию защитными средствами, устройства электроустановок) в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности. Оперативные переключения должен выполнять оперативный персонал. Ремонты электрооборудования, работа на токоведущих частях без снятия напряжения в электроустановках должны выполняться по технологическим картам.

В электроустановках при работе под напряжением необходимо:

- оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;
- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом диэлектрическом ковре;

- применять инструмент с изолирующими рукоятками (у отвёрток, кроме того, должен быть изолирован стержень), пользоваться диэлектрическими перчатками.

Не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры и т.п.

Не допускается в электроустановках работать в согнутом положении, если при выпрямлении расстояние до токоведущих частей будет отсутствовать. Не допускается при работе около неограждённых токоведущих частей располагаться так, чтобы эти части находились сзади работника или с двух боковых сторон.

Не допускается прикасаться без применения электрозщитных средств к изоляторам, изолирующим частям оборудования, находящегося под напряжением.

Персоналу следует помнить, что после исчезновения напряжения на электроустановке оно может быть подано вновь без предупреждения. Не допускаются работы в неосвещённых местах. Освещённость участков работ, рабочих мест, подходов к ним должна быть равномерной без слепящего действия осветительных устройств на работающих.

При подготовке рабочего места со снятием напряжения должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления).

При подготовке рабочего места должны быть отключены:

- токоведущие части, на которых будут производиться работы;
- неогражденных токоведущие части, к которым возможно случайное приближение людей, механизмов на минимальное расстояние.

В электроустановках с каждой стороны, с которой коммутационным аппаратом на рабочее место может быть подано напряжение, должен быть видимый разрыв, видимый разрыв может быть создан отключением разъединителей, снятием предохранителей, отключением разъединителей, снятием предохранителей, отключением отделителей и выключателей нагрузки, отсоединением или снятием шин и проводов.

Силовые трансформаторы и трансформаторы напряжения, связанные с выделенным для работ участком электроустановки, должны быть отключены и схемы их разобраны также со стороны других своих обмоток для исключения возможности обратной трансформации.

После отключения выключателей, разъединителей (отделителей) и выключателей нагрузки с ручным управлением необходимо визуально убедиться в их отключении и отсутствии шунтирующих перемычек.

Проверять отсутствие напряжения необходимо указателем напряжения, исправность которого перед применением должна быть установлена с помощью предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением. Признаком отсутствия напряжения является отсутствие искрения и потрескивания,

Устанавливать заземления на токоведущие части необходимо непосредственно после проверки отсутствия напряжения. Переносное заземление сначала нужно присоединить к заземляющему устройству, а затем, после проверки отсутствия напряжения, установить на токоведущие части. Снимать переносное заземление необходимо в обратной

последовательности: сначала снять его с токоведущих частей, а затем отсоединить от заземляющего устройства.

Если работа на электродвигателе или приводимом им в движение механизме связана с прикосновением к токоведущим и вращающимся частям, электродвигатель должен быть отключен с выполнением технических мероприятий, предотвращающих его ошибочное включение. Не допускается снимать ограждения вращающихся частей работающих электродвигателя и механизма.

При работе на электродвигателе допускается установка заземления на любом участке кабельной линии, соединяющей электродвигатель с секцией РУ, щитом, сборкой. Если работы на электродвигателе рассчитаны на длительный срок, не выполняются или прерваны на несколько дней, то отсоединённая от него кабельная линия должна быть заземлена также со стороны электродвигателя.

4.2. Санитарные требования к оборудованию производственным помещениям

Наиболее значительным физическим фактором является производственный микроклимат, который характеризуется уровнем температуры и влажности воздуха, а также интенсивностью уровня радиации.

Используемые ЭВМ не требуют создания особых микроклиматических условий для работы и нормально функционируют в пределах допустимых для человека значений температуры и влажности.

В виду того, что ЭВМ являются источниками тепловыделений, существует возможность повышения температуры и снижения влажности воздуха на рабочих местах, способствующих раздражению кожи. Микроклиматические условия в помещении с ЭВМ должны удовлетворять требованиям: температура окружающей среды в холодный период года 20 –

22 С, в теплый период 22 – 25 С; относительную влажность воздуха 30 – 60 %; содержание пыли - макс 0.0001 кг/м при размере частиц макс 3 мкм.

Одним из условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха. Атмосферный воздух в своем составе содержит в процентном отношении:

- азот-78,8%
- кислород-20,25%
- аргон, неон и другие инертные газы-0,93%
- углекислый газ-0,03%

Воздух такого состава наиболее благоприятен для дыхания человека. Рассматриваемое в данной дипломной работе сетевое оборудование и рабочие станции в процессе работы не вырабатывают никаких вредных веществ. Таким образом воздушная среда в помещении, где они используется, вредных воздействий на организм человека не оказывает и удовлетворяет требованиям I категории работ.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений нормируются и приведены, в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Сезон года	Категория работ	Температура, С ⁰	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный период	I	22-24	40-60	ОД
Теплый период	I	23-25	40-60	од

Освещение служит одним из важнейших факторов, влияющих на производительность труда. Рационально устроенное освещение на рабочих местах операторов является существенным показателем высокого уровня культуры труда, неотъемлемой частью научной организации труда и эстетики производства.

Требования к рациональной освещенности производственных помещений сводятся к следующему:

- правильный выбор источников света и систем освещения;
- создание необходимого уровня освещенности рабочих поверхностей;
- ограничение слепящего действия света, устранение бликов;
- обеспечение равномерного освещения.

Приемлемый уровень освещения в помещении можно найти, если последовательно решить две задачи:

1. Определить требуемый для оператора уровень освещения рабочего места внешними источниками света.

2. Если требуемый уровень освещенности окажется неприемлемым для других, операторов, работающих в данном, помещении, необходимо найти способ сохранения требуемого контраста изображения другими средствами. Например, можно распределить световой поток с учетом расположения рабочих мест и средств отображения, информации.

При проектировании и организации рабочего места оператора ЭВМ следует предпринять меры по предотвращению прямых и отраженных бликов. Прямые блики появляются в результате наличия источников света непосредственно в поле зрения оператора, отраженные блики - в результате наличия внутри поля зрения отражающих поверхностей. Прямые блики можно уменьшить любым из следующих способов: применять отраженное освещение; пользоваться несколькими источниками освещения меньшей мощности вместо одного сильного; использовать средства экранирования прямого света от глаз оператора.

Отраженные блики можно уменьшить следующими способами: использовать рассеянный свет; применять матовые поверхности;

располагать источники прямого света так, чтобы угол наблюдения оператором рабочей площади не совпадал с углом падения на нее лучей света от щеточника.

Важной задачей является выбор вида освещения (естественное или искусственное) и в соответствии с этим - выбор типа производственного помещения (с окнами или без окон).

Наиболее благоприятно для человека естественное освещение. При естественном освещении производительность труда рабочих выше, чем при искусственном. Для достаточного естественного освещения площадь окон должна составлять не менее $1/3$ от общей площади - наружных стен.

Однако, следует учитывать, что применение естественного света имеет много недостатков: поступление света, как правило, только с одной стороны, неравномерность освещенности в пространстве и т.д. Для устранения этих недостатков необходимо применять дополнительные приспособления.

Применение двойного света (сочетание естественного и искусственного освещения) физиологически мало эффективно и отрицательно действует на зрение, способствует преждевременному утомлению.

Применение искусственного освещения помогает избегать многих из рассмотренных недостатков и создавать оптимальный световой режим. Однако, применение помещений без окон создает в ряде случаев у людей чувство стесненности и неуверенности. Особенно сильно это проявляется в помещениях малого объема. В больших помещениях данный недостаток практически отсутствует, поэтому здесь предпочтительно применение искусственного освещения можно применять лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Согласно величина освещенности люминесцентными лампами должна быть в горизонтальной плоскости не ниже 300 лк - для системы общего освещения. С учётом зрительной работы высокой точности величина освещенности может быть увеличена до 1000 лк. Кроме освещенности большое влияние на деятельность оператора оказывает цвет окраски помещения и спектральные характеристики используемого света. Рекомендуются, чтобы потолок отражал 80-90%, стены - 50-60%, а пол - 15-30% падающего на них света. Потолки и стены рекомендуется окрашивать в

светлые тона. В помещениях, где установлено компьютерное оборудование, созданы условия, удовлетворяющие данным требованиям.

Технические меры защиты от поражения электрическим током. Все технические меры можно условно разделить на две группы. Технические защитные меры первой группы обеспечивают защиту от поражения электрическим током обслуживающего персонала в случае прикосновения к токоведущим частям, к ним относятся:

- контроль состояния изоляции электротехнических устройств и участков питающей их сети;
- блокировка и защитные ограждения;
- оптимальное расположение оборудования, обеспечивающее разрывы между токоведущими частями;
- сигнализация безопасности (световая, звуковая), маркировка и предупредительные плакаты;
- защита от перехода высокого напряжения на сторону низкого напряжения;
- применение низких напряжений 42 и 12 В;
- применение индивидуальных защитных изолирующих средств.

Технические меры второй группы обеспечивают защиту от поражения электрическим током при прикосновении к корпусу электроустановки в случае пробоя изоляции токоведущих частей, к ним относятся:

- защитное заземление;
- защитное зануление;
- защитное отключение;
- двойная изоляция;
- применение разделительных трансформаторов.

Известно, что надежность и долговечность работы электротехнического оборудования во многом зависят от состояния электрической изоляции токоведущих частей. Повреждение изоляции весьма часто является главной причиной многих электрических травм, аварий и пожаров. Физический

смысл изоляции, как защитной меры, заключается в ограничении тока, протекающего по телу человека, до безопасной величины.

Надежная изоляция зависит от многих факторов и обеспечивается применением, определенного ее типа (рабочая, усиленная и двойная), соответствующих изоляционных материалов, рациональной конструкцией электрооборудования, нормальными условиями производственной среды и, наконец, правильной организацией профилактики в процессе эксплуатации.

Как правило, электротехническое оборудование имеет рабочую изоляцию, которая должна выдерживать предельно возможные в условиях эксплуатации механические, электрические и тепловые нагрузки.

Защитное заземление - это преднамеренное соединение с землей нетоковедущих металлических частей электрического оборудования, аппаратуры, молниеотводов и разрядников.

Назначение защитного заземления - снизить до безопасной величины напряжение на корпусе относительно земли, возникающее на нетоковедущих частях электроустановок в случае замыкания на корпус (пробоя на корпус) при повреждении изоляции проводников, несущих рабочий ток питания аппаратуры.

Выводы

Тяжесть поражения электрическим током зависит от целого ряда факторов: значения силы тока, электрического сопротивления тела человека и длительности протекания через него тока, рода и частоты тока, индивидуальных свойств человека и условий окружающей среды.

Основным фактором, обуславливающим ту или иную степень поражения человека, является сила тока. На исход поражения сильно влияет сопротивление тела человека, которое изменяется в очень больших пределах.

Существенное значение имеет и путь тока через тело человека. Наибольшая опасность возникает при непосредственном прохождении через жизненно важные органы.

Влияние состояния окружающей среды учитывается классификацией помещений и условий труда по опасности поражения электрическим током.

В зависимости от условий, повышающих или понижающих поражение человека электрическим током, все помещения делят на: помещения с повышенной опасностью, особо опасные помещения, помещения без повышенной опасности.

Электробезопасность обеспечивается соответствующей конструкцией электрооборудования, применением технических способов и средств защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Конструкция электрооборудования должна соответствовать условиям его эксплуатации, обеспечивать защиту персонала от соприкосновения с токоведущими частями и оборудования – от попадания внутрь посторонних предметов и воды.

Организационные и технические мероприятия по обеспечению электробезопасности заключаются в основном в соответствующем обучении, инструктаже и допуске к работе лиц, прошедших медицинское освидетельствование, выполнении ряда технических мер при проведении работ с электрооборудованием, соблюдении особых требований при работах с находящимися под напряжением частями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная выпускная квалификационная работа посвящена анализ качества функционирования мультисервисных сетей связи и эти работу можно сделать ниже следующие выводы.

1. В ситуации технологий конвергенции единая мультисервисная среда обеспечивает предоставление всех услуг объединяемых сетей. При этом операторы получают возможность расширять как номенклатуру, так и качество предоставляемых услуг, проникая в прежде закрытые для себя смежные области телекоммуникационной отрасли. Эта возможность позволяет создавать и принципиально новые услуги, стоящие на стыке или являющиеся комбинацией традиционных технологий передачи голоса, данных и видео. Таким образом, мультисервисная сеть предоставляет расширенный набор услуг с различным соотношением цена/качество.

2. В работе разработан новый метод решения задачи составления оптимального расписания аудиовизуальных данных по симплексному каналу сети с потерями данных, в основе которого лежит применение методики ПКО с разным коэффициентом избыточности для каждого элемента данных видеопоследовательности, а так же оригинальный итеративный алгоритм поиска по дереву зависимостей между элементами данных видеопоследовательности. Разработан алгоритм нахождения оптимального количества избыточных пакетов. Предложен алгоритм корректировки множителя Лагранжиана. Для уменьшения вариации качества видеоизображения предложено использовать метод буферизации, что возможно только в случае существования достаточно большого окна передачи пакетов для минимизации вариации качества предложено использовать метод буферизации. Для максимально эффективного использования пропускной способности сети предложен алгоритм объединения неполных пакетов. В случае, когда допущение о том, что распределение вероятности потери пакета не зависит от времени отправки

пакета, не справедливо предложено использовать метод Ви и описаны особенности его использования для рассматриваемой задачи.

3. На основе изложенных методов можно вычислить характеристики пропускной способности мультисервисных сетей при реализации технологии разделения типов нагрузки по их отношению к задержкам в процессе передачи. Схема расчетов основана на реализации принципа декомпозиции, т.е. раздельной оценки показателей обслуживания для каждого из выделенных потоков нагрузки. Разработанные методы оценки показателей совместного обслуживания отличаются хорошей точностью и приемлемы для инженерных расчетов.

Процесс обслуживания потоков QoS будем характеризовать следующими величинами: r_k - доли сообщений k -го потока, получившие отказ в установлении требуемого соединения, и M_k - средняя величина полосы линии, выраженная в основных передаточных единицах и занятая сообщениями k -го потока. Можно показать справедливость соотношений

$$M_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k} b_k (1 - r_k) = a_k b_k (1 - r_k),$$

4. В четвертой главе приведены мероприятия по электробезопасности и охране труда, мероприятия по предупреждению аварий и пожаров и ликвидации их последствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каримов И.А. “Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана”.–Т.: Узбекистан -2009 г.
2. Бакланов И.Г. “NGN:принципы построения и организации”.–М: Эко-Трендз, 2008.–400 с.
3. Гольдштейн А.Б, Гольдштейн Б.С. “Softswitch”.–СПб.:БХВ–Санкт-Петербург, 2006.
4. Гулевич Д.С. “Сети связи следующего поколения”.–ИНТУИТ. ру, 2007.
5. Величко В.В, Субботин Е.А, Шувалов В.П. “Телекоммуникационные системы и сети”. Том 3. –М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
6. Назаров А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров АТМ-сетей. М.: Горячая линия – Телеком. 2002.
7. Баклашова Н.И. “Охрана труда на предприятиях связи”.1985
8. Топаров И.К. “Основы БЖД”.1992

ПРИЛОЖЕНИЕ