

**Некоммерческое акционерное общество**  
**«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Кафедра Телекоммуникационных систем

Специальность 6М071900 – Радиотехника, электроника и  
телекоммуникации

Допущен к защите

Зав. кафедрой \_\_\_ Шагиахметов Д.Р.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**пояснительная записка**

Тема

**Исследование зависимости качества передаваемого сигнала от построения сети NGN**

Магистрант \_\_\_\_\_ Утегенов А.С.

подпись (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации \_\_\_\_\_ Есеркегенов А.С. к.т.н.

подпись (Ф.И.О.)

Рецензент \_\_\_\_\_ Штунь А.К. маг.

подпись (Ф.И.О.)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Кудинова В.С. к.х.н.

подпись (Ф.И.О.)

Вычислительная техника \_\_\_\_\_ Данько Е.Т. к.х.н.

подпись (Ф.И.О.)

Алматы, 2013 г.

**Некоммерческое акционерное общество**  
**«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет Радиотехники и связи

---

Специальность 6М071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

---

Кафедра Телекоммуникационных систем

---

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Утегенову Аскару Сейтулы

---

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации:

Исследование зависимости качества передаваемого сигнала от построения сети NGN

---

утверждена Ученым советом университета № 142 от 31.10.2013 г.

Срок сдачи законченной диссертации 25.12.2013 г.

Цель исследования :

Произвести анализ зависимости параметров качества передаваемого сигнала в сети NGN от схемы построения.

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

1 Концепция построения сети NGN

2 Обзор технологий в NGN сетях

3 Параметры качества обслуживания

4 Конвергенция в сетях NGN

5 Расчет параметров гибкого коммутатора

6 Экспериментальная часть

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1 Схема организации сети NGN

2 Структурная схема сети NGN с ATM

3 Организация IP-сети по технологии MPLS

4 Модель исследуемой телекоммуникационной сети с двумя УКС, построенная в программе PacketTracer 4.11

5 Зависимость времени задержки пакета от количества УКС при разной интенсивности генерирования пакетов

6 Зависимость времени задержки пакета от количества УКС при разной пропускной способности канала

Рекомендуемая основная литература

1 Антонян А., Скуратовская Е. Построение сетей NGN. - №7. – 2006.

2 Башарин Г.П., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е., Яркина Н.В. Модели для анализа качества обслуживания в сетях связи следующего поколения. Учебное пособие, 2008 г.

3 Соколов Н. А. Качество обслуживания трафика речи в сети NGN. Мир связи.- 2010.- №7, стр. 26 – 29

# Г Р А Ф И К

## подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	05.09.12 – 15.09.12	
1 Концепция построения сети NGN	20.09.12 – 20.10.12	
2 Обзор технологий в NGN сетях	20.11.12 – 10.1.13	
2.1 Технология ATM	20. 01.12 – 20.12.12	
2.2 Технология MPLS	20.12.12 – 10.1.13	
3 Параметры качества обслуживания	10.01.13 – 10.03.13	
4 Конвергенция в сетях NGN	10.03.13 – 10.05.13	
5 Расчет параметров гибкого коммутатора	10.05.13 – 10.10.13	
6 Экспериментальная часть	10.10.13 – 10.12.13	
Заключение	10.12.13 – 20.12.13	

Дата выдачи задания 05.09.2012 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (Шагиахметов Д.Р)

Руководитель диссертации \_\_\_\_\_ (Есеркегенов А.С.)

Задание принял к исполнению

магистрант \_\_\_\_\_ (Утегенов А.С.)

(подпись)

(Ф.И.О.)

## Содержание

Введение	6
1 Концепция построения сети NGN	7
1.1 Уровень доступа	9
1.2 Уровень управления	10
1.3 Уровень приложений	11
2 Обзор технологий в NGN сетях	13
2.1 Технология ATM	13
2.2 Технология MPLS	16
3 Параметры качества обслуживания	21
4 Конвергенция в сетях NGN	28
5 Расчет параметров гибкого коммутатора	31
5.1 Расчет интенсивности вызовов	31
5.2 Расчет параметров шлюзов	33
5.3 Расчет производительности узла доступа	44
6 Экспериментальная часть	51
Заключение	58
Список сокращений	60
Список литературы	61

## Введение

NGN – это виртуальная сеть с коммутацией пакетов. Она может предоставлять услуги с возможностью использования широкополосных транспортных технологий, которые обеспечивают качество обслуживания. Данная сеть предоставляет свободный доступ для клиентов по их выбору. При этом поддерживается подвижность организации сети, которая дает возможность обеспечения служб для абонентов.

Спрос на коммуникационные услуги постоянно возрастает. Сети связи должны передавать различную информацию (речь, данные, видео, аудио) с необходимой синхронизацией в реальном времени [1] и необходимыми параметрами качества обслуживания.

Сеть NGN организована на базе IP, которая обеспечивает предоставление услуг ATM/FR, Internet, IP-VPN и Ethernet. Она представляет собой набор различных сетей с обеспечением их взаимодействия. При согласовании различных сетей различных форматов возникают сложности, которые отражаются на качестве обслуживания.

Один из немаловажных процессов – процесс сглаживания различий в структуре сетей, базирующихся на разных технологиях, который многие специалисты в области связи называют «процессом конвергенции в телекоммуникационной системе». На различных уровнях иерархии сетей, являющихся основой для предоставления различных видов услуг, использовались разные архитектуры построения. В магистральных линиях телефонных сетей практическое применение находили структуры типа «дерево» и «звезда», в сетях передачи данных – «звезда» и «шина», в телевидении использовалась топология «дерево». Внедрение цифровых систем передачи пакетной информации привело к унификации структуры транспортной сети на всех уровнях. Магистралы практически всех видов сетей выполнены по кольцевой топологии, а домовые распределительные сети по топологии «звезда». Другими словами, структуры транспортных сетей приобрели максимальное сходство [2].

Использование пакетной передачи данных требует пересмотра некоторых показателей качества обслуживания трафика. Более того, требования к качеству постоянно растут в независимости от типа используемых технологий.

Пакетная передача информации характеризуется временем задержки передачи сигнала. Время задержки есть не что иное, как совокупность времени формирования передачи и обработки сигнала. Некоторые новые услуги, например, IPTV и VoIP, весьма требовательны к качеству сети распространения. Эти требования определяют выбор среды передачи и методов помехоустойчивой обработки информации. [3].

## 1 Концепция построения сети NGN

NGN представляет собой мультисервисную сеть с пакетной коммутацией. Данная сеть обеспечивает передачу разнородного трафика с различными требованиями к качеству обслуживания, соответствующего запросам оператора и абонентов и включает обеспечение услуги Triple play.

Сети следующего поколения отличаются от традиционных сетей тем, что вся информация, передаваемая по сети, состоит из двух частей.

Ими являются: сигнальная информация, которая обеспечивает коммутацию абонентов и предоставление услуг; а также пользовательские данные, которые содержат полезную нагрузку, передаваемую абоненту (голос, видео, данные). Маршруты следования сообщений сигнализации и сигналов пользовательской нагрузки не всегда совпадают (см. рисунок 1.1).

Базой сети NGN является интернет-технологии. Ими являются протокол IP и технология MPLS. На сегодняшний день разработано несколько подходов к построению сетей IP-телефонии, предложенных организациями ITU-T и IETF: H.323, SIP и MGCP.

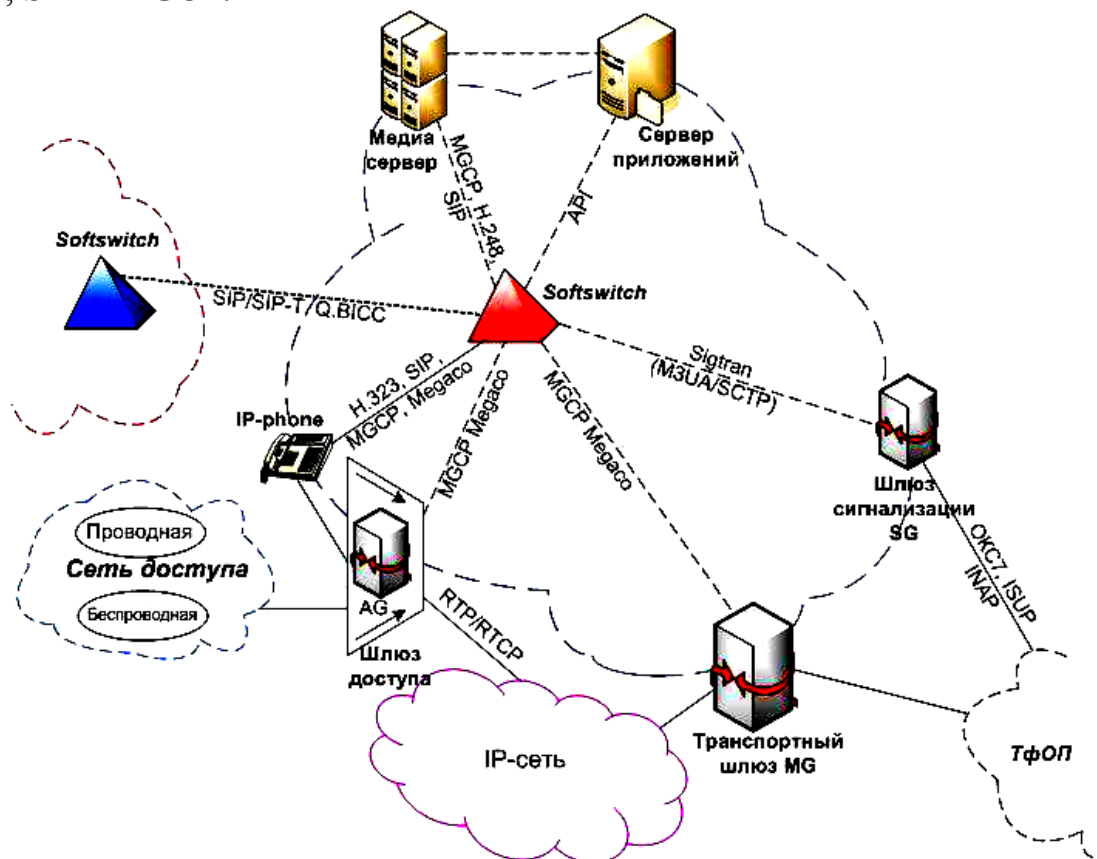


Рисунок 1.1 – Схема организации сети NGN

Типовая модель сети NGN состоит из четырех уровней: транспортный, уровень доступа, уровень управления и уровень услуг (рисунки 1.2).





Рисунок 1.2 – Модель NGN

От технологий транспортного уровня зависит качество работы всей сети следующего поколения и количество предоставляемых сервисов. В роли транспортных технологий могут быть использованы MPLS, ATM, Ethernet и другие сети.

Сети IP на Ethernet-коммутаторах и маршрутизаторах достаточно часто встречаются в небольших сегментах структуры NGN. Такие сети просты в проектировании и эксплуатации. Также их легко наращивать и модернизировать. Но при этом они имеют недостатки, которые ограничивают их применение в транспортной среде NGN [4]. Главный – трудность передачи разнородного трафика потоковых данных, который используется приложениями VoIP, Video IP. Для обеспечения требуемого качества работы необходимо увеличение пропускной способности магистралей, а это не всегда приводит к нужному результату.

Технология ATM более применима в NGN, благодаря присутствию встроенных механизмов обеспечения гарантированного качества сервиса (QoS), способности адаптации к разнородному трафику данных. Данная технология изменяет полосу пропускания в зависимости от сервиса. Из-за высокой надежности и гибкости ATM применяется в больших сетях, где в качестве транспортной среды передачи используется SDH [4].

Развитие технологии Ethernet привело к появлению нового транспорта – New Gen SDH (NG SDH) или PoS (Pocket over SDH/SONET). Данная технология имеет все преимущества системы передачи SDH. Она имеет высокую надежность и управляемость в сети IP, которая предоставляет все услуги пакетного трафика, в том числе VPN, VoIP и др. Для увеличения

скоростей передачи до 1 или 10 Гбит/с используются оптические технологии, то есть создание Optical Ethernet.

Дальнейшее совершенствование IP-сетей привело к созданию технологии многопротокольной коммутации меток MPLS. При данной технологии снижается нагрузка на маршрутизаторы и повышается адаптации IP-сетей к разнородному трафику данных. Это новая архитектура построения магистральных сетей, которая значительно расширяет имеющиеся перспективы масштабирования, повышает скорость обработки трафика и предоставляет огромные возможности для организации дополнительных услуг.

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 [5].

Наличие таких меток позволяет маршрутизаторам и коммутаторам, поддерживающим технологию MPLS, определять следующий шаг в маршруте пакета без выполнения процедуры поиска адреса.

## **1.1 Уровень доступа**

Понятие «доступ» подразумевает оборудование, связывающее сеть NGN с традиционными TDM-сетями и небольшими локальными сетями. Необходимо рассмотреть несколько методов включения абонентов в сеть NGN. Самый распространенный способ, когда пользователь подключается с помощью IP-телефонов и IP-терминалов непосредственно в сеть IP/

При этом упрощается построения NGN, появляется возможность предоставления любого мультимедийного трафика с качественным управлением ресурсами сети. В связи с тем, что использование IP-телефонов не позволяет организовать сеть Ethernet или MPLS в чистом виде, а применяется корпоративная локальная сеть, которая включена в сеть NGN через широкополосный доступ.

Подключение может осуществляться с помощью медных кабельных пар, систем цифрового кабельного телевидения, беспроводных систем Wi-Fi и WiMAX, оптических технологий доступа. Таким образом, различные уровни доступа позволяют осуществлять вход в IP сеть. Для подключения абонентов TDM-сетей необходимо использовать шлюзы стандартной телефонии, что приводит к уменьшению перечня услуг, доступных IP пользователям.

## 1.2 Уровень управления

Все устройства, которые применяются для коммутации и передачи трафика данных управляются третьим уровнем NGN – уровнем управления (SoftSwitch). Главная задача третьего уровня NGN -- управление соединением двух абонентов. Эту функцию выполняет специализированный сервер соединений, который должен иметь большую мощность и производительность для обеспечения устойчивой работы сети.

SoftSwitch при работе должен обеспечивать качества обслуживания (QoS) сети VoIP, осуществлять маршрутизацию потоков различного трафика при наличии различных категорий устройств: шлюзов, пограничных контроллеров, конвертеров сигнализации, маршрутизаторов, прокси-серверов, мультиплексоров, контроллеров широкополосного доступа, абонентских терминалов [6]. При этом должны обеспечиваться параметры надежности в соответствии с классом оператора. На рисунке 1.2 приведена типовая структура SoftSwitch, представляющая все составные части сети NGN.

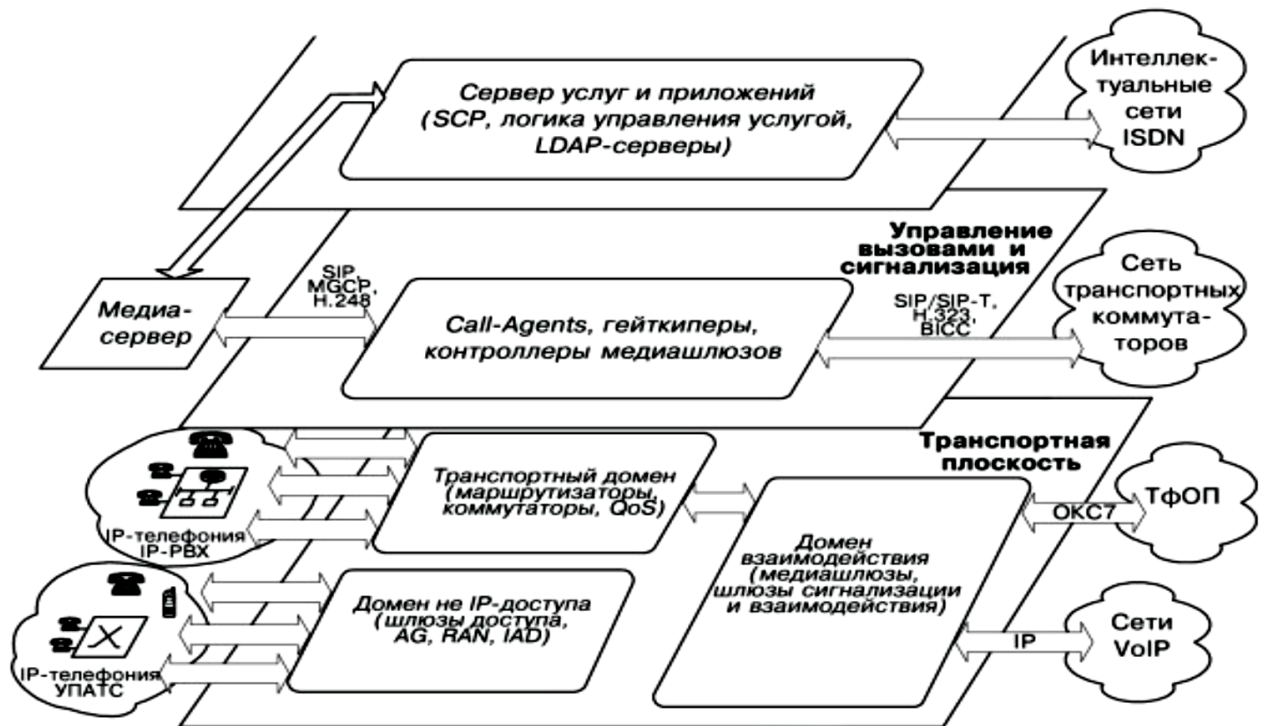


Рисунок 2. Структура SoftSwitch

### 1.3 Уровень приложений

Уровень приложений служит для обеспечения всего спектра услуг, доступного на сетях NGN. Для этого используются различные серверы и базы данных.

Основными видами услуг сети NGN являются:

VoIP-телефония;

голосовая почта;

мультимедийные услуги;

IP Centrex / управляемая УТС;

унифицированный обмен сообщениями;

интерактивные игры;

услуги передачи данных;

виртуальные выделенные сети;

распределенная виртуальная реальность;

мгновенный обмен сообщениями;

видеоконференции;

услуги интерактивной справочной системы;

услуги центра обслуживания вызовов (обращений);

домашний менеджер. [7]

За различные услуги отвечают различные серверы, отделенные от транспортного уровня. Для внедрения новой услуги необходимо всего лишь добавить новый сервер, который становится доступным для всех подключенных к сети пользователей.

В зависимости от вида услуги меняются характеристики трафика разных приложений. Ими являются - чувствительность трафика к задержкам пакетов, ожидаемое значение скорости передачи данных, устойчивость к потерям и искажениям пакетов.

Приложения делятся на два класса в зависимости ожидаемой скорости передачи.

К первому классу относятся приложения с равномерным потоком трафика. При этом битовая скорость потока практически не меняется (Constant Bit Rate, CBR), но ограничивается верхним значением. Например, для передачи голоса 64 Кбит/с.

Второй класс это приложения с пульсирующим трафиком. В данном классе приложений предсказать величину скорости потока практически невозможно, так как большие паузы могут сменяться передачей большого количества информации. В этом случае используется понятие переменной битовой скорости (Variable Bit Rate, VBR). Реальная скорость определяется возможностями сети. Таким образом любые приложения генерируют неравномерный трафик. Вводится понятие коэффициента пульсации (отношение максимальной мгновенной скорости к средней). Данный коэффициент у приложений второго

класса изменяется в пределах от 10:1 до 100:1, а у приложений первого класса значительно меньше.

В зависимости от чувствительности к задержкам пакетов существуют следующие типы приложений.

1) Асинхронные приложения, у которых нет ограничений на величину время задержки (эластичный трафик). Например, электронная почта.

2) Синхронные приложения: качество передачи ограничивается нормой на величину времени задержки.

3) Интерактивные приложения. При работе с удаленным файлом время задержки может влиять на качество, но не нарушает работу приложения.

4) Изохронные приложения, при которых ухудшается качество передачи. Например, если время задержки увеличивается до 100 - 150 мс качество воспроизводимого голоса резко ухудшается.

5) Сверхчувствительные к задержкам приложения, при которых нарушается синхронность работы уровня управления. Доставка информации невозможна.

Также классифицировать приложения можно по их устойчивости к потерям пакетов на две группы.

Чувствительные к потерям приложения – все приложения, которые передают буквенно-цифровые данные. К ним относятся числовые таблицы, тексты, документы, листинги программ, коды, и т. п. Данные приложения обладают низкой устойчивостью к потерям даже отдельных байтов. Это приводит к нарушению смысла принятой информации. Такие потери часто ведут к полному обесцениванию остальной, успешно принятой информации. Отсутствие хотя бы одного байта в листинге программы делает ее нежиснеспособной. К этому типу приложений относятся файловый сервис, сервис баз данных, электронная почта и т. д.

Устойчивые к потерям приложения, работа которых основана на возможности восстановления потерянных пакетов на основе принятых соседних значений. К данному виду относятся приложения с мультимедийным трафиком (аудио- и видеоприложения). Но при этом уровень потерь не должен превышать 1%. К таким потерям особенно чувствительна передача видеоизображения или сжатого голоса.

Приведенная выше классификация приложений заложена в перечень типовых требований к параметрам качества обслуживания (QoS) в сетях связи.

## 2 Обзор технологий в NGN сетях

Транспортная сеть NGN строится на основе пакетных технологий передачи информации.

Задачей транспортной сети является прозрачная передача информации – как пользовательской, так и управляющей. Основными технологиями построения транспортных сетей NGN являются

IP/MPLS (Multiprotocol Label Switching) и ATM, при этом технология ATM, как правило, используется на канальном уровне в качестве транспорта для IP. Измерения и параметры качества функционирования на уровне IP позволяют определить эталонные величины для требований к сети, которые не зависят от основных технологий передачи данных и подходят для использования при сквозной оценке качества [8].

### 2.1 Технология ATM

Технология *ATM* (*Asynchronous Transfer Mode* – режим асинхронной передачи) была разработана для организации полнодуплексного высокоскоростного режима обмена между узлами сети и между коммутаторами (рисунок 2.1).

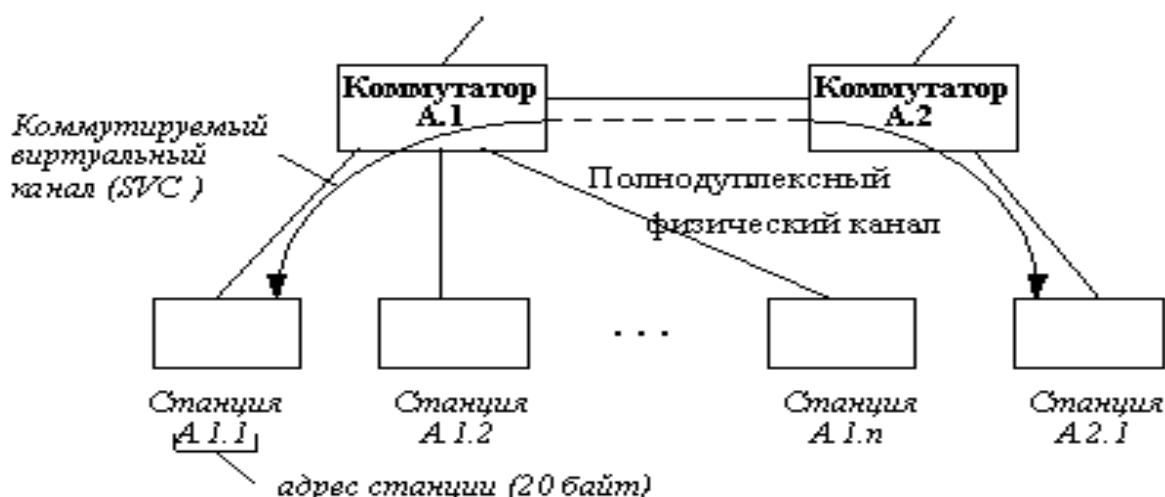


Рисунок. 2.1. Структурная схема сети NGN с ATM

Информация, которой обмениваются между собой ATM-станции и коммутаторы, представляет кадры фиксированного размера в 53 байта. Они называются ячейками. Поле полезных данных занимает 48 байт, заголовок состоит из 5 байтов, а адреса пользователей локальных сетей ATM из 20 байтов.

Для того, чтобы избыточность передаваемой информации, то есть отношение количества служебных байтов к числу байтов полезных данных, была в пределах нормы, в технологии АТМ применен стандартный метод приема-передачи ячеек в виртуальной сети. Каждому виртуальному каналу присваивается адрес, который является сигналом для коммутации. Этот метод применялся в сетях X.25, а затем его стали использовать в организации территориальных сетей по технологиям frame relay и АТМ.

Принцип коммутации пакетов в сетях облачных технологий представлен на рисунке 2.1. Чтобы пользователи могли начать обмениваться данными, необходимо между ними создать логическое соединение. Для этого используется служебная информация, представляющая собой запрос на установление соединения, содержащий многоадресный адрес пользователя, а также номер виртуального канала (коммутатора, маршрутизатора). Номер виртуального канала в АТМ ячейки занимает 3-х байта. Это позволяет маршрутизаторам и абонентским узлам поддерживать одновременно очень большое количество виртуальных соединений.

Для организации виртуального канала на основе адреса пользователя используются таблицы маршрутизации, аналогичные таблицам, применяемыми маршрутизаторами IP или IPX. В этих таблицах для каждого электронного адреса (или нескольких адресов, имеющих общий заголовок, соответствующей адресу сети) указывается номер маршрутизатора, на который нужно передать пришедшую информацию. Назначение таблиц маршрутизации различное и зависит от адресной таблицы маршрутизатора (коммутатора). Она создается двумя способами: вручную администратором или с помощью обмена данными между маршрутизаторами АТМ в зависимости от топологии сети NGN. Название протокола обмена для сетей АТМ – PNNI - Private Network to Network Interface. Он принят в качестве стандарта, но не все АТМ-маршрутизаторы его поддерживают, так как не все сети соответствуют по качеству и возможности оборудования данному стандарту.

В приведенной схеме (см. рисунок 2.1) согласно таблице маршрутизации необходимо передать пакет запроса на установление соединения с порта 1 на порт 0. При этом во время передачи пакета маршрутизатор изменяет у него номер виртуального свободного канала. соединения, который осуществляет подключение к нужному порту. В процессе работы сети каждый конечный узел и каждый коммутатор создает свой список использованных и свободных номеров виртуальных соединений для своих пользователей.

Также для каждого порта составляется таблица коммутации. Маршрутизатор входного порта в таблице коммутации передает пакеты, прибывшие на этот порт с номером 15 на порт 0, при этом номер виртуального канала изменяется на 10. В таблице коммутации порта 0 производится запись о том, что пакеты, пришедшие по виртуальному каналу 10 в обратном направлении передаются на порт с номером 1, изменяя номер виртуального канала на 15. Также производится запись в таблице коммутации порта 0 -

В результате действия такой схемы заголовок передаваемого пакета не имеет длинного адреса пользователя, а только номер виртуального канала. На основе этого осуществляется маршрутизация всей цифровой информации, кроме пакета запроса на установление соединения. Таким образом в сети образуется виртуальный канал, который существует в течение всего времени соединения. Связь при этом полнодуплексная, причем электронные адреса пользователей остаются неизменными, а номера виртуальных каналов постоянно меняются при прохождении через маршрутизаторы, что не оказывает влияния на качество связи.

После создания таблицы коммутации АТМ-ячейки поступают на коммутаторы АТМ так же, как на коммутаторы локальных сетей. Отличие заключается в том, что в технологии АТМ отсутствует режим фильтрации, потому что в АТМ нет разделяемых сред и ячейку, полученную коммутатором, всегда нужно передать на какой-то порт.

Виртуальные каналы бывают постоянными (Permanent Virtual Channel) и коммутируемыми (Switched Virtual Channel). Коммутируемые виртуальные каналы устанавливаются узлами сети динамически, во время работы, а постоянные виртуальные каналы создаются администратором на срок сеанса связи. При этом процедура установления соединения происходит один раз, для чего администратор формирует таблицы коммутации, по которым работают коммутаторы [9].

АТМ-коммутаторы с компьютерным трафиком, предоставляют пользователям два типа сервиса. Сервис с неопределенной пропускной способностью (*Unspecified Bit Rate*). Данный сервис похож на сервис коммутаторов локальных сетей, так как он не гарантирует пользователю достаточной для качества связи пропускной способности сети и не гарантирует, что все части информации будут доставлены пользователям. При данном виде сервиса отсутствует управление потоком, при этом при перегрузке буферов коммутатора приходящие пакеты отбрасываются также, как и в локальных сетях.

Следующий тип сервиса – сервис *ABR (Available Bit Rate)*, который в отличие от сервиса *UBR* имеет возможность управления потоком. При этом не возникает перегрузок коммутаторов сети и возникает гарантии доставки пакетов к узлу назначения.

Для гарантированной передачи информации при установлении соединения *ABR* между оконечным устройством и коммутаторами сети заключается соглашение. Вводится понятие о двух скоростях передачи данных - минимальной скорости и пиковой скорости. В локальных сетях это понятие не используется. При соглашении пользователь обязуется не передавать данные со скоростью, выше пиковой (*PCR*), а сеть гарантирует обеспечить минимальную скорость передачи пакетов (*MCR*).

Если соглашения нет, то есть при установлении *ABR*-соединения не определяется минимальная и максимальная скорости, то по умолчанию



максимальная скорость соответствует скорости передачи информации, которую допускает сеть NGN. А минимальная скорость при этом равна 0.

При выполнении сервиса ABR пользователь сети NGN получает гарантированное качество информации, так как нет потери пакетов и пропускная способность виртуальных каналов соответствует ширине спектра передаваемой информации, то отсутствует перегрузка коммутаторов.

В локальных сетях применяются 53-байтные ячейки. В технологии ATM при передачи по сети ячейки информации разбиваются на кадры, для чего в коммутаторах выполняются функции сегментации и сборки (*Segmentation And Reassembling*). Функция сегментации служит для разделения кадра на пакеты при поступлении кадра в ATM-коммутатор. Каждый пакет может передаваться по сети по разным виртуальным каналам, но в последнем коммутаторе с помощью функции реассемблирования преобразуется в исходный кадр [10].

Скорости передачи, применяемые в технологии ATM следующие: наиболее часто используемая скорость 155 Мб/с, реже применяемая – скорость доступа в 622 Мб/с. Также имеется возможность передачи пакетов в низкоскоростном режиме – 25 Мб/с. Данное свойство работать с разными скоростными режимами является достоинством технологии ATM, что позволяет не изменять технологию при интенсивном трафике части сети, а лишь установить новый более скоростной интерфейс коммутатора.

## 2.2 Технология MPLS

Технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях это технология MPLS (Multiprotocol Label Switching — мультипротокольная коммутация по меткам). Она основана на использовании меток. MPLS позволяет осуществлять управление трафиком, которое применяется в технологиях канального уровня, а также гибкость, масштабируемость протоколов сетевого уровня. С помощью технологии MPLS можно осуществлять передачу данных с применением различных сетевых протоколов. (см. рисунок. 2.2).

Сети некоторых Интернет-провайдеров построены как многоуровневые модели, в которых логическая маршрутизируемая IP-сеть наложена на коммутируемую сеть второго уровня (Frame Relay или ATM ) и независима от нее. Виртуальные высокоскоростные соединения в такой сети обеспечиваются маршрутизаторами второго уровня. Пересылку интеллектуальных информационных IP-пакетов осуществляют IP-маршрутизаторы на периферии сети, связанные друг с другом сетью виртуальных каналов второго уровня

Заголовок 2-го уровня	Метка MPLS	IP-заголовок	Поле данных
Уровень 7			Уровень 7
Уровень 6			Уровень 6
Уровень 5			Уровень 5
Уровень 4	IP	IP	Уровень 4
Уровень 3	MPLS	MPLS	Уровень 3
Уровень 2	FR	ETH	Уровень 2
Уровень 1	SDSL	100BTX	Уровень 1

Рисунок. 2.2 – Организация IP-сети по технологии MPLS

Принципом пути эволюционного развития сети Интернет в сторону упрощения ее инфраструктуры является технология MPLS, функции которой заключаются в интеграции второго и третьего уровня (коммутации, маршрутизации)

Главное достоинство технологии MPLS – разделение процесса коммутации пакета от анализа электронного адреса в его заголовке. При этом коммутация пакетов осуществляется значительно быстрее. Коммутаторы и маршрутизаторы присваивают пакету метку на каждой входной точке таблицы маршрутизации и передают эту метку следующим по сети узлам.

При использовании данной технологии не требуется выполнять процедуру поиска адреса для выполнения следующего шага в маршруте пакета. В сетях NGN при применении этой технологии выполняются следующие функции:

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

В технологию MPLS включены три основных элемента:

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

Метка определяет класс эквивалентности пересылки FEC и является идентификатором (пакетом фиксированной длины). Метка применяется только в одном виртуальном канале с привязкой к конкретному FEC между двумя маршрутизаторами. При этом пакет присылается от верхнего маршрутизатора к нижнему и его метка является входящей. В нижнем пакете она заменяется на

исходящую, которая является единственной в следующем виртуальном канале. Метка имеется в составе любого пакета, но ее место в пакете зависит от применяемой технологии в канальном уровне [11].

В технологии MPLS применяются различные типы меток. Например, 4-байтовая метка, которая располагается между заголовками канального и сетевого уровня. От вида протокола она не зависит и поэтому может использоваться для инкапсуляции пакетов при любом протоколе сетевого уровня. Метка применяется в качестве идентификатора виртуального канала и виртуального пути (VCI/VPI), а также как метку соединения канального уровня (DLCI).

Размер метки – 4 байта (32 бита). Из них идентификатор метки занимает первые 20 бит. Поле CoS занимает следующие три бита в поле метки. Здесь передается информация об уровне качества обслуживания в сети MPLS.

В IP-сети пакет передаваемой информации обычно содержит не одну, а несколько меток. Такой набор образует стек, назначение которого позволяет построить древовидную структуру виртуальной сети, состоящую из различных LSP-трактов и создать специальные LSP-туннели.

FEC определяет группы пакетов с одинаковыми требованиями к передаче. Заголовок IP-пакета содержит лишнюю информацию, которая не требуется для выбора последующего маршрутизатора. Данный выбор организуется с помощью выполнения следующих групп функций в маршрутизаторе:

- определение класса FEC для передаваемого пакета;
- определение следующего шага маршрутизации в соответствии с классом FEC

Предположим два передаваемых пакета имеют один и тот же условный класс эквивалентности. При традиционной IP-маршрутизации определенный маршрутизатор в своих таблицах маршрутизации использует адресный префикс, характеризующий направление, в котором маршруты передачи двух пакетов одинаковы достаточно долго. Заголовок каждого пакета анализируется следующим маршрутизатором и в зависимости от класса эквивалентности, принадлежащего данному маршрутизатору, определяет направление пакета. При использовании технологии MPLS пакету присваивается определенный класс FEC только один раз при входе в сеть. Этому классу присваивается своя метка, которая передается вместе с пакетом к следующему маршрутизатору. При транспортировке пакета по маршруту анализ заголовка пакета не производится, что увеличивает скорость передачи. Определение FEC зависит от предъявленных требований в передаче транспортного потока или адресного префикса.

Таким образом, можно сделать вывод, что класс эквивалентности пересылки FEC позволяет группы пакетов с одинаковыми требованиями к передаче обрабатывать одинаково на пути их следования к пункту назначения.

В MPLS-сетях используются два вида сетевых узлов.

Маршрутизаторы, находящиеся на концах сети MPLS должны анализировать и определять принимаемые IP-потоки и отправлять их по нужным маршрутам. Такие устройства называются пограничными маршрутизаторами с

коммутацией меток (Label Edge Router, LER). Бывают входной и выходной LER (см. рисунок 2.2)

Входной LER анализирует IP-заголовок и устанавливает класс эквивалентности обслуживания (Forwarding Equivalency Class, FEC).

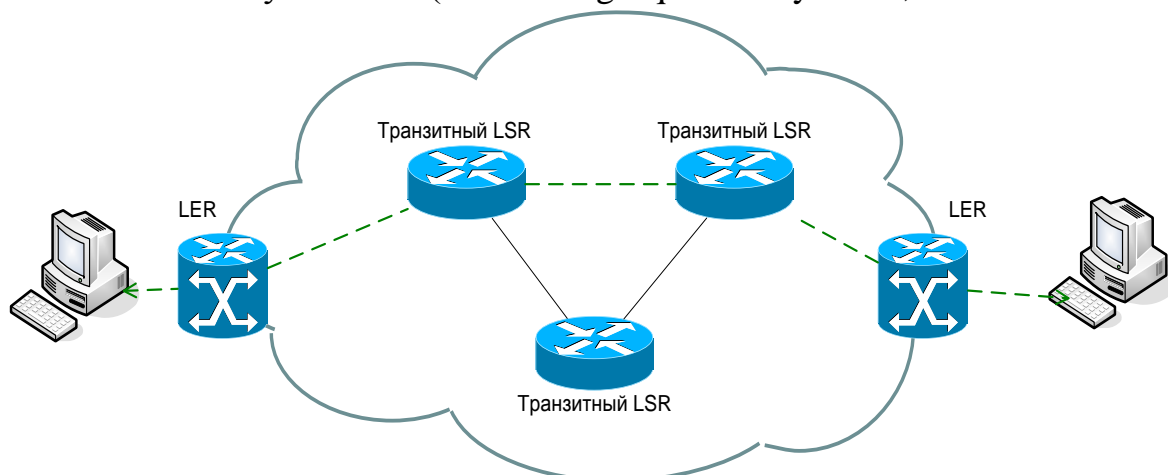


Рисунок 2.2 – Архитектура сети MPLS

Коммутируемый по меткам тракт (LSP) – это MPLS-маршрутизаторы, включенные в последовательную схему. Пакеты информации, передаваемые по LSP относятся к одному классу FEC и каждому пакету присваивается своя метка. При этом внутри LSP-тракта создается LSP-туннель и каждый маршрутизатор LSP назначает для него свою метку. Обычно туннель короче чем тракт, то есть их начало и конец не совпадают. Иногда информационный поток настолько велик, что в одном туннеле может быть пропущено несколько пакетов и байтов. Чтобы избежать этого, создается несколько LSP-туннелей между отправителем и получателем в одном LSP-тракте. В туннелях первого уровня могут создаваться LSP-туннели другого уровня. Этим определяется иерархичность структуры MPLS. Если маршрутизатор сам выбирает путь следования пакета, то это принцип создания туннелей hop-by-hop. Второй принцип – явной маршрутизации. Согласно первому принципу, маршрут следования пакетов выбирается случайно. Согласно второму принципу путь пакета известен заранее в соответствии с указаниями маршрутизатора, полученными от верхнего к нижнему в данном тракте LSR. Для создания LSP-туннеля с разными точками входа и выхода необходимо иметь в сети MPLS маршрутизаторы, включенные в последовательную схему, которые являются входными для определенного FEC. Маршрутизатор, стоящий на выходе пути следования пакета является корнем древовидного тракта LSP, если для некоторых из многих LSP выходным является один и тот же LER. LSP тракт создается путем замены на каждом узле сети MPLS входящей метки на исходящую (алгоритм перестановки меток). LSP-туннель создается в LSP тракте путем включения заголовка-метки и устанавливается перед передачей данных с управлением трафиком или при наличии потока данных, требующих управления маршрутизации.

Туннелирование применяется широко в сетях облачных технологий, частности в сетях NGN

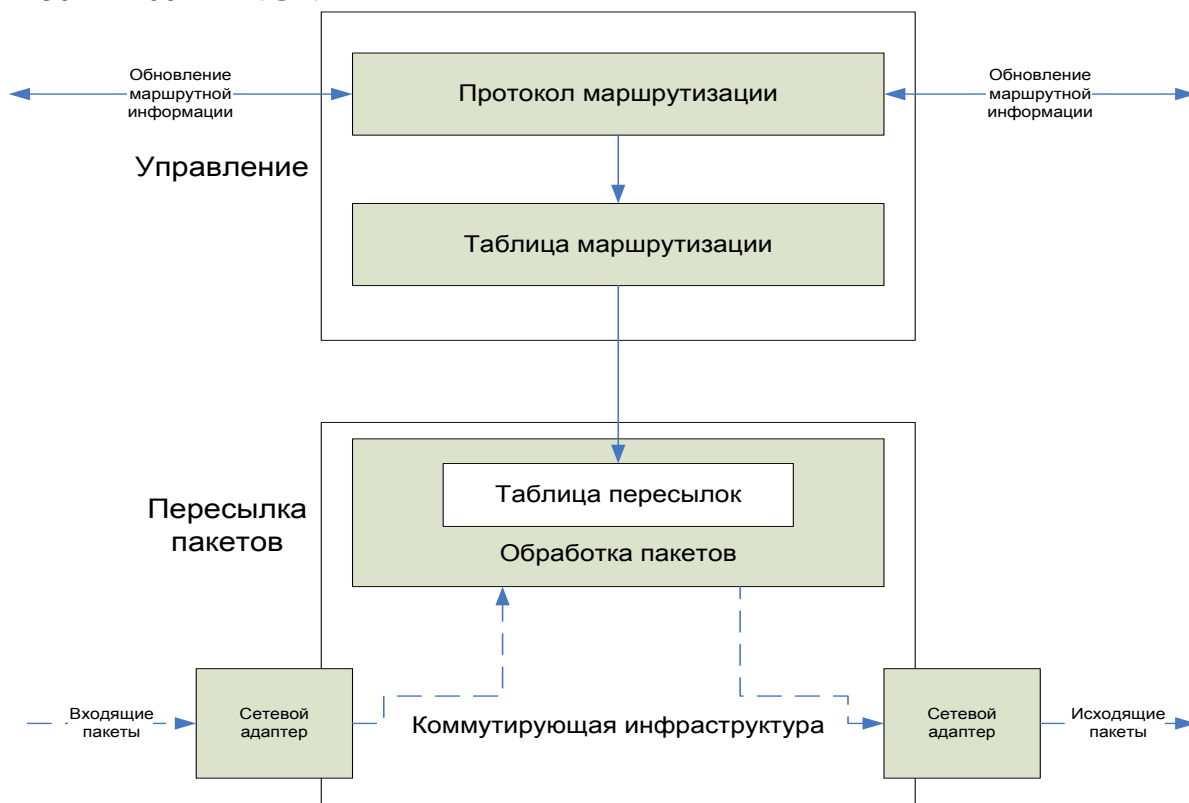


Рисунок 2.3. Функциональные компоненты маршрутизации

Протокол CR-LDP является вариантом LDP, в котором определены механизмы создания и поддержания трактов LSP с явно заданным маршрутом. Для создания тракта CR-LSP используется больше информации, чем можно получить от традиционных протоколов внутренней маршрутизации. CR-LDP применяется для таких приложений MPLS, как TE (Traffic Engineering) – управление трафиком и QoS, где требуется дополнительная информация о маршрутах. В этом протоколе запрос метки может не следовать слепо вдоль дерева маршрутизации для данного адресата, т.к. предусмотрена возможность точно сообщить, как он должен следовать, включив в сообщение явно заданный маршрут. При этом программное обеспечение CR-LDP не использует для маршрутизации таблицы пересылки (см. рисунок 2.3), а маршрутизирует запрос в соответствии с содержащимися в сообщении инструкциями.

Протокол CR-LDP не поддерживает динамического вычисления явно задаваемых маршрутов, поэтому сведения о динамическом резервировании пропускной способности должны включаться в вещательную информацию протоколов OSPF или IS-IS, или в извещения о состоянии каналов LSA. Используя эти механизмы, CR-LDP может занимать и резервировать пропускную способность. Доступная пропускная способность изменяется в соответствии с запросом, и ее новое значение рассылается другим узлам с помощью расширений протоколов OSPF и IS-IS.

### 3 Параметры качества обслуживания

Существует два основных подхода к измерению качества функционирования сети – активное (active, intrusive) и пассивное (passive, non-intrusive). Активное измерение производится с помощью тестового потока в условиях обычного функционирования сети. Такой тип измерения позволяет детально выделить характеристики NP, например, время односторонней задержки, влияние размера блока данных и т. д., однако активное измерение вносит дополнительную нагрузку на сеть.

Пассивное измерение производится с помощью сбора информации в узлах сети (маршрутизаторах уровня IP, коммутаторах ATM и Ethernet) с использованием базового протокола управления сетью (Simple Network Management Protocol, SNMP) и других технологий. Метод не вносит дополнительной нагрузки на сеть и позволяет производить измерения для каждого устройства или звена сети, однако измерения могут быть ограничены в рамках одного домена или сети в связи с использованием разных протоколов.

Согласно общей модели качества функционирования сети на уровне IP, определенной в Рекомендации Y.1540, основными сетевыми компонентами являются хост, маршрутизатор, хост-источник, хост-получатель и звено. Под точкой измерения (Measurement point, MP) понимается граница между хостом и смежным звеном, на которой можно констатировать эталонные события (Reference Event, RE) и произвести измерение характеристик передачи. Примерами эталонного события могут служить такие события, как «пакет покидает хост» или «пакет достигает хоста».

Передача пакета констатируется, когда пакет проходит точку измерения, при условии что проверка контрольной суммы его заголовка стандартными методами дает положительный результат и значения адресных полей заголовка соответствуют IP-адресам ожидаемых источника и получателя.

Также важными понятиями модели являются сегмент сети (network section) и звено обмена (exchange link). Под сегментом сети понимается совокупность хостов и соединяющих их звеньев, которые совместно обеспечивают передачу информации на уровне IP между хостом-источником и хостом-получателем и находятся в пределах одной автономной системы. Звено обмена – это звено, соединяющее либо хост-источник или хост-получатель с соседним хостом (например, маршрутизатором), который может принадлежать иной юрисдикции (в этом случае звено обмена называют также звеном доступа); либо два маршрутизатора, принадлежащих к различным сегментам сети. Звено обмена, сегмент сети, хост-источник и хост-получатель являются базовыми сегментами сети, ограничивающимися точками измерения. Ансамбль сегментов (network section ensemble) – любая совокупность связанных между собой сегментов сети и всех звеньев обмена, их соединяющих.

Показатели качества функционирования сети подразделяются на четыре основные категории.

1) Задержка передачи в базовом сегменте сети.

К этой категории относятся два показателя NP уровня IP для версии протокола IPv4: задержка передачи (или переноса) IP пакетов (IP packet transfer delay, IPTD) и вариация задержки IP пакетов, или джиттер задержки (IP packet delay variation, IPDV).

2) Ошибки и потери передачи в базовом сегменте сети.

Основными показателями NP в этой категории являются доля потерянных IP пакетов, или коэффициент потери IP пакетов (IP packet loss ratio, IPLR), и доля искаженных IP пакетов, или коэффициент ошибок IP пакетов (IP packet error ratio, IPER).

3) Готовность базового сегмента сети.

Готовность – свойство объекта быть в состоянии выполнять требуемую функцию при заданных условиях в данный момент времени или в течение заданного интервала времени при условии обеспечения необходимыми внешними ресурсами. Готовность является ключевым показателем, определяющим качество функционирования сети. Основой для определения показателя готовности сети на уровне IP служит параметр IPLR – доля потерянных IP пакетов, или коэффициент потерь IP пакетов.

4) Пропускная способность базового сегмента сети.

Полезно иметь возможность охарактеризовать качество функционирования сети с помощью показателей, связанных с понятием пропускной способности. При введении таких показателей необходимо учитывать, что на пропускную способность сети на уровне IP оказывают влияние протоколы вышележащих уровней, например протокол управления передачей (Transmission Control Protocol, TCP) [12].

Между абонентами сети и провайдером заключается соглашение об уровне сервиса (Service Level Agreement, SLA), в котором оговариваются все параметры качества обслуживания. Для решения этой задачи необходимо знать временной промежуток, в котором будет измеряться данный параметр.

Чем меньше отрезок времени, тем жестче требования качества обслуживания, тем труднее для сети их выдержать. Поэтому обеспечение QoS для провайдеров IP-сетей является сложновыполнимой задачей. В связи с этим провайдеры в соглашениях SLA употребляют среднемесячные характеристики. Провайдеры сетей frame relay и ATM гарантируют повышенные параметры качества QoS, а именно параметры, усредненные за период в несколько секунд,

Имеются три критерия классов приложений. Ими являются предсказуемость скорости трафика, чувствительность к задержкам и чувствительность к потерям.

Для определения и задания необходимого качества обслуживания используются три группы параметров:

- параметры пропускной способности, включающие в себя минимальную, среднюю, максимальную (пиковую) скорости передачи данных;
- параметры задержек времени передачи сигнала в тракте сети;
- среднюю и максимальную величину задержек, а также среднее и максимальное значения изменений задержек, т. е. отклонений межпакетных интервалов в прибывающем трафике по сравнению с отправленным;
- параметры надежности передачи сигнала – процент потерянных пакетов информации и процент искаженных пакетов.

Пользователь при составлении контракта оговаривает приложения, которые определяют параметры качества обслуживания и называются профилем трафика. Данные требования характеризуют возможность сети при передаче по тракту заданного трафика. Например, пользователь имеет приложение, создающий равномерный поток с постоянной скоростью  $N$

При заключении соглашения SLA с провайдером пользователь обязуется, что предлагаемый трафик приложения не будет превышать максимальную скорость  $N$ . Провайдер в свою очередь гарантирует, что минимальная величина пропускной способности сети, предоставляемой данному приложению, будет не меньше  $N$ . При выполнении этих условий будет обеспечено допустимое качество обслуживания трафика данного приложения.

Размер пакета является необходимым параметром для определения трафика, создаваемого группой пользователей телефонии и Ethernet при наличии сервиса передачи данных. При построении сети NGN, на разных участках сети в зависимости от узла передачи данных применяются технологии Ethernet. При этом нельзя передавать информацию, в которой присутствуют пакеты, имеющие длину поля больше максимальной длины поля данных Ethernet. Слишком длинный пакет вовремя передачи необходимо разбить на более короткие, что может привести к излишней нагрузке на коммутаторы, и, в случае потерь – к повторным запросам, что приведет к увеличению времени задержки и соответственно к ухудшению качества передачи. Кроме этого, передача пакетов большой длины требует обеспечения качества обслуживания на магистральной сети и в сети доступа. Поэтому корпоративные пользователи устанавливают на пограничных узлах своей сети файервол, способный ограничивать максимальный размер кадра.

Если приложение имеет пульсирующий трафик, то для характеристики качества обслуживания лучше использовать среднее и максимальное значение скорости передачи сигнала. При этом важное значение имеет параметр – максимальное время пульсации, которое поясняет, что приложение передает данные с наибольшей скоростью, либо передает максимальный объем данных в одной посылке. Кроме этого, оговаривается верхняя и нижняя граница скорости передачи.

В данном случае при минимальной скорости передачи приложению должна быть гарантирована пропускная способность, достаточная для



нормального функционирования сети, а пользователь не должен подавать сигнал со скоростью выше, чем максимальная.

По типам трафика (CoS) принято три класса обслуживания клиентов: премиум, эконом и стандарт. При этом предоставление услуг организуется согласно соглашению об уровне обслуживания (SLA).

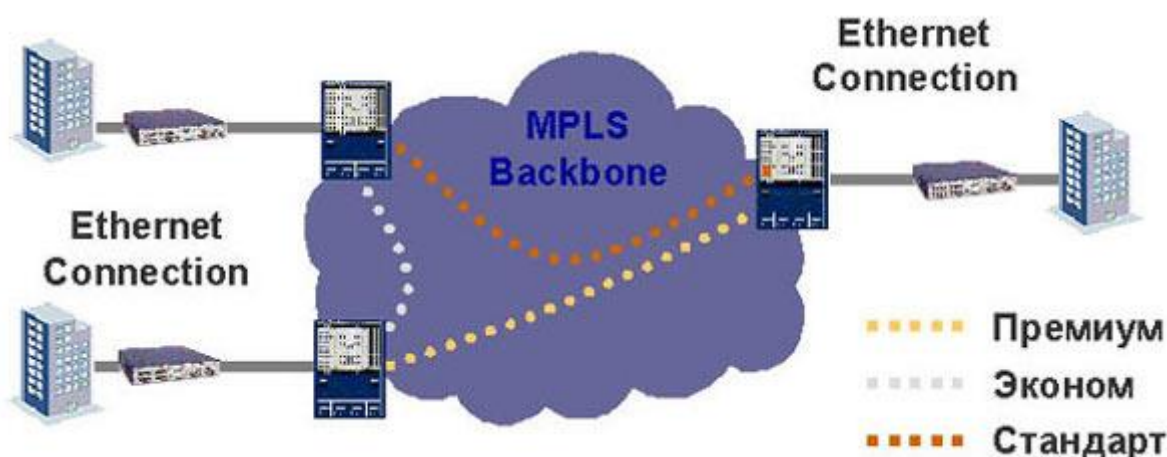


Рисунок 3.1 – Виды трафика согласно класса обслуживания в сетях NGN

Поддержка различных параметров качества обслуживания (QoS) (задержка прохождения, процент потерь, неравномерность задержек пакетов) для различных классов обслуживания приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Поддержка различных параметров качества обслуживания (QoS)

Класс обслуживания CoS	Задержка передачи пакета, мс (не более)	Вероятность потери пакета (не более)	Неравномерность задержки пакета, мс (не более)
Эконом (best effort)	Не определено	Не определено	Не определено
Стандартный	400	$10^{-3}$	Не определено
Премиум	100	$10^{-3}$	50

Для построения сети с такими характеристиками нужно определенное технологическое обеспечение. Так как потребности клиентов постоянно растут, оборудование обязательно должно быть рассчитано и на перспективу, а не только на нынешний спрос услуг [Кархов А.А., Кострова Т.Н. Сеть следующего поколения NGN Comstar: перспективные возможности. iT-Среда. 2007 [13].

После подписания соглашения пользователь и сервис-провайдер настраивают свое оборудование и программное обеспечение для соблюдения оговоренных параметров. При этом надо учитывать возможность автоматизированного процесса согласования параметров QoS между оборудованием пользователя и оборудованием провайдера при некоторых технологиях обработки сигнала Например, в технологии АТМ при установлении

соединения эти параметры согласуются с помощью процедуры, называемой трафик-контрактом.

Обеспечение качества обслуживания выполняет служба QoS при наличии разветвленных схем сетей NGN и разных типов приложений. Элементы QoS имеются во всех сетевых устройствах схемы, участвующих в передаче пакетов по тракту (коммутаторах, маршрутизаторах, серверах доступа). Так как работу всех перечисленных устройств необходимо координировать, чтобы качество обслуживания было однородным вдоль всего маршрута следования пакетов потока, служба QoS быть снабжена элементами централизованного управления. При этом надо учитывать, что качество обслуживания QoS зависит от обеспечения этого параметра с самым слабым элементом схемы тракта между отправителем и получателем.

Поэтому улучшение качества обслуживания хотя бы в одном сетевом устройстве, пусть даже и магистральном, может немного улучшить качество обслуживания или же совсем не будет влиять на параметры QoS.

Рассмотрим схему типовой архитектуры службы QoS (Рисунок 3.2.)

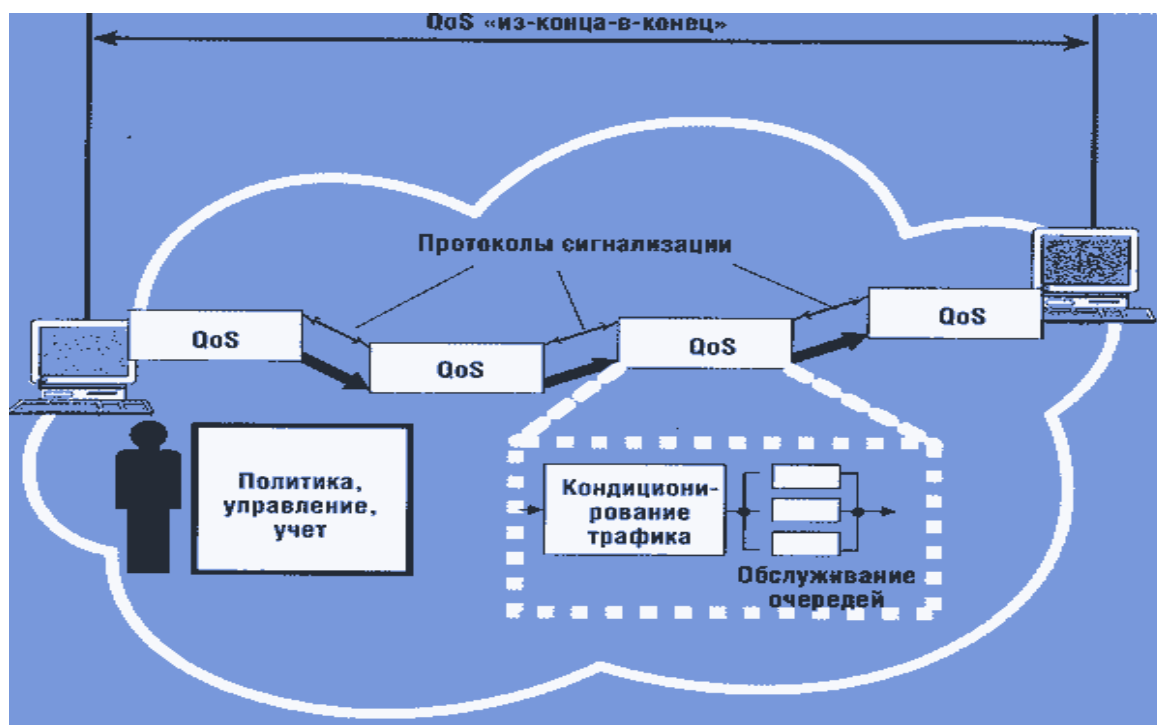


Рисунок 3.2 – Типовая архитектура службы QoS с элементами трех основных видов:

Базовая архитектура службы QoS состоит из следующих элементов:

- средств выполнения требований QoS узла сети;
- протоколов сигнализации QoS;
- централизованных функций политики, управления и учета QoS.

На процесс продвижения пакетов между входными и выходными интерфейсами коммутаторов и маршрутизаторов оказывают влияние средства

QoS узла. Они также обеспечивают качество обслуживания сети в каждом конкретном устройстве, входящем в тракт передачи.

Данные средства QoS узла состоят из следующих составных частей:

- механизмы обслуживания очередей;
- механизмы кондиционирования трафика.

При работе устройства, обеспечивающего коммутацию пакетов, требуется иметь механизмы обслуживания очередей. Они необходимы в те периоды, когда скорость передачи трафика становится меньше скорости его поступления. При этом возникают очереди. Чтобы этого не произошло, механизмы обслуживания очередей, изменяя выборку пакетов, меняют время постановки их в очередь, а следовательно и величину времени задержки. Этот параметр является важной характеристикой качества передачи сигнала QoS-

При наличии сервиса "по мере возможности" в режиме по умолчанию в сетевых устройствах очереди обслуживаются по простейшему алгоритму FIFO ("первым пришел - первым обслужен"). Для поддержки передачи информации данных "истинных" сервисов QoS нужны более сложные механизмы, которые обрабатывают сразу несколько транспортных потоков. При этом применяются алгоритмы приоритетного или взвешенного обслуживания.

Одним из методов передачи сигнала без очередей являются механизмы кондиционирования трафика. Они не выбирают оптимальный алгоритм обслуживания очереди, а сокращают ее. Сокращение очереди осуществляется изменением входного трафика. Например, путем снижения скорости поступления потока в данный узел и уменьшения его неравномерности.

Для координации усилий по обеспечению параметров качества обслуживания на всем маршруте следования транспортного потока, т. е. "из конца в конец" необходимы протоколы сигнализации QoS. Они позволяют механизмам QoS в различных узлах сети обмениваться служебной информацией. Например, с помощью средств сигнализации приложение может зарезервировать себе вдоль всего пути требуемую среднюю пропускную способность (для сетей IP эту функцию поддерживает протокол RSVP).

Обеспечить работу протокола сигнализации могут конечные узлы сет и промежуточные устройства. Например, пограничный маршрутизатор в сети провайдера способен выполнить классификацию трафика и зарезервировать данному потоку клиента некоторую пропускную способность. В этом случае координация сетевых устройств будет происходить не на всем маршруте прохождения сигнала, а только в пределах сети данного провайдера, что снижает качество обслуживания трафика [14].

В крупных сетях обязательно присутствие централизованной функции политики управления и учета QoS, хотя этого не требуется в архитектуре службы QoS. Пользователи и каждое приложения стремятся получить обслуживание с высоким уровнем качества, согласно максимальным требованиям (например, наибольшей пропускной способности).

В связи с этим, требуются средства, помогают администраторам задавать оптимальный уровень качества обслуживания для различных пользователей и приложений или для их групп. Функции политики позволяют администратору создавать правила, по которым сетевые устройства могут формально, на основании набора признаков, распознавать отдельные типы трафика и применять к ним определенные возможности QoS.

Каждое сетевое устройство конфигурирует и хранит эти правила. Это может привести к несогласованной работе сетевых устройств, к возникновению большого количества ошибок, то есть к ухудшению качества обслуживания. К примеру, одно устройство выделило транспортному потоку пропускную способность 1 Мбит/с, а другое – 1 Кбит/с.

Службы QoS с централизованными системами поддержки политики, называются службами QoS на базе правила (policy-based QoS). Для выполнения защиты трафик также используется правила политики, координирующие работу сетевых устройств. Поэтому общая справочная служба сети (Directory Service, DS) является базой централизованной системы политики сети.

В сетях NGN из-за разнородности трафик требуется хранение различных данных о работе сети, данных о политике QoS, политике безопасности, что приводит особому значению централизованной системы политики сети.

Описанной модели службы QoS соответствует большинство конкретных протоколов поддержки QoS: RSVP, DiffServ сетей TCP/IP, протоколов служб CBR, VBR и ABR сетей ATM [15].

Основными параметрами, которые характеризуют качество передачи сигнала в сети NGN, являются: объем и длина пакетов, время задержки сигнала в линии связи, пропускная способность канала связи. Для исследования взаимной зависимости перечисленных параметров, была составлена виртуальная схема системы связи, позволяющая регулировать количество коммутационных узлов и трафик сигнала а сети

Исследование параметров качества обслуживания передаваемого сигнала в виртуальной сети в зависимости от количества устройств коммутации и характеристик трафика представлено в разделе «экспериментальная часть».

## 4 Конвергенция в сетях NGN

На современном этапе происходят изменения в предоставляемых услугах, а также в способе их реализации. При этом доминирующим процессом в сетях NGN стала конвергенция.

Конвергенция это наличие сходств в функциях и строении систем, разных по происхождению и назначению.

Основной задачей поставщиков телекоммуникационных услуг является разработка способов повышения рентабельности, путей снижения эксплуатационных затрат и наращивания эффективности использования сетевых ресурсов. Провайдерам необходимо не только получить преимущество на телекоммуникационном рынке и привлечь большее число клиентов путем предоставления новых услуг, расширяя набор сервисов, особенно рассчитывая на домашний сектор, а также на корпоративных заказчиков. Переход на мультисервисные сети NGN для многих операторов является необходимой мерой для повышения доходности услуг связи.

Обеспечить внедрение персонализированных сетевых услуг позволяет операторам связи именно сеть нового поколения. При переходе к NGN доходность бизнеса повышается по двум направлениям. Первое – оптимизация капитальных и эксплуатационных расходов. Под капитальными расходами в данном случае подразумевается модернизация сети после перехода к NGN-структуре, например, при изменении конфигурации сети, добавлении услуг или обновлении технологий. Эксплуатационные расходы снижаются в основном за счет более эффективного использования транспортного ресурса, связанного с возможностью гибкой маршрутизации, статистического мультиплексирования разнородных услуг в одном канале, а также применения эффективных кодеков, в первую очередь голосовых. Эффективность компрессии голоса в NGN-сетях в среднем в три раза выше, нежели в традиционных TDM-каналах, хотя разные производители используют разные кодеки.

Второе направление повышения доходности – предоставление комплекса услуг и простота их добавления. Внедрение услуг превращается в достаточно быстрый процесс и в общем случае значительно менее затратный. При грамотном подходе этот бизнес может давать очень хорошие дивиденды операторам.

Реализация сетей NGN и предоставление на их основе пакета дополнительных сервисов являются ключевыми факторами развития для таких поставщиков телекоммуникационных услуг, как:

- операторы фиксированной связи;
- традиционные операторы связи (TDM);
- операторы мобильной связи;

- операторы конвергентных услуг связи, предоставляющие своим абонентам услуги мобильной и фиксированной телефонной связи, широкополосного доступа передачи данных, мобильного доступа передачи данных и др.;
- «виртуальные операторы» – MVNO (Mobile Virtual Network Operator), т. е. операторы, предоставляющие услуги связи, но не имеющие своей собственной транспортной сети, и «виртуальные операторы», предоставляющие конвергентные услуги связи – Converged VNO;
- провайдеры сервис-приложений – Application Service Providers (ASP), компании, предоставляющие в аренду и обслуживающие необходимый потребителю набор приложений на своей технологической площадке;
- интернет-провайдеры – Internet Service Provider (ISP), компании, предоставляющие услуги доступа в Интернет;
- hosted/outsourced-операторы – владельцы магистральных IP/MPLS-сетей национального масштаба. Такие операторы предоставляют в аренду или на аутсорсинг «виртуальные комплексы» для региональных операторов и субоператоров [16].

Можно выделить три принципа конвергенции:

- конвергенция сетей;
- конвергенция управления;
- конвергенция приложений.

Конвергенция сетей.

Создание холдингов и крупных телекоммуникационных систем, которые объединяют сети множества операторов специализированной связи (фиксированной связи, мобильной связи и передачи данных) с учетом борьбы с конкурентами за клиента привели к созданию новых услуг.

Они должны обеспечивать возможность потребителю пользоваться любыми услугами и сетями, независимо от телекоммуникационной сети путем проникновения в другую сеть за счёт шлюзования.

Для обеспечения оперативности процесса конвергенции требуется согласование различных протоколов (SDH, ATM, FR, IP) и применение технологий передачи данных (VoIP, VoATM, VPN). В качестве устройств согласования применяются мультисервисные сетевые элементы, использующие технологии ATM и MPLS, IP и FR.

При конвергенции сетей сети, отличающиеся по построению сливаются в одну, что приводит к увеличению эффективности. При этом оператор может избежать использование множества наложенных сетей, которые требуют индивидуального управления и техобслуживания, и организовать сеть IP/MPLS. Это позволяет вводить современные услуги и формировать конечному пользователю инновационные приложения новых технологий Интернета.

Конвергенция управления.

Для осуществления конвергенции управления оператору необходимо предоставлять услуги, осуществлять биллинг и управлять услугами, предоставляемыми во всех сетях доступа.

Повышаются требования к прикладным уровням и оборудованию абонента. Например, при предоставлении услуги «triple play services» осуществляется передача речи, видео и данных в одной сети. При применении беспроводной среды передачи данных получается услуга «triple play в движении», или услуга «quadruple play».

Конвергенция приложений.

При увеличении количества сетей различного назначения появилось большое число различных сетевых приложений и информационных услуг. При этом основное требование абонентов – уменьшение до минимума времени, которое необходимо потребителю для выбора правильного окончательного устройства и алгоритма доступа к требуемой услуге.

Все современные терминалы, в той или иной степени, являются специализированными или универсальными персональными компьютерами. А цифровые коммутаторы различного назначения – это специализированные или универсальные серверы телекоммуникационных услуг. Объединение разнородных сетей в единую, прозрачную для абонента, мультисервисную среду осуществляется путем передачи цифрового сигнала по телекоммуникационным сетям.

Конвергентные сети обычно формируются в среде Ethernet и IP-приложений. Использование данных сетей позволило реализовать слияние любых услуг и доставку любого произвольного цифрового трафика в универсальной цифровой среде. Для повышения экономической эффективности деятельности оператора необходимо сохранить инвестиции и существующие телекоммуникационные инфраструктуры при использовании новых протоколов и технологий.

Кроме того, для оператора важным фактором является сохранение запаса по масштабированию производительности, возможность быстрого контроля качества представленных услуг, прогнозирование пиковых нагрузок и планирование профилактических действий для модернизации узлов.

## 5 Расчет параметров гибкого коммутатора

### 5.1 Расчет интенсивности вызовов

Основной задачей гибкого коммутатора при построении распределенного абонентского концентратора является обработка сигнальной информации обслуживания вызова и управление установлением соединений.

К сети NGN могут подключаться пользователи различных типов. При этом для обслуживания вызовов могут использоваться различные протоколы сигнализации.

Введем следующие переменные:

$P_{TфОП}$  - удельная интенсивность вызовов от абонентов, использующих доступ по аналоговой телефонной линии в ЧНН, примем  $P_{TфОП} = 5$  выз/чнн;

$P_{ADSL}$  - удельная интенсивность вызовов от абонентов ADSL в ЧНН, примем  $P_{ADSL} = 10$  выз/чнн;

$P_{PBX}$  - удельная (приведенная к одному каналу интерфейса) интенсивность вызовов от УПАТС, подключаемых к пакетной сети, примем  $P_{PBX} = 35$  выз/чнн.

$P_{SHM}$  - удельная интенсивность вызовов от абонентов, использующих терминалы SIP, H.323, MGCP, значение  $P_{SHM}$  можно принять равным  $P_{TфОП}$

Тогда общая интенсивность вызовов, поступающих на гибкий коммутатор от источников всех типов равна

$$P_{CALL} = P_{TфОП} \cdot \left( \sum_{i=1}^L N_{i\_TфОП} + \sum_{i=1}^L N_{i\_SHM} \right) + P_{ADSL} \cdot \sum_{i=1}^L N_{ADSL} + P_{PBX} \cdot \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K N_{k\_PBX} \quad (4.1)$$

где  $L$  – число шлюзов доступа, обслуживаемых гибким коммутатором,  
 $K$  – число УПАТС подключенных к шлюзу.

$P_{CALL} = 5 \cdot (704 + 1152 + 3968 + 4096 + 5184 + 896 + 320) + 10 \cdot (96 + 144 + 384 + 384 + 384 + 96 + 48) + 35 \cdot 130 = 101510$  выз/чнн – общая интенсивность вызовов, поступающая на гибкий коммутатор в ЧНН.

Нужно отметить, что удельная производительность коммутационного оборудования может отличаться в зависимости от типа обслуживаемого вызова, т.е. производительность при обслуживании, например, вызовов ТфОП и ADSL, может быть разной. В документации на коммутационное оборудование, как правило, указывается производительность для наиболее “простого” типа вызовов. В связи, с чем при определении требований к производительности можно ввести поправочные коэффициенты, характеризующие возможности



системы по обслуживанию данного типа вызовов относительно “идеального” типа.

В нашем случае, при производительности системы для “идеальных” вызовов SIP равной 10 млн. выз/чнн, и вызовов ТфОП – 8 млн. выз/чнн, интенсивность следует брать с поправочным коэффициентом  $k = 1.25$ .

Таким образом, нижний предел производительности гибкого коммутатора по обслуживанию потока вызовов с интенсивностью  $P_{CALL}$ , с введенной поправкой может быть определен по формуле

$$P_{SX} = k \cdot (N_{ТфОП} \cdot P_{ТфОП} + N_{ADSL} \cdot P_{ADSL} + N_{PBX} \cdot P_{PBX} + N_{SHM} \cdot P_{SHM}) \quad (4.2)$$

$P_{SX} = 1.25 \cdot 101510 = 126887.5$  выз/чнн – предел производительности с поправочным коэффициентом.

Требования по производительности предполагают работу оборудования гибкого коммутатора в условиях перегрузки с показателями не ниже определенных в рекомендации Q.543 для нагрузок классов В и С.

Емкостные параметры абонентской базы гибкого коммутатора должны позволять обслуживание всех абонентов различных типов, подключение которых планируется при проектировании сети.

Параметры интерфейса подключения к пакетной сети определяются исходя из интенсивности обмена сигнальными сообщениями в процессе обслуживания вызовов [17].

Введем следующие переменные:

$L_{MEGACO}$  - средняя длина сообщения (в байтах) протокола MEGACO, используемого при передаче информации сигнализации по абонентским линиям;

$N_{MEGACO}$  - среднее количество сообщений протокола MEGACO при обслуживании вызова;

$L_{V5UA}$  - средняя длина сообщения протокола V5UA;

$N_{V5UA}$  - среднее количество сообщений протокола V5UA при обслуживании вызова;

$L_{IUA}$  - средняя длина сообщения протокола IUA;

$N_{IUA}$  - среднее количество сообщений протокола IUA при обслуживании вызова;

$L_{SH}$  - средняя длина сообщений протокола SIP/H.323;

$N_{SH}$  - среднее количество сообщений протокола SIP/H.323 при обслуживании вызова;

$L_{MGCP}$  - средняя длина сообщений протокола MGCP, используемого при управлении коммутацией на шлюзе;

$N_{MGCP}$  - среднее количество сообщений протокола MGCP при обслуживании вызова.

Тогда:

$$V_{SX} = k_{sig} \cdot [(L_{MEGACO} \cdot N_{MEGACO} \cdot P_{TфОП} \cdot N_{TфОП} + L_{V5UA} \cdot N_{V5UA} \cdot P_{V5} \cdot N_{V5} + L_{IUA} \cdot N_{IUA} \times \\ \times (P_{ADSL} \cdot N_{ADSL} + P_{PBX} \cdot N_{PBX}) + L_{SH} \cdot N_{SH} \cdot P_{SH} + L_{MGCP} \cdot N_{MGCP} \cdot (P_{TфОП} \cdot N_{TфОП} + P_{V5UA} \cdot N_{V5UA} + \\ + P_{ADSL} \cdot N_{ADSL} + P_{PBX} \cdot N_{PBX})] / 450 \quad (4.3)$$

где:  $V_{SX}$  – минимальный полезный транспортный ресурс, в бит/с, которым гибкий коммутатор должен подключаться к пакетной сети, для обслуживания вызовов в инфраструктуре абонентского концентратора;

$k_{sig}$  – коэффициент использования транспортного ресурса при передаче сигнальной нагрузки. Примем значение  $k_{sig} = 5$ , что соответствует нагрузке в 0.2 Эрл;

1/450 – результат приведения размерностей “байт в час” к “бит в секунду” ( $8/3600 = 1/450$ ).

Для нашего случая, возьмем среднюю длину всех сообщений равной 50 байт, а среднее количество сообщений в процессе обслуживания вызова – 10, формулу (3,3) приведем к виду

$$V_{SX} = 5 \cdot (11 \cdot N_{TфОП} + 78 \cdot N_{PBX} + 22 \cdot N_{ADSL}) = 5 \cdot (11 \cdot 16320 + 78 \cdot 130 + 22 \cdot 1536) = \\ = 1.12 \text{ Мбит/с} - \text{интенсивность обмена сигнальными сообщениями в процессе обслуживания вызовов.}$$

## 5.2 Расчет параметров шлюзов

Будем считать, что в результате определения точек размещения оборудования шлюзов доступа и закрепления за шлюзами доступа зон обслуживания была получена конфигурация, показанная в таблице 3.1

Т а б л и ц а 5 . 1 – Абонентская емкость

Шлюз доступа	Число абонентов СТОП	Число абонентов ADSL	Число подключаемых УПАТС/кол-во Е1 от каждой	Итого
RAGW 1	704	96	0	800
RAGW 2	1152	144	0	1296
RAGW 3	3968	384	0	4352
RAGW 4	4096	384	PBX 1/ 5	4480
RAGW 5	5184	384	0	5568
RAGW 6	896	96	0	992
RAGW 8	320	48	0	368

Расчет параметров шлюзов производится с учетом величины критической длины абонентской линии, топологии первичной сети (если таковая уже

существует), наличия помещений для установки, технологических показателей типов оборудования, предполагаемого к использованию.

Исходя из критерия критичности длины абонентской линии, зона обслуживания шлюза доступа должна создаваться таким образом, чтобы максимальная длина абонентской линии не превышала 3-4 км. Если шлюз производит подключение оборудования сети доступа интерфейса V5, LAN или УПАТС, то зона обслуживания шлюза включает в себя и зоны обслуживания подключаемых объектов [18].

Исходя из зоны обслуживания, определяются емкостные показатели шлюза, которые отражают общее количество абонентов и емкости каждого из типов подключений. Для нашего случая введем следующие переменные:

$N_{ТфОП}$  – число абонентов, использующих подключение по аналоговой абонентской линии;

$N_{ADSL}$  – число абонентов ADSL;

$У_{СТОП}$  – удельная нагрузка от абонента СТОП в ЧНН, в соответствии с заданием, будем считать  $у_{ТфОП} = 0,15$  Эрл;

$У_{ADSL}$  – удельная нагрузка от абонента ADSL в ЧНН, в соответствии с заданием, будем считать  $у_{ADSL} = 0,8$  Эрл

$N_{k\_PBX}$  – число пользовательских каналов в интерфейсе подключения УПАТС k, где k – номер УПАТС;

$У_{k\_PBX}$  – удельная нагрузка одного пользовательского канала интерфейса подключения УПАТС, в соответствии с заданием, будем считать, что  $У_{k\_PBX} = 0,8$  Эрл.

Используя вышеперечисленные переменные, можно рассчитать величины нагрузок, поступающих на шлюз от абонентов разного типа:

$Y_{ТфОП} = N_{ТфОП} \cdot у_{ТфОП} = 4096 \cdot 0.15 = 614.4$  Эрл – общая нагрузка, поступающая на шлюз от абонентов СТОП;

$Y_{ADSL} = N_{ADSL} \cdot у_{ADSL} = 384 \cdot 0.8 = 307.2$  Эрл – общая нагрузка, поступающая на шлюз от абонентов ADSL;

$Y_{PBX1} = N_{PBX1} \cdot у_{PBX1} = 130 \cdot 0.8 = 104$  Эрл – общая нагрузка, поступающая на шлюз от УПАТС;

$Y_{GW} = Y_{ТфОП} + Y_{ADSL} + Y_{PBX1} = 614.4 + 307.2 + 104 = 1025.6$  Эрл – нагрузка на шлюз.

Расчет исходящей нагрузки шлюзов

$Y_4' = 1025.6$  Эрл – нагрузка на входе шлюза RAGW4 от абонентов различных категорий;

$Y_4 = 0.9 \cdot 1025.6 = 922.5$  Эрл – нагрузка на коммутационное поле;

$Y_{4, \text{сп.сл}} = 922.5 \cdot 0.03 = 27.675$  Эрл – нагрузка к специальным службам;

$Y_{4,4} = Y_4 \cdot \eta / 100\%$  - внутростанционная нагрузка;

$$\eta_c = \left( \frac{N_4}{N_{\text{сети}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{4480}{17856} \right) \cdot 100\% = 25.02\% \Rightarrow \eta = 42.4\% \quad - \text{ коэффициент}$$

внутростанционного сообщения;

$$Y_{4,4} = 922.5 \cdot 42.4\% / 100\% = 391.14 \text{ Эрл}$$

$Y_{\text{ме}} = 0.003 \cdot 4480 = 13.44$  Эрл – нагрузка к АМТС;

$Y_{4, \text{исх}} = Y_4 - Y_{4, \text{сп.сл}} - Y_{4,4} - Y_{\text{ме}} = 922.5 - 27.67 - 391.14 - 13.44 = 490.25$  Эрл – исходящая нагрузка.

$Y_1^I = 1025.6 \cdot \frac{800}{4480} = 183.14$  Эрл – нагрузка на входе шлюза RAGW1 от абонентов различных категорий;

$Y_1 = 0.9 \cdot 183.14 = 164.82$  Эрл – нагрузка на коммутационное поле;

$Y_{1, \text{сп.сл}} = 164.82 \cdot 0.03 = 4.94$  Эрл – нагрузка к специальным службам;

$Y_{1,1} = Y_1 \cdot \eta / 100\%$  - внутростанционная нагрузка;

$$\eta_c = \left( \frac{N_1}{N_{\text{сети}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{800}{17856} \right) \cdot 100\% = 4.48\% \Rightarrow \eta = 20.2\%$$

$$Y_{1,1} = 164.82 \cdot 20.2\% / 100\% = 33.29 \text{ Эрл}$$

$Y_{\text{ме}} = 0.003 \cdot 800 = 2.4$  Эрл – нагрузка к АМТС;

$Y_{1, \text{исх}} = Y_1 - Y_{1, \text{сп.сл}} - Y_{1,1} - Y_{\text{ме}} = 164.82 - 4.94 - 33.29 - 2.4 = 124.19$  Эрл – исходящая нагрузка.

$Y_2^I = 1025.6 \cdot \frac{1296}{4480} = 296.5$  Эрл – нагрузка на входе шлюза RAGW2 от абонентов различных категорий;

$Y_2 = 0.9 \cdot 296.5 = 266.86$  Эрл – нагрузка на коммутационное поле;

$Y_{2, \text{сп.сл}} = 266.86 \cdot 0.03 = 8$  Эрл – нагрузка к специальным службам;

$Y_{2,2} = Y_2 \cdot \eta / 100\%$  – внутривысостанционная нагрузка;

$$\eta_c = \left( \frac{N_2}{N_{\text{сему}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{1296}{17856} \right) \cdot 100\% = 7.26\% \Rightarrow \eta = 23\%$$

$Y_{2,2} = 266.86 \cdot 23\% / 100\% = 61.37$  Эрл

$Y_{\text{ме}} = 0.003 \cdot 1296 = 3.88$  Эрл – нагрузка к АМТС;

$Y_{2, \text{исх}} = Y_2 - Y_{2, \text{сп.сл}} - Y_{2,2} - Y_{\text{ме}} = 266.86 - 8 - 61.37 - 3.88 = 193.61$  Эрл – исходящая нагрузка.

$Y_3^l = 1025.6 \cdot \frac{4352}{4480} = 996.29$  Эрл – нагрузка на входе шлюза RAGW3 от абонентов различных категорий;

$Y_3 = 0.9 \cdot 996.29 = 896.66$  Эрл – нагрузка на коммутационное поле;

$Y_{3, \text{сп.сл}} = 896.66 \cdot 0.03 = 26.9$  Эрл – нагрузка к специальным службам;

$Y_{3,3} = Y_3 \cdot \eta / 100\%$  – внутривысостанционная нагрузка;

$$\eta_c = \left( \frac{N_3}{N_{\text{сему}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{4352}{17856} \right) \cdot 100\% = 24.37\% \Rightarrow \eta = 35.0\%$$

$Y_{3,3} = 896.66 \cdot 35\% / 100\% = 313.83$  Эрл

$Y_{\text{ме}} = 0.003 \cdot 4352 = 13.05$  Эрл – нагрузка к АМТС;

$Y_{3, \text{исх}} = Y_3 - Y_{3, \text{сп.сл}} - Y_{3,3} - Y_{\text{ме}} = 896.66 - 26.9 - 313.83 - 13.05 = 515.97$  Эрл – исходящая нагрузка.

$Y_5^l = 1025.6 \cdot \frac{5568}{4480} = 1274.67$  Эрл – нагрузка на входе шлюза RAGW5 от абонентов различных категорий;

$Y_5 = 0.9 \cdot 1274.67 = 1147.2$  Эрл – нагрузка на коммутационное поле;

$$Y_{5, \text{cn. cl}} = 1147.2 \cdot 0.03 = 34.41 \text{ Эрл} - \text{нагрузка к специальным службам};$$

$$Y_{5,5} = Y_5 \cdot \eta / 100\% - \text{внутристанционная нагрузка};$$

$$\eta_c = \left( \frac{N_5}{N_{\text{сему}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{5568}{17856} \right) \cdot 100\% = 31.18\% \Rightarrow \eta = 75.0\%$$

$$Y_{5,5} = 1147.2 \cdot 75\% / 100\% = 860.4 \text{ Эрл}$$

$$Y_{5, \text{мэ}} = 0.003 \cdot 5568 = 16.70 \text{ Эрл} - \text{нагрузка к АМТС};$$

$$Y_{5, \text{исх}} = Y_5 - Y_{5, \text{cn. cl}} - Y_{5,5} - Y_{5, \text{мэ}} = 1147.2 - 34.41 - 860.4 - 16.7 = 235.68 \text{ Эрл} - \text{исходящая нагрузка}.$$

$$Y_6^l = 1025.6 \cdot \frac{992}{4480} = 227.09 \text{ Эрл} - \text{нагрузка на входе шлюза RAGW6 от абонентов различных категорий};$$

$$Y_6 = 0.9 \cdot 227.09 = 204.38 \text{ Эрл} - \text{нагрузка на коммутационное поле};$$

$$Y_{6, \text{cn. cl}} = 204.38 \cdot 0.03 = 6.13 \text{ Эрл} - \text{нагрузка к специальным службам};$$

$$Y_{6,6} = Y_6 \cdot \eta / 100\% - \text{внутристанционная нагрузка};$$

$$\eta_c = \left( \frac{N_6}{N_{\text{сему}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{992}{17856} \right) \cdot 100\% = 5.5\% \Rightarrow \eta = 20.7\%$$

$$Y_{6,6} = 204.38 \cdot 20.7\% / 100\% = 42.3 \text{ Эрл}$$

$$Y_{6, \text{мэ}} = 0.003 \cdot 992 = 2.97 \text{ Эрл} - \text{нагрузка к АМТС};$$

$$Y_{6, \text{исх}} = Y_6 - Y_{6, \text{cn. cl}} - Y_{6,6} - Y_{6, \text{мэ}} = 204.38 - 6.13 - 42.3 - 2.97 = 152.98 \text{ Эрл} - \text{исходящая нагрузка}.$$

$$Y_8^l = 1025.6 \cdot \frac{368}{4480} = 84.24 \text{ Эрл} - \text{нагрузка на входе шлюза RAGW8 от абонентов различных категорий};$$

$$Y_8 = 0.9 \cdot 84.24 = 75.82 \text{ Эрл} - \text{нагрузка на коммутационное поле};$$

$$Y_{8, \text{сп.сл}} = 75.82 \cdot 0.03 = 2.27 \text{ Эрл} - \text{нагрузка к специальным службам};$$

$$Y_{8,8} = Y_8 \cdot \eta / 100\% - \text{внутристанционная нагрузка};$$

$$\eta_c = \left( \frac{N_8}{N_{\text{сему}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{368}{17856} \right) \cdot 100\% = 2.06\% \Rightarrow \eta = 19\%$$

$$Y_{8,8} = 75.82 \cdot 19\% / 100\% = 14.4 \text{ Эрл}$$

$$Y_{\text{мэ}} = 0.003 \cdot 368 = 1.1 \text{ Эрл} - \text{нагрузка к АМТС};$$

$$Y_{8, \text{исх}} = Y_8 - Y_{8, \text{сп.сл}} - Y_{8,8} - Y_{8, \text{мэ}} = 75.82 - 2.27 - 14.4 - 1.1 = 58.05 \text{ Эрл} - \text{исходящая нагрузка}.$$

Расчет обмена потоками абонентской нагрузки между шлюзами

$$Y_{1-2} = Y_1 \cdot \frac{Y_2}{Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 124.19 \cdot \frac{193.61}{193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} = \frac{24044.42}{1646.54} = 14.6 \text{ Эрл} - \text{нагрузка от RAGW1 к RAGW2}$$

$$Y_{1-3} = Y_1 \cdot \frac{Y_3}{Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 124.19 \cdot \frac{515.97}{193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} = \frac{64078.31}{1646.54} = 38.91 \text{ Эрл} - \text{нагрузка от RAGW1 к RAGW3}$$

$$Y_{1-4} = Y_1 \cdot \frac{Y_4}{Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 124.19 \cdot \frac{490.25}{193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} = \frac{60884.14}{1646.54} = 36.97 \text{ Эрл} - \text{нагрузка от RAGW1 к RAGW4}$$

$$Y_{1-5} = Y_1 \cdot \frac{Y_5}{Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 124.19 \cdot \frac{235.68}{193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} = \frac{29269.09}{1646.54} = 17.77 \text{ Эрл} - \text{нагрузка от RAGW1 к RAGW5}$$

$$Y_{1-6} = Y_1 \cdot \frac{Y_6}{Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 124.19 \cdot \frac{152.98}{193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} = \frac{18998.58}{1646.54} = 11.54 \text{ Эрл} - \text{нагрузка от RAGW1 к RAGW6}$$

$$Y_{1-8} = Y_1 \cdot \frac{Y_8}{Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 124.19 \cdot \frac{58.05}{193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{7209.22}{1646.54} = 4.37 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW1 к RAGW8}$$

$$Y_{2-1} = Y_2 \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 193.61 \cdot \frac{124.19}{124.19 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{24044.42}{1577.12} = 15.24 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW 2к RAGW1}$$

$$Y_{2-3} = Y_2 \cdot \frac{Y_3}{Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 193.61 \cdot \frac{515.97}{124.19 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{99896.95}{1577.12} = 63.34 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW2 к RAGW3}$$

$$Y_{2-4} = Y_2 \cdot \frac{Y_4}{Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 193.61 \cdot \frac{490.25}{124.19 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{94917.30}{1577.12} = 60.18 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW2 к RAGW4}$$

$$Y_{2-5} = Y_2 \cdot \frac{Y_5}{Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 193.61 \cdot \frac{235.68}{124.19 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{45630}{1577.12} = 28.93 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW2 к RAGW5}$$

$$Y_{2-6} = Y_2 \cdot \frac{Y_6}{Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 193.61 \cdot \frac{152.98}{124.19 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{29618.45}{1577.12} = 18.78 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW2 к RAGW6}$$

$$Y_{2-8} = Y_2 \cdot \frac{Y_8}{Y_1 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 193.61 \cdot \frac{58.05}{124.19 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{11239.06}{1577.12} = 7.12 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW2 к RAGW8}$$

$$Y_{3-1} = Y_3 \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 515.97 \cdot \frac{124.19}{124.19 + 193.61 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{64078.31}{1254.76} = 51.06 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW3 к RAGW1}$$



$$Y_{3-2} = Y_3 \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 515.97 \cdot \frac{193.61}{124.19 + 193.61 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{99896.95}{1254.76} = 79.61 \text{ Эрл - нагрузка от RAGW3 к RAGW2}$$

$$Y_{3-4} = Y_3 \cdot \frac{Y_4}{Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 515.97 \cdot \frac{490.25}{124.19 + 193.61 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{252954.25}{1254.76} = 201.595 \text{ Эрл - нагрузка от RAGW3 к RAGW4}$$

$$Y_{3-5} = Y_3 \cdot \frac{Y_5}{Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 515.97 \cdot \frac{235.68}{124.19 + 193.61 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{121603.80}{1254.76} = 96.91 \text{ Эрл - нагрузка от RAGW3 к RAGW5}$$

$$Y_{3-6} = Y_3 \cdot \frac{Y_6}{Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 515.97 \cdot \frac{152.98}{124.19 + 193.61 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{78933.08}{1254.76} = 62.9 \text{ Эрл - нагрузка от RAGW3 к RAGW6}$$

$$Y_{3-8} = Y_3 \cdot \frac{Y_8}{Y_1 + Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 515.97 \cdot \frac{58.05}{124.19 + 193.61 + 490.25 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{29952.05}{1254.76} = 23.87 \text{ Эрл - нагрузка от RAGW3 к RAGW8}$$

$$Y_{4-1} = Y_4 \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 490.25 \cdot \frac{124.19}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{60884.14}{1279.45} = 47.5 \text{ Эрл - нагрузка от RAGW4 к RAGW1}$$

$$Y_{4-2} = Y_4 \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 490.25 \cdot \frac{193.61}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{94917.30}{1279.45} = 74.18 \text{ Эрл - нагрузка от RAGW4 к RAGW2}$$

$$Y_{4-3} = Y_4 \cdot \frac{Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 490.25 \cdot \frac{515.97}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{252954.25}{1279.45} = 197.7 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW4 к RAGW3}$$

$$Y_{4-5} = Y_4 \cdot \frac{Y_5}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 490.25 \cdot \frac{235.68}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{115542.12}{1279.45} = 90.33 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW4 к RAGW5}$$

$$Y_{4-6} = Y_4 \cdot \frac{Y_6}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 490.25 \cdot \frac{152.98}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{74998.45}{1279.45} = 58.61 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW4 к RAGW6}$$

$$Y_{4-8} = Y_4 \cdot \frac{Y_8}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_5 + Y_6 + Y_8} = 490.25 \cdot \frac{58.05}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 235.68 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{28459.01}{1279.45} = 22.68 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW4 к RAGW8}$$

$$Y_{5-1} = Y_5 \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8} = 235.68 \cdot \frac{124.19}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{29269.02}{1535.05} = 19.06 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW5 к RAGW1}$$

$$Y_{5-2} = Y_5 \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8} = 235.68 \cdot \frac{193.61}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{45630}{1535.05} = 29.72 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW5 к RAGW2}$$

$$Y_{5-3} = Y_5 \cdot \frac{Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8} = 235.68 \cdot \frac{515.97}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{121603.80}{1535.05} = 79.21 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW5 к RAGW3}$$

$$Y_{5-4} = Y_5 \cdot \frac{Y_4}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8} = 235.68 \cdot \frac{490.25}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{115542.12}{1535.05} = 75.26 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW5 к RAGW4}$$

$$Y_{5-6} = Y_5 \cdot \frac{Y_6}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8} = 235.68 \cdot \frac{152.98}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{36054.32}{1535.05} = 23.48 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW5 к RAGW6}$$

$$Y_{5-8} = Y_5 \cdot \frac{Y_8}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_6 + Y_8} = 235.68 \cdot \frac{58.05}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 152.98 + 58.05} =$$

$$= \frac{13681.22}{1535.05} = 8.91 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW5 к RAGW8}$$

$$Y_{6-1} = Y_6 \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_8} = 152.98 \cdot \frac{124.19}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 58.05} =$$

$$= \frac{18998.58}{1617.75} = 11.74 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW6 к RAGW1}$$

$$Y_{6-2} = Y_6 \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_8} = 152.98 \cdot \frac{193.61}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 58.05} =$$

$$= \frac{29618.45}{1617.75} = 18.31 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW6 к RAGW2}$$

$$Y_{6-3} = Y_6 \cdot \frac{Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_8} = 152.98 \cdot \frac{515.97}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 58.05} =$$

$$= \frac{78933.09}{1617.75} = 48.79 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW6 к RAGW3}$$

$$Y_{6-4} = Y_6 \cdot \frac{Y_4}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_8} = 152.98 \cdot \frac{490.25}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 58.05} =$$

$$= \frac{74998.44}{1617.75} = 46.35 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW6 к RAGW4}$$

$$Y_{6-5} = Y_6 \cdot \frac{Y_5}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_8} = 152.98 \cdot \frac{235.68}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 58.05} =$$

$$= \frac{36054.32}{1617.75} = 22.28 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW6 к RAGW5}$$

$$Y_{6-8} = Y_6 \cdot \frac{Y_8}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_8} = 152.98 \cdot \frac{58.05}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 58.05} =$$

$$= \frac{8880.49}{1617.75} = 5.48 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW6 к RAGW8}$$

$$Y_{8-1} = Y_8 \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6} = 58.05 \cdot \frac{124.19}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98} =$$

$$= \frac{7209.22}{1712.68} = 4.21 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW8 к RAGW1}$$

$$Y_{8-2} = Y_8 \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6} = 58.05 \cdot \frac{193.61}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98} =$$

$$= \frac{11239.06}{1712.68} = 6.56 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW8 к RAGW2}$$

$$Y_{8-3} = Y_8 \cdot \frac{Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6} = 58.05 \cdot \frac{515.97}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98} =$$

$$= \frac{29952.05}{1712.68} = 17.48 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW8 к RAGW3}$$

$$Y_{8-4} = Y_8 \cdot \frac{Y_4}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6} = 58.05 \cdot \frac{490.25}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98} =$$

$$= \frac{28459.01}{1712.68} = 16.61 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW8 к RAGW4}$$

$$Y_{8-5} = Y_8 \cdot \frac{Y_5}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6} = 58.05 \cdot \frac{235.68}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98} =$$

$$= \frac{13681.22}{1712.68} = 7.9 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW8 к RAGW5}$$

$$Y_{8-6} = Y_8 \cdot \frac{Y_6}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6} = 58.05 \cdot \frac{152.98}{124.19 + 193.61 + 515.97 + 490.25 + 235.68 + 152.98} =$$

$$= \frac{8880.49}{1712.68} = 5.18 \text{ Эрл – нагрузка от RAGW8 к RAGW6}$$

Результаты расчета сведены в таблице 5.3.

Т а б л и ц а 5.3 – Обмен потоками абонентской нагрузки

	RAGW1	RAGW2	RAGW3	RAGW4	RAGW5	RAGW6	RAGW8
RAGW1	33.29	14.6	38.91	36.97	17.77	11.54	4.37
RAGW2	15.24	61.37	63.34	60.18	28.93	18.78	7.12
RAGW3	51.06	79.61	313.831	201.59	96.91	62.9	23.87
RAGW4	47.5	74.18	197.7	391.14	90.3	58.61	22.68
RAGW5	19.06	29.72	79.21	75.26	860.4	23.48	8.91
RAGW6	11.74	18.31	48.79	46.35	22.28	42.3	5.48
RAGW8	4.21	6.56	17.48	16.61	7.97	5.18	14.4

Проверяем правильность расчета:

$$Y_1 = Y_{1-2} + Y_{1-3} + Y_{1-4} + Y_{1-5} + Y_{1-6} + Y_{1-7}$$
$$124,19 = 14,6 + 38,91 + 36,97 + 17,77 + 11,54 + 4,37 = 124,19$$

Таким образом, расчет обмена потоками абонентской нагрузки проведен правильно, так как исходящая нагрузка каждого шлюза равна суммарному потоку абонентской нагрузки на данном шлюзе [19].

### 5.3 Расчёт производительности узла доступа

Расчёт производительности узла доступа для новых групп пользователей необходимо проводить с учётом «старых» групп, использующих из всего спектра предоставляемых услуг только телефонию. Кроме того, необходимо учесть ту часть пользователей, которая, кроме телефонной связи, пользуется услугами передачи данных. Количество таких абонентов в процентном соотношении значительно меньше количества «традиционных» пользователей, однако больше числа «продвинутых» абонентов, заказывающих услуги видеоконференций, VoD и т.п [20].

Доля абонентов группы 1 составляет  $\pi_1 \approx 80\%$ . Это традиционные абоненты, совершающие в среднем  $f_1 = 5$  вызовов в час средней длительностью  $t_1 = 2$  минуты.

Доля абонентов группы 2, использующих голосовые сервисы и сервисы передачи данных, составляет  $\pi_2 \approx 15\%$ . Нагрузка, создаваемая этими абонентами, складывается из двух составляющих: телефония и интернет. Параметры телефонной нагрузки совпадают с аналогичными параметрами для группы 1,  $f_2 = f_1 = 5$  вызовов в час,  $t_2 = t_1 = 2$  минуты. Объём переданных данных в час наибольшей нагрузки ограничивается 10 Мбайт.

Доля абонентов группы 3, приносящих наибольший удельный доход, составляет  $\pi_3 \approx 5\%$ . Структура трафика для этих пользователей складывается следующим образом: телефония, интернет, видео. Параметры трафика телефонии совпадают с аналогичными параметрами для группы 2, т.е.  $f_3 = f_2 = f_1 = 5$  вызовов в час,  $t_3 = t_2 = t_1 = 2$  минуты. При расчёте трафика передачи данных необходимо учесть, что пользователи этой группы, как правило, активнее используют ftp и пиринговые сети. Допустим, что они потребляют до 100 Мбайт трафика. Время просмотра видео в час наибольшей нагрузки достигает 60 минут.

Определим число IP-пакетов, генерируемых каждой группой в час наибольшей нагрузки, при условии, что мультисервисный узел доступа обслуживает  $N = 4000$  абонентов.

Расчёт числа пакетов от первой группы (телефония)

Для расчёта числа пакетов, которые создает оборудование пользователя телефонии, необходимо задаться типом используемого кодека. На сегодняшний день в сетях IP-телефонии реально используются кодеки G.711a, G.711u, G.729,

G.726-32, G.723m, G723a. Параметры перечисленных кодеков, представлены в таблице 5.4. Ими являются скорость передачи данных, длительность датаграммы (пакета), время задержки сигнала, полоса пропускания в режиме дуплекса, задержка в джиттер-буфере, теоретическая максимальная оценка MOS. Сравнение технических параметров позволяет определить, при каком кодеке в сети NGN передача сигнала будет осуществляться с наилучшим качеством QoS.

Таблица 5. **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**  
– Параметры кодеков.

Кодек	Скорость передачи, кБит/с	Длительность датаграммы, мс	Задержка пакетизации, мс	Полоса пропускания для двунаправленного соединения, кГц	Задержка в джиттер-буфере	Теоретическая максимальная оценка MOS
G.711u	64	20	1	174,4	2датаграммы, 40 мс	4,4
G.711a	64	20	1	174,4	2датаграммы, 40 мс	4,4
G.726-32	32	20	1	110,4	2датаграммы 40 мс	4,22
G.729	8	20	25	62,4	2датаграммы, 40 мс	4,07
G.723m	6,3	30	67,5	43,73	2датаграммы, 60 мс	3,87
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	2датаграммы, 60 мс	3,69

Исходя из таблицы видно, что лучшее качество речи обеспечивает кодек G.711. Длительность дейтаграммы  $T_{PDU}$  равна 20 мс, согласно рекомендации RFC 1889. При этом в секунду передаётся

$$n_1 = 1 / T_{PDU} \quad (5.1)$$

кадров.

$$n_1 = 1/0,02 = 50 \text{ (кадров в секунду)}$$

Размер пакетизированных данных

$$h = v \cdot T_{\text{PDU}} \quad (5.2)$$

где

$v$  – скорость кодирования, байт/с;

$h$  – размер пакетизированных данных;

$T_{\text{PDU}}$  – длительность одной речевой выборки (длительность пакета).

При использовании кодека G.711 скорость кодирования

$$v = 64000/8 = 8000 \text{ (байт/с)}$$

$$h = 8000 \cdot 0,020 = 160 \text{ (байт)}$$

Для определения размера пакета необходимо учесть заголовки:

- Ip – 20 байт;
- UDP – 8 байт;
- RTP – 12 байт.

Суммарный размер пакета –  $160 + 20 + 8 + 12 = 200$  байт.

Для определения числа пакетов, генерируемых первой группой абонентов, необходимо учесть их долю в общей структуре пользователей, количество вызовов в час наибольшей нагрузки, среднюю длительность разговора [21].

$$N_1 = n_1 \cdot t_1 \cdot f_1 \cdot \pi_1 \cdot N \quad (5.3)$$

где:

$N_1$  – число пакетов, генерируемое первой группой пользователей в час наибольшей нагрузки;

$n_1$  – число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом при использовании кодека G.711;

$t_1$  – средняя длительность разговора в секундах для первой группы абонентов;

$f_1$  – число вызовов в час наибольшей нагрузки для первой группы абонентов;

$\pi_1$  – доля пользователей группы 1 в общей структуре абонентов;

$N$  – общее число пользователей.

Расчёт числа пакетов от второй группы (телефония и интернет).

Расчеты для первой группы абонентов можно применить и ко второй группе для расчёта числа пакетов, которые возникают при использовании голосовыми сервисами. Разница будет в индексах.

$$N_{2\_г} = n_1 \cdot t_2 \cdot f_2 \cdot \pi_2 \cdot N \quad (5.4.)$$

где:

$N_{2\_г}$  – число пакетов, генерируемое второй группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании голосовых сервисов;

$n_1$  – число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом при использовании кодека G.711;

$t_2$  – средняя длительность разговора в секундах для второй группы абонентов;

$f_2$  – число вызовов в час наибольшей нагрузки для второй группы абонентов;

$\pi_2$  – доля пользователей группы 2 в общей структуре абонентов;

$N$  – общее число пользователей.

Корпоративные пользователи устанавливают на пограничных узлах своей сети файрвол, способный ограничивать максимальный размер кадра. Поэтому для расчёта выберем одинаковые размеры пакетов и при передаче данных, и при передаче голосового трафика – полезная нагрузка 160 байт. При передаче данных вместо протоколов RTP и UDP используется TCP, вносящий точно такую же избыточность (20 байт).

Для расчёта числа пакетов в час наибольшей нагрузки необходимо задаться объёмом переданных данных. Предположим, что абоненты второй группы относятся к интернет-сёрферам, т.е. в основном просматривают веб-страницы. Средний объём данных, переданных за час при таком способе подключения, составит около  $V_2 = 10$  Мбайт = 80 Мбит. Число пакетов, переданных в ЧНН, будет равно

$$N_{2\_д} = \pi_2 \cdot N \cdot V_2/h \quad (5.5)$$

где

$N_{2\_д}$  – количество пакетов, генерируемых в час наибольшей нагрузки абонентами второй группы при использовании сервисов передачи данных;

$\pi_2$  – доля пользователей группы 2 в общей структуре абонентов;

$h$  – размер поля данных пакета;

$N$  – общее число пользователей.

Суммарное число пакетов, генерируемых второй группой пользователей в сеть в час наибольшей нагрузке, будет равно

$$N_2 = N_{2\_т} + N_{2\_д} \quad (5.6)$$

Расчёт числа пакетов от третьей группы абонентов (triple play)

Все рассуждения, проведённые относительно первых двух групп, остаются в силе и для третьей группы, применительно к сервисам передачи голоса, а именно:

$$N_{3\_т} = n_1 \cdot t_{3\_т} \cdot f_3 \cdot \pi_3 \cdot N \quad (5.7)$$

где:

$N_{3\_т}$  – число пакетов, генерируемое третьей группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании голосовых сервисов;



$n_1$  – число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом при использовании кодека G.711;

$t_3$  – средняя длительность разговора в секундах;

$f_3$  – число вызовов в час наибольшей нагрузки;

$\pi_3$  – доля пользователей группы 3 в общей структуре абонентов;

$N$  – общее число пользователей.

Предположим, что абоненты третьей группы относятся к «активным» пользователям интернета, т.е., используют не только http, но и ftp, а также прибегают к услугам пиринговых сетей. Объём переданных и принятых данных при таком использовании интернета составляет до  $V_3 = 100$  Мбайт = 800 Мбит.

Число пакетов, переданных в ЧНН, будет равно

$$N_{3\_д} = \pi_3 \cdot N \cdot V_3/h \quad (5.8)$$

Для расчёта числа пакетов, генерируемых пользователями видео-услуг, воспользуемся соображениями относительно размера пакета, приведёнными в предыдущем пункте. Размер пакета не должен превосходить 200 байт (вместе с накладными расходами) [22].

Одной из наиболее перспективных и динамически развивающихся услуг является IPTV – передача каналов телевидения с помощью протокола IP. При организации данного сервиса для каждого пользователя в транзитной сети доступа не требуется выделения индивидуальной полосы пропускания. До мультисервисного узла доходит определённое количество каналов, которые распределяются между заказчиками услуги, причём существует возможность организации широковещательной рассылки. Допустим, что в мультисервисной сети предоставляется возможность просмотра  $K_{tv} = 40$  каналов вещания. Для обеспечения удовлетворительного качества скорость кодирования должна быть порядка 2 Мбит/с.

Итак, при скорости передачи  $v = 2048000$  бит/с и размере полезной нагрузки пакета  $h = 160$  байт = 1280 бит число пакетов, возникающих при трансляции одного канала, равно:

$$n_3 = v/h \quad (5.9)$$

$$n_3 = 2048000/1280 = 1600 \text{ (пакетов в секунду)}$$

Количество пакетов, генерируемых 40 каналами в ЧНН, составит

$$N_{3\_в} = K_{tv} \cdot n_3 \cdot t_{3\_в} \cdot 60 \quad (5.10)$$

Где:

$N_{3\_B}$  – число пакетов, генерируемое третьей группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании видео-сервисов сервисов;

$n_3$  – число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом при использовании просмотре видео, сжатого по стандарту MPEG2;

$K\_tv$  – число каналов вещания, организуемых в мультисервисной сети.

$t_{3\_B}$  – среднее время просмотра каналов в ЧНН, мин.

Суммарное число пакетов, генерируемых третьей группой пользователей в сеть в час наибольшей нагрузке, будет равно

$$N_3 = N_{3\_T} + N_{3\_д} + N_{3\_B} \quad (5.11)$$

Мультисервисный узел доступа должен обслуживать трафик от всех трёх групп пользователей. Кроме того, именно узел доступа должен обеспечить поддержку качества обслуживания путем приоритезации трафика, которая должна осуществляться независимо от используемой технологии транспортной сети доступа.

Суммарное число пакетов, которое должен обработать мультисервисный узел доступа, будет равно:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + N_3 = n_1 \cdot t_1 \cdot f_1 \cdot \pi_1 \cdot N + (n_1 \cdot t_2 \cdot f_2 \cdot \pi_2 \cdot N + \pi_2 \cdot N \cdot V_2/h) + (n_1 \cdot t_3 \cdot f_3 \cdot \pi_3 \cdot N + \pi_3 \cdot N \cdot V_3/h + K\_tv \cdot n_3 \cdot t_{3\_B} \cdot 60) \quad (5.11)$$

Учитывая, что:

$t_1 = t_2 = t_3 = t$  – средняя длительность разговора в секундах;

$f_3 = f_2 = f_1 = f$  – число вызовов в ЧНН;

Получим

$$N_{\Sigma} = n_1 \cdot t \cdot f \cdot N \cdot (\pi_1 + \pi_2 + \pi_3) + N/h \cdot (\pi_2 \cdot V_2 + \pi_3 \cdot V_3) + K\_tv \cdot n_3 \cdot t_{3\_B} \cdot 60 \quad (5.12.)$$

Учитывая, что  $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1$ , получим

$$N_{\Sigma} = N \cdot (n_1 \cdot t \cdot f + (\pi_2 \cdot V_2 + \pi_3 \cdot V_3)/h) + K\_tv \cdot n_3 \cdot t_{3\_B} \cdot 60 \quad (5.13)$$

При  $N = 4000$  абонентов,

$n_1 = 50$  пакетов в секунду,

$t = 120$  секунд,

$f = 5$  вызовов в час,

$V_2 = 10$  Мбайт,

$$V_3 = 100 \text{ Мбайт,}$$

$$t_{3\_B} = 60 \text{ минут,}$$

$$n_3 = 1600,$$

$$\pi_1 = 80\%,$$

$$\pi_2 = 15\%,$$

$$\pi_3 = 5\% \text{ получим:}$$

$$N_{\Sigma} = 4000 \cdot (50 \cdot 120 \cdot 5 + (0,15 \cdot 10^7 + 0,05 \cdot 10^8) / 160) + 40 \cdot 1600 \cdot 60 \cdot 60 = 5,129 \cdot 10^8 \text{ (пакетов в час)} \quad (5.14)$$

Среднее число пакетов в секунду равно

$$N_{\Sigma\_сек} = N_{\Sigma} / 3600$$

$$N_{\Sigma\_сек} = 142472 \text{ (пакетов/сек).}$$

Расчетные данные соответствуют полученному значению нижнего предела производительности равному 126 887,5 выз\ЧНН и производительности коммутатора при наличии 7 шлюзов равной 140000 выз\ ЧНН

Данный показатель позволяет оценить требования к производительности маршрутизатора, агрегирующего трафик мультисервисной сети доступа NGN.

## **6 Экспериментальная часть. Исследование зависимости качества передаваемого сигнала от построения сети NGN**

Сети нового (следующего) поколения (Next Generation Network – NGN) служат для передачи всех видов трафика по единой сети связи в цифровой форме. Одной из важных проблем, связанной с унификацией сетевых решений, является обеспечение качества обслуживания (QoS) для каждой услуги. Одним из условий этого является поддержание времени задержки в пределах нормы (согласно рекомендациям G.1010 150 – 400 мс) [23].

В рекомендации ITU Y.1540 [2] определены сетевые характеристики, как наиболее важные с точки зрения степени их влияния на сквозное качество обслуживания (от источника до получателя):

- пропускная способность;
- надежность сети/сетевых элементов;
- задержка (мс) и джиттер задержки;
- величина потерь (%);
- живучесть сети – возможность сохранения работоспособности сети при выходе из строя отдельных элементов.

Пропускная способность сети (или скорость передачи данных) определяется как эффективная скорость передачи, измеряемая в битах в секунду.

Задержка доставки пакета IPTD (IP packet transfer delay) определяется как время доставки пакета от источника к получателю для всех пакетов. Средняя задержка доставки пакета IP определяется как среднее арифметическое задержек пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов.

Для проведения эксперимента построена модель сети передачи данных с различным количеством устройств коммутации (УКС) при помощи программы «PacketTracer 4.11» (см. рисунок 1), а с помощью программы ««CommView»» собраны статистические данные по генерированию пакетов и построены графики по полученным результатам [24], [25]. Программа ««CommView»» предназначена для генерации IP трафика и анализа пропускной способности (см. приложение 1).

Исследована зависимость времени задержки пакета от количества УКС при разной интенсивности генерирования пакетов, при разной длине пакета, при разной пропускной способности канала и сделаны соответствующие выводы о качестве связи сетей NGN [26]. Результаты измерений представлены в таблицах 6.1 – 6.6 и на рисунках 6.2 – 6.4.

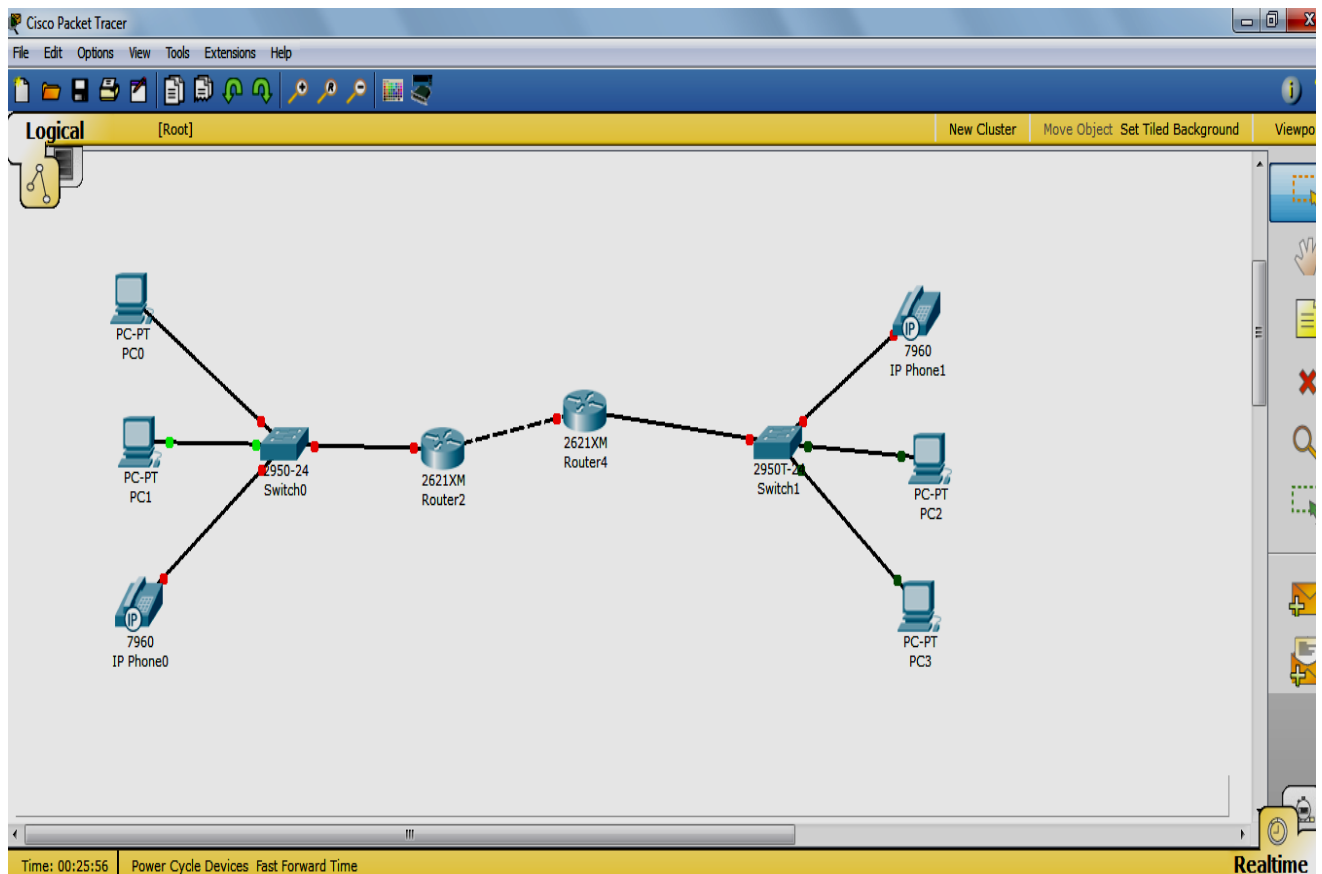


Рисунок 6.1 – Модель исследуемой телекоммуникационной сети с двумя УКС, построенная в программе PacketTracer 4.11

Таблица 6.1 – Статистические данные измерений времени задержки при различной интенсивности генерации пакетов

Интенсивность генерации пакета	Кол-во УКС	1	2	3	5	10
10 пак/с	Время задержки пакета, сек.	0,2671	0,2675	0,2677	0,2683	0,2689
		0,2641	0,2645	0,2647	0,2652	0,266
		0,2611	0,2615	0,2617	0,2622	0,2629
30 пак/с	Время задержки пакета, сек.	0,2671	0,2684	0,2698	0,2709	0,272
		0,2641	0,2654	0,2668	0,2679	0,269
		0,2611	0,2624	0,2638	0,2649	0,2661
50 пак/с	Время задержки пакета, сек	0,2671	0,2701	0,2719	0,274	0,2759
		0,2641	0,2671	0,2689	0,273	0,2729
		0,2611	0,2641	0,2659	0,268	0,2699

Таблица 6.2 – Среднее значение времени задержки при различной интенсивности генерации пакетов

Интенсивность генерации пакета	Кол-во УКС	1	2	3	5	10
10 пак/с	Время задержки пакета, сек.	0,2641	0,2645	0,2647	0,2652	0,2659
30 пак/с		0,2641	0,2654	0,2668	0,2679	0,2690
50 пак/с		0,2641	0,2671	0,2689	0,2717	0,2729

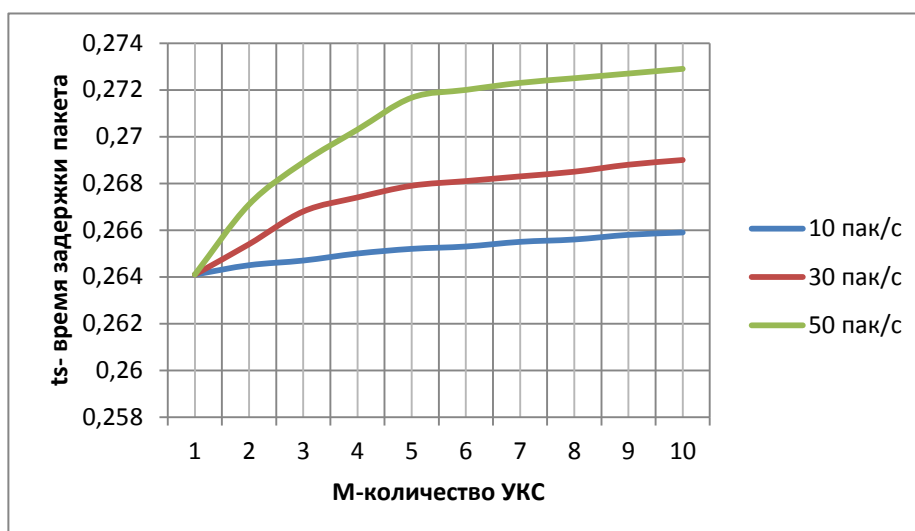


Рисунок 6.2 – Зависимость времени задержки пакета от количества УКС при разной интенсивности генерирования пакетов ( $T_s$  – время задержки пакета, секунды;  $M$  – количество УКС пропускной способности канала 128 Кбит/с и длине пакета 1000 бит)

Таблица 6.3 – Статистические данные измерений времени задержки при различной пропускной способности канала связи

Пропускная способность	Кол-во УКС	1	2	3	5	10
256 Кбит/с	Время задержки пакета, сек.	0,265	0,2655	0,266	0,2669	0,2684
		0,259	0,2625	0,263	0,2639	0,2654
		0,262	0,2595	0,26	0,2609	0,2624
160 Кбит/с	Время задержки пакета, сек.	0,266	0,268	0,269	0,2709	0,2724
		0,26	0,265	0,266	0,2679	0,2694
		0,263	0,262	0,263	0,2649	0,2664
128 Кбит/с	Время задержки пакета, сек.	0,2671	0,27	0,2719	0,274	0,2769
		0,2611	0,267	0,2689	0,271	0,2739
		0,2641	0,264	0,2686	0,268	0,2709

Таблица 6.4 – Среднее значение времени задержки при различной пропускной способности канала связи

Пропускная способность	Кол-во УКС	1	2	3	5	10
256 Кбит/с	Время задержки пакета, сек.	0,262	0,2625 с	0,263	0,2639	0,2654 с
160 Кбит/с		0,263	0,265 с	0,266	0,2679	0,2694 с
128 Кбит/с		0,2641	0,2670 с	0,2689	0,271	0,2739 с

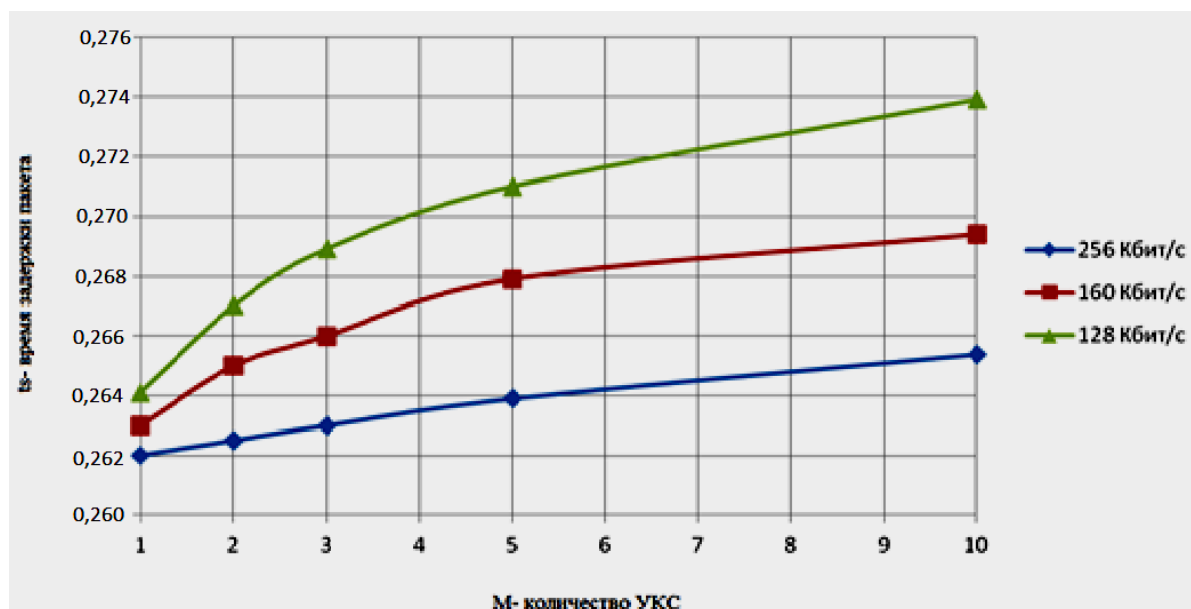


Рисунок 6.3 – Зависимость времени задержки пакета от количества УКС при разной пропускной способности канала ( $T_s$  – время задержки пакета, сек.;  $M$  – количество УКС при интенсивности генерирования пакетов равной 50 пак./с и длине пакета 1000 бит)

Таблица 6.5 – Статистические данные, полученные в ходе наблюдении при разной длине пакета

Длина пакета	Кол-во УКС	1	2	3	5	10
1000 бит	Время задержки пакета, сек.	0,263	0,293	0,313	0,344	0,373
		0,26	0,29	0,31	0,341	0,37
		0,257	0,287	0,307	0,338	0,367
750 бит	Время задержки пакета, сек.	0,261	0,265	0,273	0,283	0,29
		0,258	0,262	0,27	0,28	0,287
		0,255	0,259	0,267	0,277	0,284
500 бит	Время задержки пакета, сек	0,26	0,262	0,263	0,265	0,273
		0,257	0,259	0,26	0,262	0,27
		0,254	0,256	0,257	0,259	0,267

Таблица 6.6 – Среднее значение времени задержки при разной длине пакета

Длина пакета	Кол-во УКС	1	2	3	5	10
1000 бит	Время задержки пакета	0,26 с	0,29 с	0,31 с	0,341 с	0,37 с
750 бит		0,258 с	0,262 с	0,27 с	0,28 с	0,287 с
500 бит		0,257 с	0,259 с	0,26 с	0,262 с	0,27 с

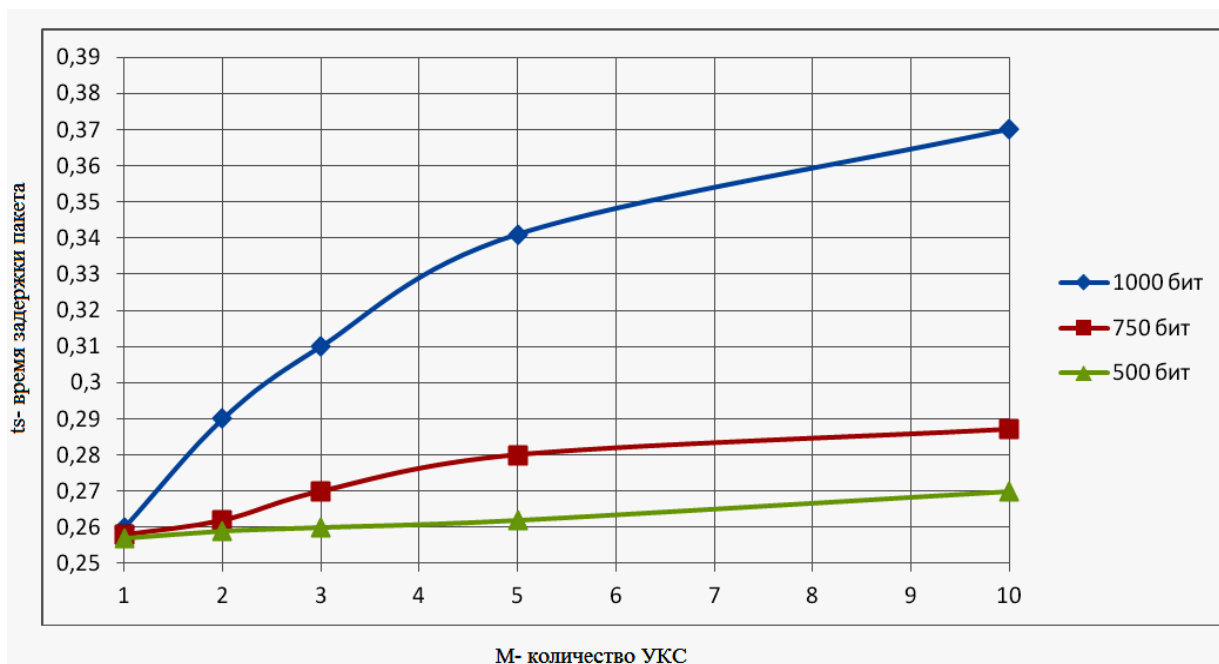


Рисунок 6.4 – Зависимость времени задержки пакета от количества УКС при разной длине пакета (Ts – время задержки пакета, сек.; M – количество УКС пропускной способности канала 128 Кбит/с)

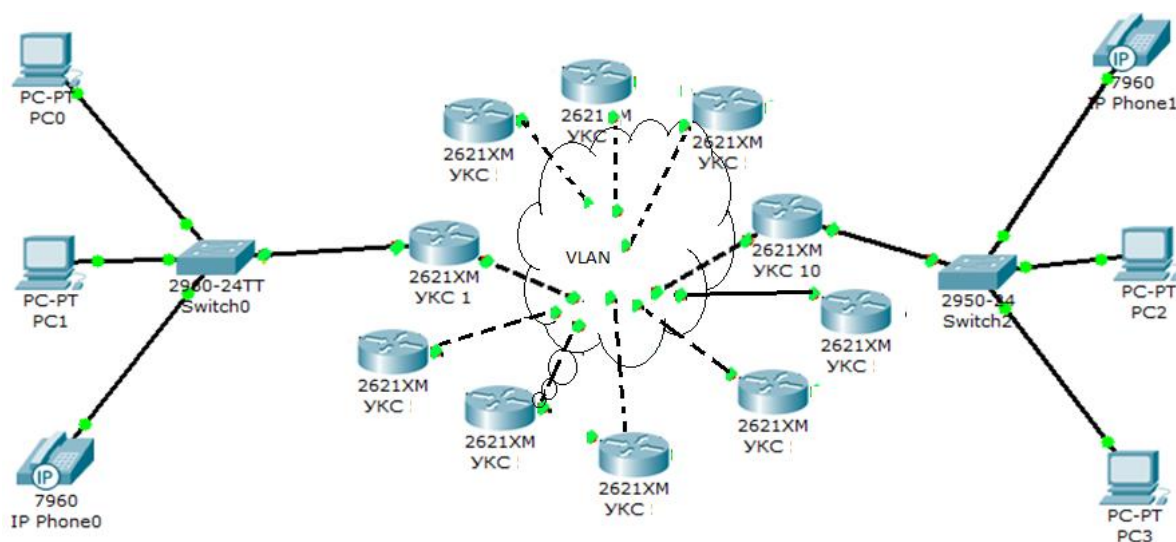


Рисунок 6.5 – Модель исследуемой телекоммуникационной сети с 10 УКС



Чем больше скорость передачи сигнала, число и длина пакетов передаваемой информации, тем шире спектр передаваемого сигнала. При этом в спектре увеличиваются число высокочастотных составляющих, которые получают большую задержку, чем низкочастотные. Этим и объясняется возрастание кривых, показывающих зависимость времени задержки от числа и длины пакетов. При увеличении пропускной способности время задержки уменьшается.

Результаты эксперимента показывают, что при разном количестве и длине пакетов, различной пропускной способности канала связи и числа узлов коммутации время задержки остается в пределах нормы, что говорит о хорошем качестве связи сети NGN.

## **Заключение**

Сети нового поколения NGN играют важную роль в развитии телекоммуникаций, поэтому исследование влияние схемы построения на качество передаваемого сигнала имеет большое значение. В представленной магистерской диссертации приводится теоретический материал, поясняющий особенности построения схемы сети NGN, технологии обработки сигналов при передаче в разветвленной схеме и параметры, характеризующие качество обслуживания QoS, при интеграции услуг сети NGN. В расчетной части приводится расчет параметров гибкого коммутатора и шлюзов разветвленной сложной сети NGN. Для проведения эксперимента применялось две программы: PacketTracer 4.11 (для построения виртуальной схемы NGN с разным числом устройств коммутации) и CommView (для снятия зависимости времени задержки от числа УКС при разных объемах трафика, скорости передачи и полосе пропускания). Проведенные измерения показали, что время задержки остается в пределах нормы (согласно рекомендациям G.1010) даже при самой сложной схеме, при большом объеме трафика, при высокой скорости передачи и низкой пропускной способности. Таким образом, качество передаваемого сигнала в сети NGN соответствует требованиям QoS.

## Список сокращений

### Русскоязычные сокращения

МСС – Мультисервисные сети связи  
МСЭ – Международный союз электросвязи  
ПНН – Период времени наибольшей нагрузки  
СДОП – Сеть передачи данных общего пользования  
СеМО – Сеть массового обслуживания  
СМО – Система массового обслуживания  
СТОП – Телефонная сеть общего пользования  
ТТ – Теория телетрафика  
ТМО – Теория массового обслуживания  
ЦСИС – Цифровая сеть с интеграцией служб  
ЧНН – Часы наибольшей нагрузки  
ШПД – Широкополосный доступ  
ШПП – Ширина полосы пропускания

### Англоязычные сокращения

ADSL -  
ATM – Asynchronous Transfer Mode  
BER – Bit-Error Rate  
BGMP – Border Gateway Multicast Protocol  
CRD – Connection Release Delay  
CRS – Common Reference Signal  
CS – Circuit Switched  
CSD – Connection Set-up Delay  
DCS – Digital Cellular System  
DS – Differential Service  
eNB – evolved Node B  
ETSI – European Telecommunications Standards Institute  
FDD – Frequency Division Duplex  
FFR – Fractional Frequency Reuse  
FR – Full-Rate  
FRAMES – Future Radio Wideband Multiple Access System  
GBR – Guaranteed Bit Rate  
HR – Half-Rate  
IGMP – Internet Group Management Protocol  
IPER – IP packet error ratio  
IPLR – IP packet loss ratio  
IPTD – IP packet transfer delay  
IPTV – Internet Protocol Television  
IS – Interim Standard  
ISDN – Integrate Services Digital Network

IP – Internet Protocol  
MBR – Maximum Bit Rate  
MP – Measurement point  
MPLS – Multiprotocol Label Switching  
NGN – Next Generation Network  
NP – Network Performance  
NSIS – Next Step in Signalling  
OSA – Open Service Access  
P2P – Peer-to-Peer  
PCRF – Policy and Charging Rules Function  
PDC – Personal Digital Cellular  
PDU – Protocol Data Unit  
PHS – Personal Handyphone System  
PNNI – Private Network to Network Interface  
PS – Packet Switched  
QoS – Quality of Service  
RAB – Radio Access Bearer  
RACE – Research in Advanced Communications in Europe  
RTP – Real-time Transport Protocol  
SIP – Session Initiation Protocol  
SMS – Short Message Service  
SNMP – Simple Network Management Protocol  
SON – Self Organizing Network  
TCP – Transmission Control Protocol  
VoIP – Voice over IP  
Wi-Fi – Wireless Fidelity  
WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access  
WLAN – Wireless Local Area Network

## Приложение

### Рабочее окно программы «CommView»

The screenshot shows the CommView software interface. At the top, there is a menu bar with options: Файл, Поиск, Вид, Инструменты, Настройка, Правила, Справка. Below the menu is a toolbar with various icons for network management. The main window displays a table titled 'Текущие IP-соединения' (Current IP connections). The table has seven columns: Протокол (Protocol), MAC источ. (MAC source), MAC назн. (MAC destination), Порт источн. (Source port), Порт назн. (Destination port), Интервал (Interval), and Размер (Size). The table contains 30 rows of data, including IP/TCP connections and ARP requests/responses.

Протокол	MAC источ.	MAC назн.	Порт источн.	Порт назн.	Интервал	Размер
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52039	5222	0,009893	272
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	5222	52039	0,115201	60
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	5222	52039	3,461482	1506
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	5222	52039	0,002804	1506
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52039	5222	0,000071	54
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	5222	52039	0,002930	1506
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	5222	52039	0,111634	380
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52039	5222	0,000153	54
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52236	http	0,008176	66
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	http	52236	0,084818	66
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52236	http	0,000219	54
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52236	http	0,000843	160
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	http	52236	0,086949	60
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	http	52236	0,002472	345
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52236	http	0,002191	54
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	http	52236	0,082318	60
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	52236	http	0,001757	54
ARP REQ	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	N/A	N/A	1,022658	60
ARP RESP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	N/A	N/A	0,000053	42
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	51462	2041	10,767679	176
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	2041	51462	0,076669	60
IP/TCP	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	51462	2041	29,923445	176
IP/TCP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	2041	51462	0,075300	60
ARP REQ	F0:BF:97:59:BB:8F	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	N/A	N/A	4,831558	42
ARP RESP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	N/A	N/A	0,000451	60
ARP REQ	F0:BF:97:59:BB:8F	Broadcast	N/A	N/A	1,758094	42
ARP RESP	Tp-LinkTec:F6:1B:FF	F0:BF:97:59:BB:8F	N/A	N/A	0,000739	60

## Список литературы

- 1 Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации. – Эко-Трендз, 2008 г.
- 2 Соколов Н.А. Процессы конвергенции интеграции и консолидации в современной телекоммуникационной системе. – «Connect! Мир связи», октябрь 2007.
- 3 Б.С. Гольдштейн. Системы коммутации. – СПб, «БХВ-Санкт-Петербург», 2003.
- 4 Гольдштейн Б. С., Гойхман В. Ю., Столповская Ю. В. Сети NGN. Оборудование IMS: учебное пособие. Издательство «ТЕЛЕДОМ» ГОУВПО СПбГУТ, 2010
- 5 Битнер В.И., Михайлова Ц. Ц. Сети нового поколения – NGN. Учебное пособие для вузов. М – Горячая линия – Телеком, 2011, 226 с.
- 6 Architecting Next-Generation Networks. Produced Exclusively for Broadcom by realtimepublishers.com, 2012, 190 p.
- 7 <http://www.atsinform.narod.ru/theory/NGN/Ngn1.html>
- 8 В. Ю. Бородакий. Модели для анализа качества обслуживания в сетях связи следующего поколения. Учебно-методический комплекс. М. , «СИСТЕМПРОМ», 2013, 190 с.
- 9 Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи NGN. БХВ-Петербург, 2010, 160 с.
- 10 Башарин Г.П., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е., Яркина Н.В. Модели для анализа качества обслуживания в сетях связи следующего поколения (Уч. пособие). М.: Изд-во РУДН, 2008. – 137 с.: ил.
- 11 Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ — Санкт-Петербург, 2005. — 304 с.
- 12 Башарин Г. П., Гайдамака Ю. В., Самуйлов К. Е. Яркина Н. В. Управление качеством и вероятностные модели функционирования сетей связи следующего поколения. Учебное пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 157 с.: ил.
- 13 [http://www.ixbt.com/editorial/comstar-ngn\\_052003.shtml](http://www.ixbt.com/editorial/comstar-ngn_052003.shtml)
- 14 Летников А.И., Пшеничников А.П., Гайдамака Ю.В., Чукарин А.В. Системы сигнализации сетей коммутации каналов и коммутации пакетов: Уч. пособие для вузов. – М.: Изд-во МТУСИ, 2008. – 195 с.: ил.
- 15 Гольдштейн Б.С., Гольдштейн А.С. SoftSwitch. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург. - 2006. - 368 с.: ил.
- 16 <http://www.connect.ru/article.aspx?id=7713> NGN: на пути к реальной конвергенции. Алексей Шалюхин
- 17 Росляков А.В., Гребешков А.Ю., Ваняшин С.В., Хаёров А.А.. под ред. Рослякова А.В. / Мультисервисные платформы сетей следующего поколения NGN. Самара, «Издательство Ас Гард», 2012, 344 с.

18 Телекоммуникационные системы и сети: Уч. пособие. В 3-х т. Том 3. – Мультисервисные сети / Величко В.В. и др. / под ред. проф. Шувалова В.П.– М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.

19 Шнепс-Шнеппе М.А. Системы распределения информации. Методы расчета: Справочное пособие. – М.: Связь, 2004. – 344 с.

20 Наумов В.А., Самуйлов К.Е., Яркина Н.А. Теория телетрафика мультисервисных сетей. М.: Изд. РУДН, 2008. – 191 с.

21 Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: в 2-х ч. Пер. с англ. В.И. Неймана // Ч.1: М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – 336 с., Ч.2: М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – 272 с.

22 Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей связи. М.: Изд. «Эко-Трендз», 2010. – 392 с.

23 ITU-T G-series recommendations. Transmission systems and media, digital systems and networks. Quality of service and performance. Telecommunication standardization sector of ITU – 11.2001

24 Антонян А., Скуратовская Е. Построение сетей NGN. М. – 2006.

25 Башарин Г.П., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е., Яркина Н.В. Модели для анализа качества обслуживания в сетях связи следующего поколения. Учебное пособие, 2008 г.

26 Соколов Н. А. Качество обслуживания трафика речи в сети NGN. Мир связи.- 2010.- №7, стр. 26 – 29