Некоммерческое акционерное общество

«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность радиотехника, электроника и телекоммуникации

Допущен к защите

Зав. Кафедрой Шагиахметов Д.Р.

«_____» января _____2014г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

пояснительная записка

Тема Исследование методов расчета пропускной способности мультисервисных сетей

Магистрант_____Әзімханов Ә.М.

подпись (Ф.И.О.)

Руководительдиссертации_____Козин И.Д.

подпись (Ф.И.О.)

Рецензент _____Штунь А.К.

подпись (Ф.И.О.)

Нормоконтроль _____Абрамкина О. А.

подпись (Ф.И.О.)

Вычислительнаятехника _____Темырканова Э.К.

подпись (Ф.И.О.)

Алматы, 2014г.

Некоммерческое акционерное общество

«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет радиотехники и связи

Специальность радиотехника, электроника и телекоммуникация

Кафедра телекоммуникационные системы

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Әзімханов Әнуар Мұхтарұлы

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации Исследование методов расчета пропускной способности мультисервисных сетей.

утверждена Ученым советом университета №___от «___»_____

Срок сдачи законченной диссертации «____»января 2014 г.

Цель исследования данной магистерской диссертации является нахождение новых и более усовершенствованных способов расчета пропускной способности канала связи мультисервисной корпоративной сети, направленных на повышение эффективности использования сети и улучшение качества предоставляемых услуг

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

1 Рассмотрение основных характеристик мультисервисных корпоративных сетей;
2 Изучение особенностей предоставляемых услуг;

3 Сбор статистики для разного вида сервисов;
4 Анализ собранной статистики с точки зрения теории телетрафика;
5 Применение полученных результатов при формировании требований к качеству предоставляемых услуг;
6 Разработка методики расчета пропускной способности на основе результатов проделанной работы;
7 Оценка эффективности применения разработанной методики расчета.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей: 1 Движение информационных пакетов различных услуг;

2 Распределение величин передаваемых по сети пакетов для основных видов услуг.

Рекомендуемая основная литература

1Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2http://www.nsc.ru/wsAnVI2004/8509/index.htmI
3 Рыжиков Ю. И. /Теория очередей и управление запасами – СПб: Питер, 2001. – 384 с.
4 Ершов В.А., Кузнецов Н.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.-432с.
5Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославец /Телекоммуникационные системы и сети: Том 3. - Мультисервисные сети. /. - М.: Горячаяя линия - телеком, 2005. - 592 с.;

Г Р А Ф И К

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Изучение особенностей предоставляемых услуг	20.09.11	
2 Сбор статистики для разного вида сервисов	09.10.11	
3 Анализ собранной статистики с точки зрения теории телетрафика	07.01.12	
4 Разработка методики расчета пропускной способности на основе результатов проделанной работы	15.10.12	
5 Оценка эффективности применения разработанной методики расчета	06.11.12	

Дата выдачи задания *3 сентября 2011 г.*

Заведующий кафедрой_____(Коньшин С.В.)

(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации_____(Козин И.Д.)

(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению

магистрант _____(Әзімханов Ә.М.)

(подпись) (Ф.И.О.)

Аннотация

В данной работе были рассмотрены основные принципы построения мультисервисных сетей и были проведены исследования характеристик основных типов трафика данных сетей. Было предложено решение проблемы оптимизации мультисервисной сети. Это решение, заключается в применении законов распределения показателей трафика в моделировании, проектировании сети для расчета оптимальных характеристик полосы пропускания сети.

Аңдатпа

Берілген жұмыста мультисервисті желінің басты қағидалары қаралды және осындай сипаттағы трафиктің басты сипат түрлері зерттелді. Әрі қарай оптимизациялау мәселесін талқылау кезінде керек болатын шешім ұсынылды. Бұл шешім, өткізу қабілетінің сипатын, желіні трафиктің тарату көрсеткіштері заңымен модельдеу және жобалау арқылы, ең тиімді жолмен пайдалануымен қорытындалады.

Содержание

Введение 6
1 Информационный обзор существующих литературных источников по исследованию качества обслуживания в сетях IP 8
1.1 Анализ существующей сети передачи данных 8
1.2 Анализ качества обслуживания на существующей сети… 9
1.3 Требования к передаче данных в современных сетях 10
1.4 Качество обслуживания мультисервисной сети 13
1.5 Мультисервисные сети, построенные на базе IP 15
1.6 Требования к QoS приложений разных типов 17
1.7 Использование ТМО для математического моделирования 20
1.8 Свойство самоподобия сетевого трафика 23
1.9 **Сервисные модели QoS**
24
1.10 Анализ методов моделирования трафика 30
1.11 Сетевые устройства сети IP 33
1.12 Цель и задачи исследовании 36
2 Исследование структуры сетевого трафика 37
2.1 Программа Wireshark 37
2.2 Методы исследования трафика 38
3 Экспериментальная часть 40
3.1Обзор исследований и разработок по теме 40
3.2 Проведенные исследования 41
3.3 Выводы по третьей главе 45
4 Методы расчета характеристик качества обслуживания в цифровых системах интегрального обслуживания 46
4.1Общие положения 46
4.2 Обслуживание самоподобной нагрузки 48
4.3 Расчет пропускной способности мультисервисных телекоммуникационных сетей 48
4.4 Приближенный метод расчета характеристик качества обслуживания распределенных систем обработки информации 53
5 Расчет надежности IP-сети 55
Заключение 60
Список литературы 61
Перечень сокращений 63
Приложения А
Приложения Б

Введение

В последнее десятилетие основным направлением в области развития телекоммуникационных сетей, является создание интегрированной универсальной мультисервисной сети (МС), объединяющей различные виды связи на основе единых организационных и технологических принципов. Решением этой проблемы занимаются во многих информационно развитых странах, а также в нашей стране. Такая сеть предоставляет пользователям возможность мультисервисного обслуживания, т.е. возможность передавать, принимать и обрабатывать в цифровом виде различную по характеру и объему информацию.

Традиционные информационные потоки, порождаемые речевыми сообщениями, дополняются потоками факсимильных сообщений, звуковой почты, мобильной связи, верификации кредитных" карточек, соединений с сетью Интернет и т.д.

В соответствии с принятой классификацией сетевые приложения мультисервисных сетей связи можно разбить на три основные группы: передача данных, пакетная телефония и потоковое видео. Нагрузка коммуникационных приложений, относящихся к первой группе, как правило, передается по принципу Best Effort. Она не чувствительна, если ее величина лежит в разумных пределах.

Нагрузка коммуникационных приложений второй и третьей групп принадлежит к категории мультимедийных нагрузок (Stream Traffic). Для ее передачи необходимо выделить гарантированную полосу пропускания и обеспечить характеристики качества обслуживания (QoS).

Если в начальный период использования сети Интернет главным достоинством пакетной передачи информации была возможность создавать надежные сети, способные передавать нагрузку на большие расстояния, то сейчас на первый план выходит способность современных пакетных технологий обеспечить заданное QoS.

К технологиям, обладающим данными характеристиками, необходимо, в первую очередь, отнести Frame Relay, ATM, а также MPLS.

Применение технологий Frame Relay, ATM, MPLS дает возможность внести в архитектуру протокола IP механизм образования виртуальных путей, позволяющих рассматривать процесс их предоставления для поступающих потоков, анализируемых на уровне соединения, аналогично процессу, имеющему место при занятии маршрута в сетях с коммутацией каналов.

Это означает, что модели и методы оценки показателей передачи нагрузки, развитые в теории телетрафика при анализе классических систем связи, можно переносить на модели, появляющиеся при описании процесса передачи мультимедийной нагрузки современных пакетных сетей.

Вместе с тем, вопросы расчета пропускной способности участков мультисервисных сетей и сейчас остаются открытыми, что объясняется новизной и сложностью проблемы, а также многообразием возможных вариантов источников мультимедийной нагрузки и количества объединяемых каналов для предоставления услуги пользователю цифровой сети.

Таким образом, актуальность проблемы создания методов анализа и синтеза мультисервисной сети обусловлена необходимостью:

– обеспечения оптимальных режимов работы и определения пропускной способности и приемлемой загрузки участков сети;

– эффективного использования оборудования сети связи при обеспечении требуемого качества обслуживания. Требуется как можно более точное определение вероятности потерь, так как ошибки, допущенные в расчетах, приводят к завышенным требованиям к оборудованию, необходимому для обслуживания трафика.

1 Информационный обзор существующих литературных источников по исследованию качества обслуживания в сетях IP

Все более актуальным становится корпоративное использование Интернета для удаленного доступа к данным, информационного поиска, обмена электронными сообщениями и других применений. Сервис-провайдеры отмечают огромный потенциал Интернета при работе с корпоративными клиентами, который еще не реализован. Стремление к объединению сетей разной природы стимулирует построение мультисервисных сетей. Все это приводит к появлению новых комплексных приложений с высокими требованиями к пропускной способности сети и ее интеллектуальности, то есть способности гибко и качественно обрабатывать разнотипный трафик (данные, голос, видео) с целью максимально эффективного использования существующей полосы пропускания и предоставления требуемого качества сервиса клиентам и приложениям.

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

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

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

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

1.1 Анализ существующей сети передачи данных

В Казахстане развернута сеть передачи данных по технологии MetroEthernet, которая является частью общей сети передачи данных АО «Казахтелеком». Логически сеть передачи данных АО «Казахтелеком» состоит из филиальных сетей, объединенных между собой магистральной сетью передачи данных (МСПД). Филиальные сети с административной точки зрения представляют собой отдельные самостоятельные сети, управляемые и эксплуатируемые местными подразделениями АО «Казахтелеком».

Сеть осуществляет передачу мультисервисного трафика (данные, голос, видео) и обеспечивает предоставление следующих услуг:

– транспорт на L2 уровне трафика клиентов Megaline (PPPoE) к BRAS, на которых им предоставляется услуга доступа в Интернет;

– транспорт трафика корпоративных клиентов к узлу ДКП на L2 уровне;

– предоставление сервиса Point-to-Multipoint L2 VPN в пределах города;

– управление устройствами доступа, связи с STB и IP-телефонами и т.п.

Сеть построена по иерархическому принципу. К устройствам верхнего уровня иерархии L1 должны подключаться устройства нижнего уровня L2. Устройства верхнего уровня иерархии, в свою очередь, должны подключаться к существующему ядру городской сети, построенному на маршрутизаторах Juniper T-320.

К ТКУ ГСПД подключается оборудование доступа: мультиплексоры цифровых абонентских линий (DSLAM), коммутаторы Ethernet, мультисервисные узлы доступа (MSAN). На некоторых ТКУ осуществляется стыковка ГСПД с другими компонентами общей сети АО «Казахтелеком»: магистральной сетью, концентраторами широкополосного доступа, узлом IPTV.

Ядро сети состоит из четырех маршрутизаторов JuniperT320.

1.2 Анализ качества обслуживания на существующей сети

Для обеспечения качества обслуживания в сети АО «Казахтелеком» трафик разделяют на четыре основных класса:

– Network Control;
– Real Time;
– Assured Elastic;
– Elastic.

Класс NetworkControl используется для маркировки трафика сетевых протоколов оператора и не доступен для клиентского трафика. Таким образом, клиентский трафик может быть классифицирован в один из трех классов обслуживания: Real Time, Assured Elastic или Elastic. Трафик типа Network Control представляет собой данные критически важные для функционирования самой сети. Это протоколы маршрутизации, распространения меток и т.п. Этот трафик требует гарантированной, но не большой полосы пропускания. Он используется только внутри сети. На границе сети, в общем случае трафик этого типа должен быть переклассифицирован.

Класс RealTime отводится под телефонию и требует приоритетной обработки соответствующей очереди для минимизации задержки, джиттера и т.п.. Так же к нему относится и мультимедийные данные (IP-TV, VoD, NVoD и т.п.) распространяемые по сети для предоставления услуг Triple Play.

Класс Assured Elastic это клиентский трафик, Этому типу так же может соответствовать трафик сигнализации голосовых шлюзов и трафик управления между STB и iTV Middleware.

Классу Elastic отводится весь остальной трафик. Для него не определяется, каких либо гарантий полосы пропускания, задержки и гарантий доставки. К этому классу в основном относятся пользователи интернета. Трафик данного класса может быть самый различный.

К этим основным четырем классам предъявляются требования по обслуживанию, которые представлены в таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 - Классы трафика в сети АО «Казахтелеком»

Класс трафика	Процент потерь	Задержка	Вариация задержки	Пример приложений
Real Time	очень низкий	очень низкая	очень низкая	Телефония NGN
Network Control	низкий	низкая	не важно	Трафик сетевых протоколов (OSPF, LDP, RSVP и т.п.)
Assured Elastic	низкий	средний	не важно	Трафик бизнес приложений

Elastic	не важно	не важно	не важно	доступ в Интернет

1.3 Требования к передаче данных в современных сетях

При проектировании сети операторы должны учитывать требования к качеству обслуживания, предъявляемые корпоративными клиентами. Общая проблема операторов и корпоративных клиентов заключается в множестве вариантов реализации QoS и комбинаций. Практически каждый опытный инженер имеет свой собственный, слегка отличный взгляд на их применение.

Главная задача возникающих сетей на основе IP состоит в предоставлении соответствующего качества обслуживания QoS для передачи голоса и новых мультимедийных услуг. Например, быстро развивающейся новой мультимедийной услугой является IPTV. Ключевым фактором достижения коммерческого успеха IPTV, а также услуг домашних сетей, станет обеспечение того, чтобы конечных пользователей удовлетворяло предоставляемое им качество. Эти услуги по своей природе являются мультимедийными и включают передачу голоса, видеоизображений, текста, любого рода данных, а также функции интерактивного управления. По каждому из этих аспектов необходимо определить требования к качеству и соответствующие методики измерений.

Общие требования, предъявляемые к современным сетям передачи данных, на основе которых принимается решение об использовании конкретной технологии:

– высокая производительность - обеспечение необходимой полосы пропускания для выполнения требований к возможным задержкам по передаче информации;

– гибкая архитектура - возможность наращивать производительность и число поддерживаемых функций по мере необходимости;

– масштабируемость - возможность подключения к сети новых пользователей или участков;

– поддержка разных видов трафика;

– качество обслуживания - важный параметр для мультисервисных сетей

Требования к качеству обслуживания для голоса [1]:

– потери пакетов в магистралях спроектированных для предоставления VoIP сервиса высокого качества не должны превышать 0.25 процентов;

– односторонняя задержка не должна превышать 150-200мс, в соответствии со International Telecommunication Union (ITU) G.114;

– колебания задержки (jitter) должны быть менее 10 мс;

– для каждого разговора (в зависимости от частоты квантирования, кодека и заголовка второго уровня) требуется 21-106 кбит гарантированной приоритетной полосы пропускания;

– для трафика сигнализации требуется 150 бит (плюс заголовок второго уровня) гарантированной полосы пропускания.

Требования к качеству обслуживания для интерактивного видео:

– потери должны быть не более одного процента;

– однонаправленная задержка должна быть не более 150 мс;

– колебания задержки должны быть не более 30 мс;

– минимально гарантированная полоса пропускания (LLQ) должна быть равна размеру сессии видео конференции плюс 20 процентов.

Требования к качеству обслуживания для потокового видео:

– потери должны быть менее 2 процентов;

– задержка должна быть менее 4-5 секунд (в зависимости от возможностей буферизации видео приложений);

– не существует значительных требований по колебанию задержки;

– требования по гарантиям полосы зависят от формата кодирования скорости видео потока.

Требования к качеству обслуживания для трафика данных. Определяя требования QoS для трафика данных, нужно принимать во внимание следующие факторы:

– транзакционный/интерактивный — приложения клиент-сервис, приложения по передаче сообщений;

– объемные приложения — передача больших файлов, синхронизация и репликация баз данных, электронная почта (e-mail);

– по возможности — класс по умолчанию для всего не назначенного трафика; конфигурируйте как минимум 25 процентов полосы для этого класса;

– опционный класс – Интернет/scavenger (игровой трафик, развлечения) Дополнительный опционный класс включает в себя маршрутизацию и сетевое управление [2].

Компьютерные сети изначально предназначены для совместного доступа пользователя к ресурсам компьютеров: файлам, принтерам и т. п. Трафик, создаваемый этими традиционными службами компьютерных сетей, имеет свои особенности и существенно отличается от трафика сообщений в телефонных сетях или, например, в сетях кабельного телевидения. Однако 90-е годы стали годами проникновения в компьютерные сети трафика мультимедийных данных, представляющих в цифровой форме речь и видеоизображение. Компьютерные сети стали использоваться для организации видеоконференций, обучения и развлечения на основе видеофильмов и т. п. Естественно, что для динамической передачи мультимедийного трафика требуются иные алгоритмы и протоколы и, соответственно, другое оборудование. Хотя доля мультимедийного трафика пока невелика, он уже начал свое проникновение как в глобальные, так и локальные сети, и этот процесс будет продолжаться с возрастающей скоростью.

Главной особенностью трафика, образующегося при динамической передаче голоса или изображения, является наличие жестких требований к

синхронности передаваемых сообщений. Для качественного воспроизведения непрерывных процессов, которыми являются звуковые колебания или изменения интенсивности света в видеоизображении, необходимо получение измеренных и закодированных амплитуд сигналов с той же частотой, с которой они были измерены на передающей стороне. При запаздывании сообщений будут наблюдаться искажения.

В то же время трафик компьютерных данных характеризуется крайне неравномерной интенсивностью поступления сообщений в сеть при отсутствии жестких требований к синхронности доставки этих сообщений. Например, доступ пользователя, работающего с текстом на удаленном диске, порождает случайный поток сообщений между удаленным и локальным компьютерами, зависящий от действий пользователя по редактированию текста, причем задержки при доставке в определенных (и достаточно широких с компьютерной точки зрения) пределах мало влияют на качество обслуживания пользователя сети. Все алгоритмы компьютерной связи, соответствующие протоколы и коммуникационное оборудование были рассчитаны именно на такой «пульсирующий» характер трафика, поэтому необходимость передавать мультимедийный трафик требует внесения принципиальных изменений как в протоколы, так и оборудование. Сегодня практически все новые протоколы в той или иной степени предоставляют поддержку мультимедийного трафика.

Особую сложность представляет совмещение в одной сети традиционного компьютерного и мультимедийного трафика. Передача исключительно мультимедийного трафика компьютерной сетью хотя и связана с определенными сложностями, но вызывает меньшие трудности. А вот случай сосуществования двух типов трафика с противоположными требованиями к качеству обслуживания является намного более сложной задачей. Обычно протоколы и оборудование компьютерных сетей относят мультимедийный трафик к факультативному, поэтому качество его обслуживания оставляет желать лучшего. Сегодня затрачиваются большие усилия по созданию сетей, которые не ущемляют интересы одного из типов трафика. Наиболее близки к этой цели сети на основе технологии ATM, разработчики которой изначально учитывали случай сосуществования разных типов трафика в одной сети.

1.4 Качество обслуживания мультисервисной сети

До конца 1980-х годов Интернет пребывала в таком состоянии, что характеризовалось низким объемом трафика и малым числом используемых сетевых приложений. Поддержкой байта тип обслуживания ToS (Type of Service) можно было пренебречь, что и осуществлялось практически во всех реализациях протокола IP. IP-приложения не производили установку значения байта тип обслуживания ToS, а маршрутизаторы игнорировали его при принятии решения о продвижении IP-пакета.

Важность внедрения механизма QoS (Quality of Service) в масштабах Интернет возросла благодаря увеличению популярности Сети и приобретению ею коммерческих черт. Функционирование Интернет базируется на сквозном режиме обслуживания пакетов данных без ориентации на установку соединения, который подразумевает негарантированную доставку информации с использованием для этого двух протоколов – протокола управления передачей TCP (Transmission Control Protocol) и протокола Интернет IP (Internet Protocol), известную как стек TCP/IP. Несмотря на то, что отсутствие ориентации на установку соединения делает Интернет более гибкой и устойчивой к сбоям, динамика передаваемых потоков данных делает ее склонной к перегрузкам, которые чаще всего возникают в местах стыка двух сетей со значительно различающимися пропускными способностями.

Следовательно, сети с коммутацией пакетов на основе протокола IP не обеспечивают гарантированной пропускной способности, поскольку не гарантируют доставку.

Для приложений, где не важен порядок и интервал прихода пакетов, время задержек между отдельными пакетами не имеет решающего значения. Например, для IP-телефония важен порядок прихода пакетов и важна динамика передачи сигнала, которая обеспечивается современными методами кодирования и передачи информации. Транспортные протоколы стека TCP/IP, функционирующие поверх протокола IP, не обеспечивают высокого качества обслуживания трафика, чувствительного к задержкам. Протокол TCP, хоть и гарантирует достоверную доставку информации, но переносит ее с непредсказуемыми задержками. Протокол UDP, который, как правило, используется для переноса информации в реальном времени, обеспечивает меньшее, по сравнению с протоколом TCP, время задержки, но, как и протокол IP, не содержит никаких механизмов обеспечения качества обслуживания [3].

Качество обслуживания в основном используется для определения набора измеряемых параметров сервиса. В IP-сети QoS может представляться, например, производительностью передачи IP-пакетов через одну или большее число сетей.

Качество обслуживания (QoS) определяет количественные оценки вероятности того, что сеть будет передавать определенный поток данных между двумя узлами в соответствии с потребностями приложения или пользователя.Качество обслуживания определяется как мера производительности передающей системы, отражающая качество передачи и доступность услуг. Доступность услуг является важнейшим элементом QoS. Для успешного внедрения QoS необходимо обеспечить максимально высокую доступность сетевой инфраструктуры. (Конечной цели высокой доступности соответствует уровень 99,999 процентов, то есть только 5 минут простоя в год). Качество передачи сети определяется следующими факторами:

– доступность – диапазон времени сетевой достижимости между входной и выходной точкой сети – это сетевая доступность. Доступность сервиса – это диапазон времени, в течение которого этот сервис доступен между

определенными входной и выходной точками с параметрами, оговоренными в соглашении об уровне обслуживании (SLA);

– потери - это отношение правильно принятых пакетов к общему количеству пакетов, которые были переданы по сети. Потери выражаются в процентах отброшенных пакетов, которые не были доставлены по назначению. Обычно, потери – это функция от доступности. Если сеть не загружена, то потери (во время отсутствия перегрузок) будут равны нулю. Во время перегрузок, однако, механизмы QoS будут определять, какие пакеты могут быть сброшены;

– задержка – это время, которое требуется пакету для того, чтобы после передачи дойти до пункта назначения. В случае голоса, эта задержка определяется как время прохождения сигнала от говорящего к слушающему;

– колебания задержки (jitter) -это разница между сквозным временем задержки, которая возникает при передаче по сети разных пакетов. Так, например, если для передачи одного пакета по сети требуется 100 мс, а для передачи следующего пакета – 125мс, то колебание задержки составит 25мс;

– **вариация задержки** (Jitter, IPDV — IP Packet Delay Variation, PDV — packet delay variation). Параметр определяется в RFC 3393 как разница сквозных задержек прохождения двух пакетов.

Значение PDV для i-ого и j-того пакетов будет рассчитываться как [7]:

$$D_{i,j} = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i) \qquad (1.1)$$

где, R - как время отправки пакета;

S - время его доставки.

В RFC 3550 определен метод инкрементального расчета вариации для серии пакетов:

$$J_i = J_{i-1} + (|D_{i-1,i}| - J_{i-1})/16 \qquad (1.2)$$

При измерении осуществляется усреднение полученных значений PDV на заданном промежутке времени.

1.5 Мультисервисные сети, построенные на базе IP

Вклад в развитие различных аспектов концепции QoS внес Международный союз электросвязи (ITU-T), включая в том числе разработку норм и требований к показателям качества обслуживания, стандартизацию сетевых механизмов, обеспечивающих необходимые показатели QoS, а также формулировку основополагающих определений.

Основу мультисервисной сети связи составляет универсальная транспортная среда с распределенной коммутацией пакетов. Кроме традиционных сетевых узлов (мультиплексоров, коммутаторов и

маршрутизаторов) в состав такой сети могут входить контроллеры сигнализации и шлюзовое оборудование различного назначения.

Мультисервисные сети – это сети связи, построенные в соответствии с концепцией сети связи следующего поколения и обеспечивающие предоставление неограниченного набора услуг.

Мультисервисная сеть образует единую информационно-телекоммуникационную структуру, которая поддерживает все виды трафика (данные, голос, видео) и предоставляет все виды услуг (традиционные и новые, базовые и дополнительные) в любой точке, в любое время, в любом наборе и объеме.

В отличие от технологий X.25, Frame Relay и ATM в классических сетях IP применяется метод доставки, полностью исключающий любую форму организации соединений – как физических, так и виртуальных. Этот метод основан на рассылке пакетов-дейтаграмм. Качество доставки в традиционных сетях IP базируется на принципе так называемой «наилучшей попытки» (Best effort). Концепция «наилучшей попытки» предполагает, что пользователи справедливо разделяют доступные сетевые ресурсы, трафик передается со скоростью, максимально возможной в данных условиях загрузки ресурсов сети, но при этом не гарантируется обеспечение любого предварительно определенного уровня качества обслуживания. Такой подход к обслуживанию означает следующее:

– отсутствуют различия между разными видами трафика;
– нет гарантии в доставке пакетов в правильном порядке;
– он будет доставлен в требуемое время или вообще будет доставлен.

Концепция «наилучшей попытки» была достаточно эффективной для приложений, где можно передавать данные не в реальном времени (электронная почта, передача файлов).

Принцип классификации услуг оператора связи с использованием многомерной структуры, основывается на системе классификаторов:

– классификация услуг по типу передаваемой информации (контенту);
– классификация услуг по способу обеспечения доступа клиента к услуге;
– классификация услуг по типу клиента;
– классификация услуг по типу обмена информацией.

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

– по приоритетности внедрения и важности – базовые (основные) услуги и дополнительные (услуги с добавленной ценностью), при этом оказание дополнительной услуги возможно только при наличии базовой;
– по маркетинговой функции – услуги, ориентированные в основном на получение дохода, и услуги, направленные в основном на привлечение клиентов (приносящие доходы косвенным путем через оказание прочих услуг

привлеченным таким образом клиентам). Классификация услуг по типу передаваемой информации является основной.

Классификация услуг по типу передаваемой информации (контенту). В соответствии с этой классификацией услуги подразделяются на категории:

– услуги телефонии (и видеотелефонии);
– услуги передачи данных;
– широковещательные услуги;
– услуги выделенных каналов (услуги, безразличные к типу передаваемой информации);
– инфраструктурные услуги.

Под услугами телефонии подразумеваются услуги передачи голоса, конечными потребителями которых являются индивидуальные клиенты, взаимодействующие в основном с другими подобными клиентами в интерактивном режиме. Данные услуги подразделяются, на услуги фиксированной и мобильной телефонной связи. Кроме того, из данного типа услуг в настоящее время постепенно происходит выделение услуг передачи видео (видеотелефонии), частным видом которых является, например, услуга видеоконференцсвязи (как альтернатива телефонной конференцсвязи).

Услуги передачи данных подразделяются в свою очередь на услуги IP, ATM, Frame Relay, X.25 и т.п., в зависимости ог протокола, на основании анализа заголовков пакетов которого производится соединение абонента с адресатом (коммутация). Расчеты производятся исходя из передаваемого трафика, который измеряется непосредственно либо косвенно на основе соглашений об уровне обслуживания (SLA) или емкостью канала и временем его использования. При предоставлении услуг с использованием многопротокольной среды передачи данных и при наличии разнородного трафика в сети зачастую непросто разделить услуги, т.е. выделить доли трафика, приходящиеся на каждую из них. Проще всего это сделать путем подсчета IP-пакетов, ATM-ячеек, FR или X.25 кадров [4].

Широковещательные услуги предполагают однонаправленную передачу информации одновременно большому кругу клиентов. К ним относятся в первую очередь услуги теле и радиовещания. В последнее время происходит расширение спектра этих услуг за счет интерактивное телевидение и т.п. Услуги выделенных каналов предполагают предоставление канала с тарифной политикой, не зависимой от типа и количества передаваемого трафика и степени использования канала. Различие тарифов происходит только по типу канала и его максимальной пропускной способности.Инфраструктурными услугами – непосредственно не связаны с передачей клиентом информации (сдача в аренду помещений или оборудования, а также разного рода консультационные услуги).

Классификация услуг по типу клиента подразделяет услуги на:

– услуги, оказываемые другим операторам связи (провайдерам);
– услуги, оказываемые корпоративным клиентам;

– услуги, оказываемые индивидуальным пользователям.

1.6 Требования к QoS приложений разных типов

Современная тенденция конвергенции сетей различных типов, а также увеличение объема трафика и появление приложений, работающих в режиме реального времени, мультимедийных приложений привели к необходимости переноса сетью различных видов трафика, в том числе, чувствительного к задержкам [5]. Поэтому традиционные TCP/IP сети не гарантируют необходимое приложениям качество обслуживания и возникает необходимость в разработке дополнительных средств предоставления приложениям требуемого уровня сервиса.

Простое повышение пропускной способности сети уже больше не является гарантией того, что разнообразные приложения, работающие в сети, получат необходимое им обслуживание. Нужны новые механизмы качества обслуживания QoS, учитывающие все многообразие требований, которые приложения предъявляют к сети.

Реализация в компьютерных сетях механизмов поддержки QoS – сравнительно новая тенденция. Долгое время компьютерные сети обходились без них, и это объясняется в основном двумя причинами. Во-первых, большинство приложений, выполняемых в сети, нетребовательны к ее ресурсам. Задержки пакетов или отклонения средней пропускной способности в достаточно широком диапазоне не приводили к заметной потере функциональности.

Приложения – основная движущая сила развития сети. В ответ на их постоянно растущие требования к пропускной способности сети появляются высокоскоростные технологии. А возникновение новых видов трафика, например, IP-телефонии, аудио и видеовещания, привело к необходимости обеспечения в компьютерной сети низкого уровня задержки пакетов, поддержки групповой доставки пакетов и т.д.

Трафик различных приложений достаточно четко классифицирован. В качестве основных критериев были приняты три характеристики:

– относительная предсказуемость скорости передачи данных;
– восприимчивость к задержкам пакетов;
– чувствительность к потерям и искажениям пакетов.

По предсказуемости скорости трафика приложения делятся на два больших класса:

– с трафиком в виде равномерного потока (Stream);
– с нерегулярным трафиком (Burst).

Первый класс приложений характеризуется высокой степенью предсказуемости порождаемого трафика, поэтому он имеет более или менее

постоянную скорость (Constant Bit Rate, CBR). Скорость потока может меняться, но ее верхняя граница предопределена. Например, аудиопотоки данных относятся к классу CBR, и для элементарного голосового потока верхняя граница равна 64 кбит/с.

Второй класс отличается высокой степенью непредсказуемости, когда периоды бездействия сменяются активностью, соответствующей доставке больших «блоков данных». Такой трафик характеризируется переменной битовой скоростью (Variable Bit Rate, VBR). Так, при работе файлового сервиса интенсивность трафика может возрастать от нуля, когда файлы не передаются, до бесконечности, когда после передачи запроса с информацией о местонахождении файла приложению требуется как можно быстрее получить данные. Строго говоря, любые приложения генерируют нерегулярный трафик, в том числе и потоковый. Просто коэффициент нерегулярности (то есть отношение максимальной мгновенной скорости к средней) у этих двух типов приложений отличаются.

Другой критерий классификации приложений по типу трафика – их восприимчивость к задержке пакетов. Основные типы приложений:

– асинхронные приложения практически не налагают ограничений на время задержки («эластичный» трафик), например, электронная почта;

– синхронные приложения чувствительны к задержкам, но допускают их;

– интерактивные приложения отличаются тем, что задержки могут быть замечены пользователями, но не сказываются негативно на функциональности приложений, например, при работе с удаленным файлом в текстовом редакторе;

– изохронные приложения имеют порог чувствительности к задержкам, при превышении которого функциональность приложения снижается, например, при превышении порога задержек в 100-150 мс резко снижается качество воспроизводимой речи;

– сверхчувствительные к задержкам приложения нетерпимы к задержкам, так как это сводит к нулю их функциональность, например, во время управления техническим объектом в реальном времени при запаздывании управляющего сигнала может произойти авария.

Интерактивное приложение всегда чувствительнее к задержкам, чем его не интерактивный аналог. Так, широковещательное распространение аудиоинформации способно выдерживать значительные задержки передачи пакетов, а интерактивный телефонный разговор не терпит их.

Третьим критерием классификации приложений является их чувствительность к потерям пакетов. По этому критерию приложения обычно делят на две группы – чувствительные к потерям и нечувствительные к ним. К первым относятся практически все приложения, передающие алфавитно-цифровые данные (текстовые документы, коды программ, числовые массивы и т.п.), они не допускают потери отдельных, даже небольших, фрагментов данных. Такие потери часто ведут к

обесцениванию остальной, успешно принятой информации, и отсутствие хотя бы одного байта в коде программы делает ее неработоспособной. Все традиционные сетевые приложения (файловый сервис, сервис баз данных, электронная почта и т.д.) относятся к этому типу приложений.

Второй тип приложений объединяет приложения, трафик которых несет информацию об инерционных физических процессах. Устойчивость к потерям объясняется тем, что небольшое количество отсутствующих данных можно восстановить с помощью принятых. Так, при потере одного пакета с несколькими последовательными замерами голоса недостающие замеры могут быть заменены аппроксимацией на основе соседних значений. К такому типу приложений относится большая часть приложений (аудио и видео приложения). Однако устойчивость к потерям имеет свои пределы, поэтому количество потерянных пакетов не может превышать 1%. Не любой трафик устойчив к потерям данных, в частности, сжатый голос или видеоизображение очень чувствительны к потерям, поэтому относятся к первому типу приложений.

Перечисленные характеристики независимы. Приложение с равномерным потоком может быть как асинхронным, так и синхронным, а синхронное приложение – как чувствительным, так и нечувствительным к потерям пакетов. Однако практика показывает, что большинство используемых приложений описывается всего несколькими возможными комбинациями указанных характеристик. Например, комбинация «равномерный поток, изохронность, устойчивость к потерям» соответствует таким популярным приложениям, как IP-телефония, видеоконференции и аудиовещание через Internet. С другой стороны, для ряда сочетаний характеристик трудно привести пример реального приложения, например: «равномерный поток, асинхронность, чувствительность к потерям». Устойчивых сочетаний характеристик не так уж и много. При стандартизации технологии ATM были определены четыре класса приложений: A, B, C и D. Для всех приложений, не попавших ни в один из этих классов, определен класс X, в котором сочетание характеристик приложения может быть произвольным.

В общем случае трафик мультисервисной сети можно разделить на триосновных класса: реального времени, потоковый и эластичный.

Практически любой трафик, даже трафик потоковых приложений, имеет ненулевой коэффициент пульсации. Просто значения коэффициентов пульсации у потокового и пульсирующего трафиков существенно различаются. У приложений с пульсирующим трафиком он обычно находится в пределах от 2:1 до 100:1, а у потоковых приложений близок к 1:1. В локальных сетях коэффициент пульсации обычно выше, чем в глобальных.

Увеличение объема трафика и появление приложений, работающих в режиме реального времени, мультимедийных приложений привели к необходимости переноса сетью различных видов трафика, в том числе,

чувствительного к задержкам [6, 7, 8, 9], однако TCP/IP сети не гарантируют необходимое приложениям качество обслуживания.

Следовательно, для мультисервисной сети базовыми требованиями являются:

– достаточная полоса пропускания – это от 4 Mbps для MPEG2 и от 2,5 Mbps для MPEG4. Естественно, для получения приемлимого качества изображения на среднестатистическом телевизоре;

– поддержка Multicast во всей сети обязательное условие для реализации broadcast-услуг;

– сквозная поддержка механизмов QoS.

1.7 Использование ТМО для математического моделирования

Предмет теории массового обслуживания (ТМО) – системы массового обслуживания. Общей особенностью всех задач, связанных с массовым обслуживанием, является случайный характер исследуемых явлений. Количество требований на обслуживание, временные интервалы между их поступлениями и длительность обслуживания случайны. Поэтому основным аппаратом описания систем обслуживания оказывается аппарат теории случайных процессов, в частности, марковских.

Под системой массового обслуживания (СМО) понимают динамическую систему, предназначенную для эффективного обслуживания потока заявок (требований на обслуживание) при ограничениях на ресурсы системы. Модели СМО удобны для описания современных вычислительных систем. При поступлении сообщения для передачи в сеть оно ставится в очередь в аппаратуре передачи данных. Структура СМО общего вида приведена на рисунке 1.1. Для характеристики СМО применяется классификация Кендалла, которая отражает основные характеристики СМО и выглядит следующим образом: A/B/1.Первая позиция отражает тип распределения времени между соседними пакетами во входящем потоке.

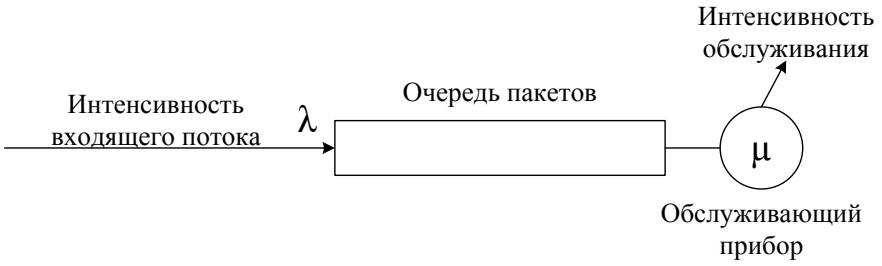

Рисунок 1.1 – Структура СМО

Вторая позиция отражает распределение времени обслуживания. Третья позиция обозначает количество обслуживающего прибора.

Таким образом, в системах массового обслуживания существует два вида потоков: входящий и выходящий. При этом в них потекают случайные процессы. Случайным называется поток, при котором объекты поступают в обслуживающую систему один за другим в произвольные моменты времени. В таком потоке простейшим потоком является поток, обладающий следующими свойствами: стационарности, ординарности, отсутствием последействия. Случайный поток является стационарным, если вероятность попадания того или иного числа объектов на интервал времени длиной “T” зависит только от длины этого интервала и не зависит от того, где на оси времени этот интервал находится. Общей особенностью всех задач, связанных с массовым обслуживанием, является случайный характер исследуемых явлений. Количество требований на обслуживание, временные интервалы между их поступлениями и длительность обслуживания случайны.

На рисунке 1.2 показано изображение моментов поступления пакетов в сеть.

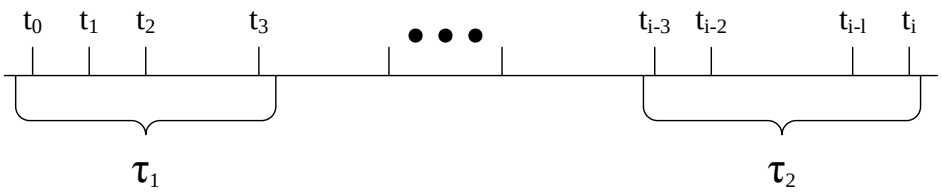

Рисунок 1.2 – Входящий поток требований

Поток объектов считается ординарным, если вероятность попадания на единичный интервал двух и более пакетов пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одного пакета. Следовательно, поступление пакетов в сеть должно быть одиночным.

Поток называется без последействия, если для любых неперекрывающихся интервалов времени число объектов, попадающих на один из них, не зависит от числа объектов, попадающих на другие. Следовательно, отсутствие последействия предполагает независимость поступления в систему объектов обслуживания. Данное условие является наиболее существенным для простейшего потока. Выполнение этого условия означает, что пакеты должны поступать в сеть независимо друг от друга. Выходящие потоки пакетов, покидающих сеть, обычно имеют последействие, даже если входящий поток его не имел.

При анализе систем массового обслуживания учитывают важное свойство простейшего потока – при суммировании большого числа ординарных, стационарных потоков с практически любым последействием получается поток пакетов, сколь угодно близкий к простейшему [10].

Основной характеристикой обслуживающего прибора является интенсивность обслуживания.

При рассмотрении системы с ожиданием обслуживания, т.е. с очередями, важным параметром будет длина очереди. Длина очереди определяет максимальное количество единиц заявок, находящихся в состоянии ожидания обслуживания.

При наличии очередей порядок выбора заявок для обслуживания может быть различным. Такой порядок называется дисциплиной обслуживания. Простейшей дисциплиной является первым пришел – первым обслужен (FIFO). При существовании в системе заявок, отличающихся друг от друга каким-либо параметром (например, пакеты могут отличаться длинами, категориями срочности, временем нахождения в сети и т.д.) выбор заявок осуществляется в соответствии с их приоритетом.

Такие дисциплины обслуживания называются дисциплинами с приоритетами. Примерами дисциплин обслуживания с приоритетами являются дисциплины с относительными и абсолютными приоритетами. Входящие в одну систему обслуживающие приборы могут обладать различной интенсивностью обслуживания.

1.8 Свойство самоподобия сетевого трафика

Структура трафика, передаваемого по современным сетям связи, сегодня сильно изменяется. Пакетные сети используются для предоставления услуг передачи речи, прослушивания музыки, просмотра видеоклипов, организации мультимедийной конференцсвязи, обеспечения мобильности абонентов, создания сетей IP-телефонии, распределенного моделирования, управления в режиме on-line, сетевых игр и других приложений в реальном времени.

Интернет протокол (IP), который первоначально создавался для передачи датаграмм, рассматривался как непригодный для обслуживания трафика в реальном времени из-за того, что каждый пакет в потоке данных маршрутизируется независимо от других пакетов этого потока, и такие параметры, как пропускная способность, задержка и вариация задержки, изменяются в широких пределах. К тому же, трафик реального времени больше подвержен влиянию перегрузок, чем трафик данных.

Если до появления мультисервисных систем подобные проблемы не вызывали особого беспокойства по поводу удобства применения компьютерных сетей в различных областях науки и техники, то в последние годы они становятся все более явными.

Происходит это из-за появления новых классов сетевых приложений, которые предъявляют более высокие требования к качеству соединения. К таким приложениям относятся, например, IP-телефония, видеоконференции,

распределенные вычисления, удаленное управление различными устройствами в реальном времени. Если рассматривать приложения, использующие протоколы прикладного уровня – ftp, http и др., то для успешной их работы достаточно применения развитого транспортного протокола TCP. Действительно, требования, предъявляемые такими сетевыми приложениями к задержке очень невысоки, а потери пакетов успешно компенсируются механизмом подтверждений (посредством увеличения задержки передачи данных).

Если, рассматривать приложения, которые предъявляют повышенные требования на качество соединения (изохронные), то такие приложения требует, чтобы задержка не превышала определенной величины или скорость передачи не падала ниже заданного значения.

На основании вышеописанного и на основании многочисленных исследований в области телекоммуникаций в поведении трафика стали проявляться свойства и особенности, именуемое самоподобием.

У истоков исследования теории самоподобных (фрактальных) процессов были зарубежными ученые: Leland W., Taqqu M., Willinger W., Wilson D., Norros I., Столлингс В., Нейман М.Н., Цыбаков Б.С., Шелухин О.И., Тенякшев А.М. и другие.

Характерным для пакетного трафика являются обнаруженные на практике свойства самоподобия или масштабной инвариантности статистических характеристик.Основным моментом в котором проявляется отличие самоподобного трафика от обычного является то, что его статистические характеристики (среднее значение, спектральная плотность, автокорреляционная функция и др.) имеют характер спада сильно отличающийся от экспоненциального. Соответственно оказались неверными и требуют корректировки исходные предпосылки, которые делались ранее при разработке многих сетевых устройств.

Понятие фракталбыло впервые введено Бенуа Мандельбротом в 1975 году. Слово образовано от латинского слова fractus – состоящий из фрагментов. С математической точки зрения фрактальный объект обладает дробной (нецелой) размерностью [11].

Другое важное свойство, которым обладают почти все фракталы – свойство самоподобия (масштабная инвариантность). Фрактал можно разбить на сколь угодно малые части так, что каждая часть окажется просто уменьшенной частью целого. Другими словами, если посмотреть на фрактал в микроскоп, то мы увидим ту же самую картинку, что и без микроскопа.

В отличие от детерминированных фракталов, стохастические фрактальные процессы, как правило, описываются масштабной инвариантностью (самоподобием) статистических характеристик второго порядка (корреляционной функции, спектральной плотности, дисперсии) – свойство неизменности коэффициента корреляции при масштабировании.

Именно с такими стохастическими фракталами имеют дело при изучении характеристик сетевого трафика.

При этом оказалось, что в условиях самоподобного трафика методы расчета глобальной компьютерной сети (пропускной способности каналов, емкости буферов и пр.), основанные на Марковских моделях и формулах Эрланга, которые были изучены и применены и используются при проектировании телефонных сетей, которые строились с использованием принципа коммутации каналов. Поэтому перенос этих методов расчета и для пакетных сетей дают некорректные решения и приводят к недооценке нагрузки.

1.9 Сервисные модели QoS

Сервисные модели QoS:

– **Best Effort Service – н**егарантированная доставка. Абсолютное отсутствие механизмов QoS. Используются все доступные ресурсы сети без какого-либо выделения отдельных классов трафика и регулирования. Считается, что лучшим механизмом обеспечения QoS является увеличение пропускной способности, однако некоторые виды трафика (например, голосовой) очень чувствительны к задержкам пакетов и вариации скорости их прохождения. Модель Best Effort Service даже при наличии больших резервов допускает возникновение перегрузок в случае резких всплесков трафика;

– **Integrated Service (IntServ)** – модель интегрированного обслуживания обеспечивает сквозное (End-to-End) качество обслуживания, гарантируя необходимую пропускную способность. Может обеспечить сквозное (End-to-End) качество обслуживания, гарантируя необходимую пропускную способность. IntServ использует для своих целей протокол сигнализации RSVP, который обеспечивает выполнение требований ко всем промежуточным узлам. Позволяет приложениям выражать сквозные требования к ресурсам и содержит механизмы обеспечения данных требований. IntServ можно кратко охарактеризовать как резервирование ресурсов (Resource reservation). При этом маршрутизаторы должны хранить информацию о потоках и анализировать каждый пакет, определить принадлежит ли он к конкретным потоком, с тем чтобы направить пакет в соответствии с критериями потока;

– Differentiated Service – модель дифференцированного обслуживания обеспечивает QoS на основе распределения ресурсов в ядре сети и определенных классификаторов и ограничений на границе сети, комбинируемых с целью предоставления требуемых услуг. В этой модели вводится разделение трафика по классам, для каждого из которых определяется свой уровень QoS. DiffServ состоит из управления формированием трафика (классификация пакетов, маркировка, управление интенсивностью) и управления политикой (распределение ресурсов, политика отбрасывания пакетов). DiffServ является наиболее подходящим примером «умного» управления приоритетом трафика.

Приложения, требующие QoS:

– потоковые мультимедиа-приложения требуют гарантированную пропускную способность канала;

– VoIP и видеоконференция требуют небольших значений джиттера и задержки;

– ряд приложений, например, удалённая хирургия, требуют гарантированного уровня надежности.

– **Базовые функции QoS** заключаются в обеспечении необходимых параметров сервиса и определяются по отношению к трафику как:

– классификация;

– разметка;

– управление перегрузками;

– предотвращение перегрузок;

– регулирование.

Функционально классификация и разметка **(Classification and Marking)** чаще всего обеспечиваются на входных портах оборудования, а управление и предотвращение перегрузок – на выходных. Классификация пакетов представляет собой механизм соотнесения пакета к определенному классу трафика.

Также важной задачей при обработке пакетов является маркировка пакетов (Packet Marking) – назначение соответствующего приоритета.

Классификация и разметка на третьем уровне – маршрутизирующее оборудование оперирует IP пакетами, в которых под цели маркировки предусмотрено соответствующее поле в заголовке – IP Type of Service (ToS) размером один байт. ToS может быть заполнен классификатором IP Precedence или DSCP в зависимости от задачи. IP precedence (IPP) имеет размерность 3 бита (принимает значения 0-7). DSCP относится к модели DiffServ и состоит из 6 бит (значения 0-63).

Кроме цифровой формы, значения DSCP могут быть выражены с использованием специальных ключевых слов:

– доставка по возможности BE (Best Effort);

– гарантированная доставка AF (Assured Forwarding);

– срочнаядоставка EF (Expedited Forwarding).

Промаркировать IP пакеты значением QoS можно разными способами: PBR, CAR, BGP.

Управление перегрузками. Перегрузки (Congestions) возникает в случае переполнения выходных буферов передающего трафик оборудования. Основными механизмами возникновения перегрузок является агрегация трафика (когда скорость входящего трафика превышает скорость исходящего) и несогласованность скоростей на интерфейсах.

Управление пропускной способностью в случае перегрузок осуществляется с помощью механизма очередей. Пакеты помещаются в очереди, которые упорядоченно обрабатываются по определенному алгоритму. Фактически, управление перегрузками – это определение порядка, в котором

пакеты выходят из интерфейса (очередей) на основе приоритетов. Если перегрузок нет – очереди не работают.

Маршрутизаторы обеспечивают поддержку очередей программно, что позволяет более гибкое конфигурирование механизмов обработки. При этом маркировка и классификация пакетов выполняется на входе, распределение по очередям и их обработку (Scheduling) по определенным алгоритмам, как показано на рисунке 1.3.

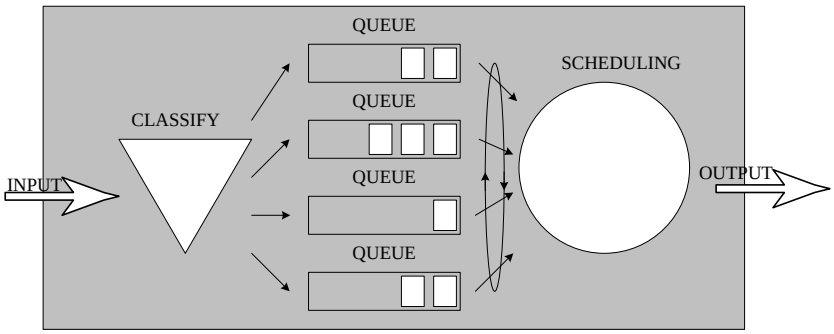

Рисунок 1.3 – Обработка пакетов

Приоритезация очереди требуется в основном только в узких, загруженных местах, когда пропускной способности канала не хватает для передачи всех поступающих пакетов и нужно каким-то образом дифференцировать их обработку. Кроме того, приоритезация необходима и в случае предотвращения влияния всплесков сетевой активности на чувствительный к задержкам трафик.

Классификация методов обработки очередей:

– очередь с последовательным прохождением пакетов, работающая по принципу **FIFO** (First In First Out) «первый пришел – первый ушел». Здесь нет никакой приоритезации. Включается по умолчанию на интерфейсах со скоростью больше 2 Мбит/с;

– **очереди приоритетов PQ (**Priority Queuing**), которая** обеспечивает безусловный приоритет одних пакетов над другими. Всего 4 очереди: high, medium, normal и low. Обработка ведется последовательно (от high до low), начинается с высокоприоритетной очереди и до ее полной очистки не переходит к менее приоритетным очередям. При этом возможна монополизация канала высокоприоритетными очередями. Трафик, приоритет которого не указан, попадет в очередь по умолчанию (default);

– **взвешенные справедливые очереди WFQ (**Weighted Fair Queuing), которая автоматически разбивает трафик на потоки (flows). По умолчанию их число равно 256, но может быть изменено. Если потоков больше, чем очередей, то в одну очередь помещается несколько потоков. Принадлежность пакета к потоку (классификация) определяется на основе TOS, протокола, IP адреса источника, IP адреса назначения, порта источника и порта назначения. Каждый поток использует отдельную очередь. Обработчик WFQ (scheduler) обеспечивает

равномерное разделение полосы между существующими потоками. Доступная полоса делится на число потоков и каждый получает равную часть. Каждый поток получает свой вес (weight), с некоторым коэффициентом обратно пропорциональный IP приоритету (TOS). Вес потока также учитывается обработчиком. WFQ автоматически справедливо распределяет доступную пропускную способность, дополнительно учитывая TOS. Потоки с одинаковыми IP приоритетами TOS получат равные доли полосы пропускания; потоки с большим IP приоритетом – большую долю полосы. В случае перегрузок ненагруженные высокоприоритетные потоки функционируют без изменений, а низкоприоритетные высоконагруженные – ограничиваются. Вместе с WFQ работает RSVP. По умолчанию WFQ включается на низкоскоростных интерфейсах;

– обслуживания очередей на основе классов **CBWFQ (**Class Based Weighted Fair Queuing). Весь трафик разбивается на 64 класса на основании следующих параметров: входной интерфейс, аксесс лист (accesslist), протокол, значение DSCP, метка MPLS QoS. Общая пропускная способность выходного интерфейса распределяется по классам. Выделяемую каждому классу полосу пропускания можно определять как в абсолютное значение (bandwidth в kbit/s) или в процентах (bandwidth percent) относительно установленного значения на интерфейсе. Пакеты, не попадающие в сконфигурированные классы, попадают в класс по умолчанию, который можно дополнительно настроить и который получает оставшуюся свободной полосу пропускания канала. При переполнении очереди любого класса пакеты данного класса игнорируются. Алгоритм отклонения пакетов внутри каждого класса можно выбирать: включенное по умолчанию обычное отбрасывание (tail-drop, параметр queue-limit) или WRED (параметр random-detect). CBWFQ поддерживает взаимодействие с RSVP;

– очередность с низкой задержкой LLQ (LowLatencyQueuing). LLQ можно рассматривать как механизм CBWFQ с приоритетной очередью PQ (LLQ = PQ + CBWFQ). PQ в LLQ позволяет обеспечить обслуживание чувствительного к задержке трафика. LLQ рекомендуется в случае наличия голосового (VoIP) трафика. Кроме того, он хорошо работает с видеоконференциями.

Предотвращение перегрузок (Congestion avoidance):

– **RED (**Random Early Detection) используется в скоростных сетях для предупреждения перегрузок. Затрагивает только TCP. Путем отбрасывания случайным образом пакетов из наиболее мощных потоков, вынуждает посылающую сторону уменьшить скорость передачи (используя соответствующие свойства TCP протокола – окно перегрузки. Доля отбрасываемых пакетов регулируется при конфигурации;

– **ECN (**Explicit Congestion Notification) использует ту же логику, что и RED, но не отбрасывает пакеты, а уведомляет о необходимости ограничения, маркируя их (устанавливает в IP заголовке ECN биты).

– **Регулирование интенсивности:**

– ограничитель (Policer);
– формирователь (Shaper).

Ограничитель соответственно ограничивает поток трафика до нужной величины методом простого отбрасывания пакетов, поступающих с выходящей за рамки скоростью. Может работать как на входящем, так и на выходящем интерфейсах. То есть это ограничитель интенсивности методом отбрасывания при превышении заданной скорости. На рисунке 1.4 показан механизм ограничения трафика.

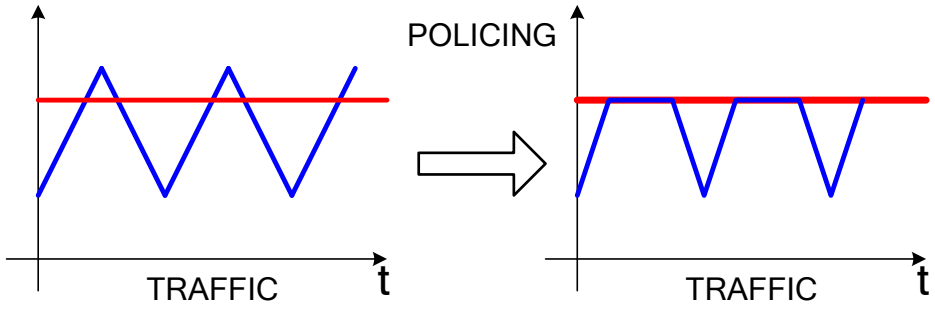

Рисунок 1.4 – Временная диаграмма прохождении сигнала

Управление интенсивностью осуществляется ограничением трафика до скорости контракта. Следует отметить, что ограничение трафика может помочь и в случае предотвращения DOS атак, применяется как на входных, так и на выходных портах. Чаще всего на входных, так как в этом случае отбрасываемые пакеты, не доходят до процесса маршрутизации. И таким образом экономятся ресурсы.

Формирователь обычно задерживает исходящий трафик, используя буфер или механизм очередей, формируя поток с нужными параметрами. Выполняет функции сглаживания. Применяется для ограничения пропускной способности на выходе из интерфейса. Декларируется, что шейпинг более дружественен к TCP, чем полисинг. На рисунке 1.5 показан формирователь.

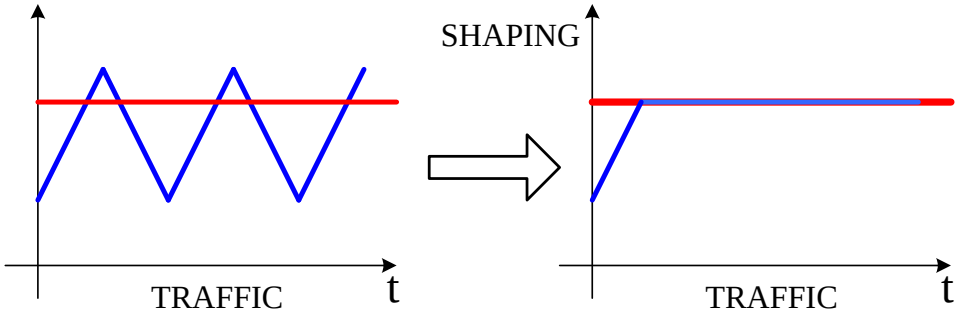

Рисунок 1.5 – Временная диаграмма формировании сигнала

Охарактеризовывается как ограничитель-выравниватель интенсивности методом задержки (буферизации пакетов) и дальнейшей пересылки с согласованной интенсивностью при превышении заданной скорости. Применяется всегда на выходном интерфейсе в случаях:

– если, где-то далее в сети применяется полисинг, который, как известно приводит к отбрасыванию пакетов. Лучше заранее на подходах «мягко» ограничить трафик перед полисингом;

– если где-то далее в сети возможно переполнение входных очередей, а QoS там не настроен или невозможен;

ограничение скорости доступа до контрактных значений.

1.10 Анализ методов моделирования трафика

Модели трафика условно можно разделить на две группы:

– традиционные;

– нетрадиционные.

К традиционным моделям относят модели, основанные на состоянии модели, основанные на временных рядах. К нетрадиционным – модели, основанные на данных наблюдения.

Модели, основанные на состоянии. Наиболее общим методом моделирования источника ATM является предположение о существовании некоей машины с конечным числом состояний (FSM – finite state machine), определяющей поведение источника. Обычно предполагается, что FSM обладает марковскими или полумарковскими свойствами. Типовые модели источников этого класса различаются:

– по типу распределения времени пребывания. В большинстве моделей принимается, что время пребывания в определенном состоянии подчиняется отрицательному экспоненциальному распределению;

– по типу модулируемого процесса. Модулируемый процесс часто (из соображений легкости математической обработки) выбирается пуассоновским. Этот тип модели нацелен, в основном, на математический анализ системы;

– по структурным аспектам модели. Одной из популярных моделей является модель с двумя состояниями типа ON-OFF (ВКЛ.-ВЫКЛ.), в которой пакеты формируются в период ON и не формируются в период OFF. Активность источника часто моделируется как цепь, то есть одномерная структура, где каждое следующее состояние зависит от предыдущего, но не более раннего состояния. Модель этого типа носит название мульти- мини-источника (multi-mini-sourcemodel). Такой источник может быть рассмотрен как объединение M независимых ON-OFF источников со средними ON- и OFF-периодами $1/\alpha$ и $1/\beta$ соответственно и со скоростью λ в ON-периоде. Несмотря на ее простоту, эта модель хорошо отражает некоторые из характеристик, например, источника с VBR (variate bit rate). Однако не способна отразить

периодичности (например, кадровую), свойственные источнику с VBR. Для таких случаев разработаны процедуры, названные циркулянтными цепями.

Модели, основанные на временных рядах. Эти модели получили наибольшее внимание в моделировании видео источников с VBR.

Информационный поток источника может быть промоделирован как временной ряд, где, например, ожидаемое число бит в виде фреймов определяется числом бит в предыдущем фрейме. Другой простой моделью, ориентированной на временные ряды, которая является связующей с моделью, ориентированной на состояние, является дискретная модель авторегрессии (DAR).

Пакетированные данные из-за их пачечного характера и нелинейной природы особенно трудны для моделирования и предсказания при использовании традиционных моделей. Измерения трафика, собранные за большой период во многих странах мира, были использованы для получения статистических характеристик, необходимых для выработки стратегий управления сетью. В результате проведенных исследований появилась возможность сравнивать ранее используемые аналитические модели и подходы теории очередей с моделями, основанными на измерениях реального трафика. Для преодоления этих проблем многие исследователи обратились к альтернативным («нетрадиционным») техникам моделирования, таким как:

- калмановский фильтр;
- байесовский метод;
- аппарат нейронных сетей и нечеткой логики;
- фрактальный анализ.

Байесовский метод. Для целей управления важным параметром является пиковая и средняя интенсивность трафика. На практике вероятность получения среднего различных типов вызовов при их поступлении мала. Упомянутая проблема и проблема учета нелинейной природы трафика являются фундаментальными при построении генеральной модели потока трафика. Недостатком байесовского метода является то, что оптимизированы для некоторого источника трафика и, не вносят большой устойчивости решения.

Фильтр Калмана, рассматривался как метод для моделирования и рекурсивного предсказания поведения динамических систем. В последнее время делались попытки использовать фильтр Калмана для предсказания интенсивности голосового трафика на один шаг вперед по времени, основанного на предшествующей интенсивности трафика и среднем наблюдаемого трафика. Основным недостатком этого метода является недостаток устойчивости фильтров Калмана.

Метод нечеткой логики имеет два преимущества устойчивость к шумам и способность к самообучению. Ряд авторов основывали фазу обучения своего алгоритма на методе построения нечетких отношений посредством адаптивной кластеризации. Нечеткие отношения рассматривались при этом в качестве аналога функции передачи системы.

После фазы обучения использовались нечеткие правила вместе с наблюдаемыми величинами для предсказания будущих величин трафика. Метод использовался для демонстрации эффективности моделирования пачечного видео трафика в пакетированной сети.

Несмотря на достаточно высокую степень точности оценивания, нетрадиционные методы, все-таки требуют некоторого количества предположений. В результате сложные модели трафика требуют большого числа параметров, но обеспечивают малое проникновение в динамику трафика, наблюдаемого на реальных сетях. Поэтому ввиду наблюдаемой самоподобной природы измеренного сетевого трафика и его поведения, отличного от поведения трафика, предсказанного используемыми моделями, возобновился интерес с целью идентификации некоторых существенных характеристик к структуре «живого» сетевого трафика. К таким характеристикам относятся долговременная зависимость (LRD), медленно спадающая дисперсия, распределения с утяжеленными хвостами, фрактальные характеристики.

Структура ON-OFF-моделей источников устанавливает тождество эффекта Ноя как существенную точку отклонения от традиционного трафика к самоподобному. Эффект Ноя для а ON-OFF-моделей отдельных источников приводит к высокопеременным периодам ON-OFF, которые с некоторой вероятностью могут быть очень большими. Эффект Ноя гарантирует, что каждый ON-OFF – источник отдельно показывает характеристики, которые перекрывают широкий диапазон временных шкал. Математически для расчета эффекта Ноя использовались распределения с утяжеленными хвостами, то есть закон Парето. Параметр α, описывающий утяжеление хвоста такого распределения, дает измерение интенсивности эффекта Ноя. Они также обеспечивают простое соотношение между α и Херст параметром H, который был предложен как мера степени самоподобия трафика.

Наоборот, традиционное моделирование существенно ограничивают активности ON-OFF источников и, как следствие, много таких источников ведет себя подобно белому шуму, в том смысле, что агрегированное течение трафика лишено любой значительной корреляции, исключая возможно, короткие периоды. Статистический анализ трасс трафика на сетях Ethernet (для 100- 1000 пар активных источников) показал, что реальный трафик совпадает с ON-OFF- моделями и распределение времени пребывания в ON-OFF-состояниях может быть точно описано с использованием распределений Парето.

Одна из первых моделей для моделирования самоподобного трафика основана на хаотических отображениях. Хаос – это явление, которое описывается детерминированным процессом, причем такое описание возникает при анализе даже достаточно простых нелинейных динамических систем. При описании системы задаются ее начальное состояние и динамические законы, описывающие ее работу, т.е. процесс изменения состояния во времени. Хаос (стохастическое по внешнему виду поведение) возникает вследствие чувствительной зависимости траектории изменений состояний системы от

начальных условий. Траектории, начинающиеся от произвольного близких начальных условий, тем не менее, могут расходиться с экспоненциальной интенсивностью.

Моделирование нагрузки систем цифровой передачи может осуществляться с помощью кусочно-линейного и прерывистого отображения. Даже, если пакетная нагрузка является очень нерегулярной и пачечной, предоставляется возможность построения простых нелинейных моделей первого или второго порядка, которые позволяют преодолеть многие трудности. Моделирование может осуществляться при условии, что источник генерирует пачку пакетов при пиковой скорости (соответствующей состоянию ON), когда переменная состояния выше порога, и не генерирует никаких пакетов, когда она ниже порога (состояние OFF). При этом можно моделировать распределение времени пребывания либо с «легким хвостом», либо с «тяжелым хвостом» с бесконечной дисперсией в ON- и OFF- состояниях.

Другим методом является моделирование процесса частичного броуновского движения (fractional Brownian motion process- fbm) с Херст-параметром H.

К нетрадиционным моделям относятся модели, основанные на данных наблюдения. Измерения трафика, собранные за большой период времени во многих странах мира были использованы для получения статистических характеристик, необходимых для выбора стратегий управления сетью. В результате было установлено, что традиционные модели непригодны в части общности, адекватности и устойчивости. Несмотря на достаточно высокую степень точности оценивания, нетрадиционные модели мало соответствуют динамике высокосложной структуры измеренного трафика. Поэтому в связи с наблюдаемой хвостами, в качестве моделей стали использоваться хаотические отображения и частичное броуновское движение. Анализ системы очередей, приводимых в движение потоками фрактального трафика, показал, что модель fBm воспроизводит поведение очереди, наблюдаемой в реальных сетевых трассах самоподобной природой трафика.

1.11 Сетевые устройства сети IP

Маршрутизатор (router) – сетевое устройство, на основании информации о топологии сети и определённых правил принимающее решения о пересылке пакетов сетевого уровня модели OSI между различными сегментами сети.

Работает на более высоком уровне, нежели коммутатор и является более совершенным по своей функциональности, чем сетевой мост.

Обычно маршрутизатор использует адрес получателя, указанный в пакетах данных и определяет по таблице маршрутизации путь, по которому следует передать данные. Если в таблице маршрутизации для адреса нет описанного маршрута, пакет отбрасывается.

Существуют и другие способы определения маршрута пересылки пакетов, когда, например, используется адрес отправителя, используемые протоколы верхних уровней и другая информация, содержащаяся в заголовках пакетов сетевого уровня. Нередко маршрутизаторы могут осуществлять трансляцию адресов отправителя и получателя, фильтрацию транзитного потока данных на основе определенных правил с целью ограничения доступа, шифрование/дешифрование передаваемых данных.

Таблица маршрутизации содержит информацию, на основе которой маршрутизатор принимает решение о дальнейшей пересылке пакетов. Таблица состоит из некоторого числа записей — маршрутов, в каждой из которых содержится адрес сети получателя, адрес следующего узла, которому следует передавать пакеты и некоторый вес записи — метрика. Метрики записей в таблице играют роль в вычислении кратчайших маршрутов к различным получателям. В зависимости от модели маршрутизатора и используемых протоколов маршрутизации, в таблице может содержаться некоторая дополнительная служебная информация. Таблица маршрутизации может составляться двумя способами:

– статическая маршрутизация – когда записи в таблице вводятся и изменяются вручную. Такой способ требует вмешательства администратора каждый раз, когда происходят изменения в топологии сети. С другой стороны, он является наиболее стабильным и требующим минимума аппаратных ресурсов маршрутизатора для обслуживания таблицы;

– динамическая маршрутизация – когда записи в таблице обновляются автоматически при помощи одного или нескольких протоколов маршрутизации – RIP, OSPF, EIGRP, IS-IS, BGP, и др.

Маршрутизатор строит таблицу оптимальных путей к сетям назначения на основе различных критериев – количества промежуточных узлов, пропускной способности каналов, задержки передачи данных и т. п. Критерии вычисления оптимальных маршрутов чаще всего зависят от протокола маршрутизации, а также задаются конфигурацией маршрутизатора. Такой способ построения таблицы позволяет автоматически держать таблицу маршрутизации в актуальном состоянии и вычислять оптимальные маршруты на основе текущей топологии сети. Однако динамическая машрутизация оказывает дополнительную нагрузку на устройства, а высокая нестабильность сети может приводить к ситуациям, когда маршрутизаторы не успевают синхронизировать свои таблицы, что приводит к противоречивым сведениям о топологии сети в различных ее частях и потере передаваемых данных.

Маршрутизаторы помогают уменьшить загрузку сети, благодаря ее разделению на домены коллизий и широковещательные домены, а также благодаря фильтрации пакетов. В основном их применяют для объединения сетей разных типов, зачастую несовместимых по архитектуре и протоколам, например для объединения локальных сетей Ethernet и WAN-соединений, использующих протоколы DSL, PPP, ATM, Framerelay и т. д. Нередко маршрутизатор используется для обеспечения доступа из локальной сети в

глобальную сеть Интернет, осуществляя функции трансляции адресов и межсетевого экрана. В качестве маршрутизатора может выступать как специализированное (аппаратное) устройство, так и обычный компьютер, выполняющий функции роутера. Существует несколько пакетов ПО (в основном на основе ядра Linux) с помощью которого можно превратить ПК в высокопроизводительный и многофункциональный маршрутизатор, например GNU Zebra. Маршрутизаторы одновременно и просты и сложны.

Одно из основных отличий между маршрутизатором и любым другим коммутатором сообщений состоит в способе построения таблиц. Маршрутизаторы посылают сообщения сетям, в то время как таблицы мостов и коммутаторов содержат список адресов подуровня MAC. Маршрутизатор выполняет две основные функции: переключение трафика и обслуживание среды, в которой он работает. Обе функции можно реализовать на одном и том же процессоре, но не обязательно. Зачастую переключение трафика осуществляет отдельный интерфейсный процессор или процедура обработки прерываний ядра, в то время как процесс обслуживания среды выполняется в фоновом режиме. Качество работы IP-сетей определяется эффективностью схем маршрутизации. Разработка таких схем и управление ими – сложная задача, поскольку приходится учитывать и топологию сети, и параметры каналов связи, и существенные различия в обработке разных типов трафика. Сложность возрастает еще и потому, что все эти параметры динамически меняются во времени из-за изменения нагрузки на сеть. На рисунке 1.6 представлена функциональная модель маршрутизатора.

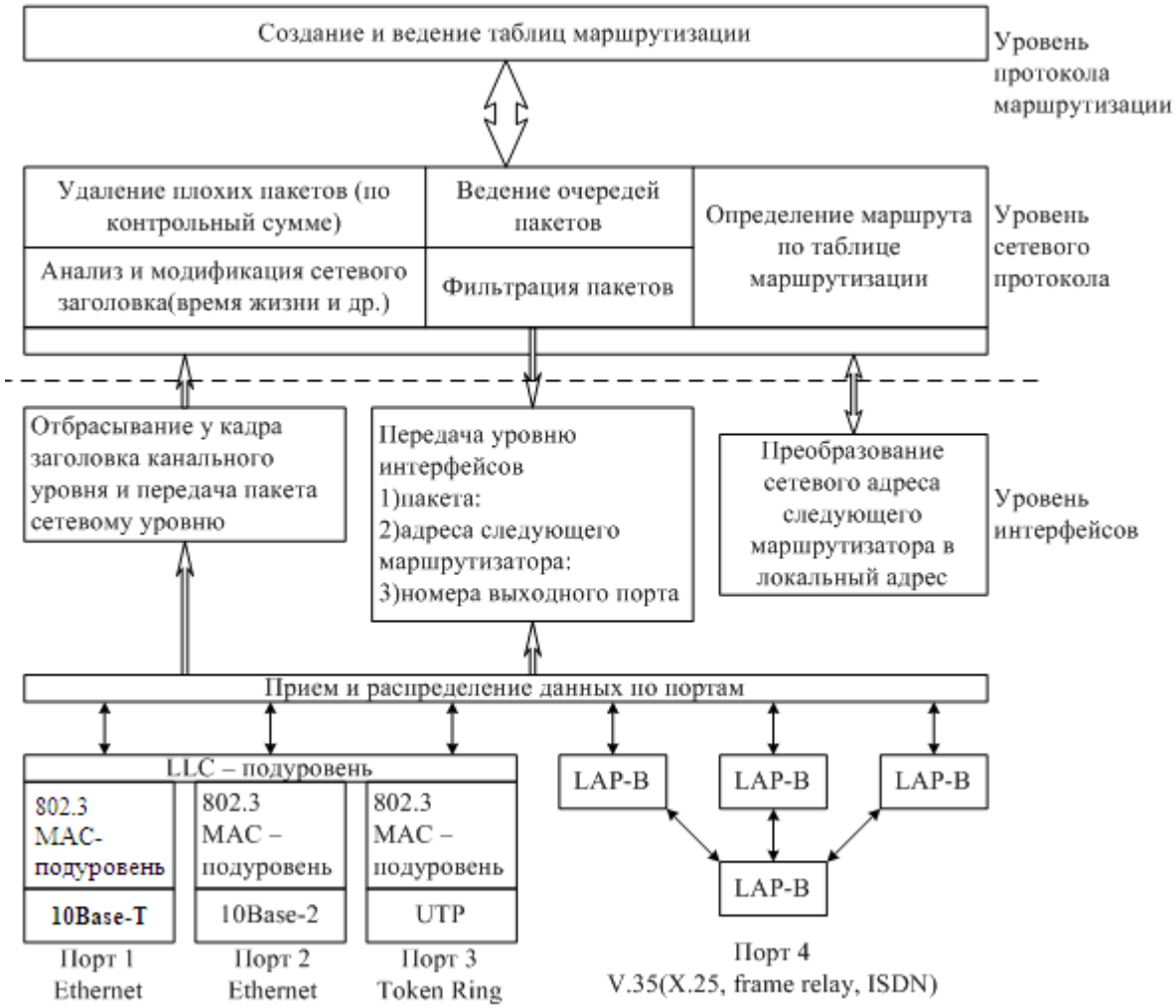

Рисунок 1.6 – Функциональная модель маршрутизатора

Уровень маршрутизации, представляет собою часть маршрутизатора, предназначенную для обслуживания среды. Маршрутизатор выполняет целый ряд приложений, причем они могут быть частью сетевой архитектуры или конфигурироваться для удобства администратором сети. Эти приложения, или процессы, выполняются на уровне приложений маршрутизации (Routing Application). Один из таких процессов – доменная служба имен (Domain Name Service, DNS): он кэширует информацию о DNS для обслуживаемых систем. Стандартными сервисами маршрутизаторов являются, например, определение топологии (topology mapping) и управление трафиком (traffic engineering). Таблица маршрутизации, иногда называемая базой данных маршрутизации – это набор маршрутов, используемых маршрутизатором в данный момент времени.

Крупные сети не могут обойтись без периодического обмена сообщениями для описания сети, однако большинство из них избыточны. По этой причине сложные сети испытывают проблемы, при выходе линий связи из строя из-за того, что несуществующие маршруты могут оставаться в таблице маршрутизации в течение длительного периода времени.

1.12 Цель и задачи исследовании

Целью данной магистерской работы является нахождение новых и более усовершенствованных способов расчета пропускной способности канала связи мультисервисной корпоративной сети, направленных на повышение эффективности использования сети и улучшение качества предоставляемых услуг.

К основным задачам можно отнести следующее:

– рассмотрение основных характеристик мультисервисных корпоративных сетей;

– изучение особенности предоставляемвх услуг;

– сбор статистики для разного вида сервисов;

– анализ собранной статистики с точки зрения теории телетрафика;

– применение полученных результатов при формировании требований к качеству предоставляемых услуг;

– разработка методики расчета пропускной способности на основе результатов проделанной работы;

– оценка эффективности применения разработанной методики расчета.

2 Исследование структуры сетевого трафика

2.1 Программа Wireshark

Программа Wireshark – программа-анализатор трафика для компьютерных сетей и служит для анализа сетевых пакетов различных сетей. Программа позволяет просматривать весь проходящий по сети трафик в режиме реального времени, переводя сетевую карту в широковещательный режим. Wireshark имеет графический пользовательский интерфейс, а так же возможности по фильтрации и сортировке информации.

Wireshark – это приложение понимает структуру самых различных сетевых протоколов, и поэтому позволяет разобрать сетевой пакет, отображая значение каждого поля протокола любого уровня. Wireshark умеет работать с множеством форматов исходных данных, соответственно, можно открывать файлы данных, захваченных другими программами, что расширяет возможности захвата.

Его задача состоит в том, чтобы перехватывать сетевой трафик и отображать его в детальном виде. Wireshark работает на основе библиотеки Pcap (Packet Capture) позволяет создавать программы анализа сетевых данных, поступающих на сетевую карту компьютера. Она написана для использования

языка C/C++. Программа также позволяет пользователю просматривать весь проходящий по сети трафик в режиме реального времени, сортировать его и фильтровать данные.

С помощью этой программы – сниффер Wireshark просмотрен сетевой трафик сети ДАИКТ в городе Алматы.

Задачей протокола транспортного уровня UDP (User Datagram Protocol) является передача данных между прикладными процессами без гарантий доставки, поэтому его пакеты могут быть потеряны, продублированы или прийти не в том порядке, в котором они были отправлены.

Дейтограммы UDP инкапсулирутся в пакеты IP. К основным функциям протокола IP относятся:

– перенос между сетями различных типов адресной информации в унифицированной форме;

– сборка и разборка пакетов при передаче их между сетями с различным максимальным значением длины пакета.

Для бесперебойной передачи VoIP, IPTV трафика и игры в режиме онлайн применение QoS является важной задачей.

Показатели QoS определяются прямой зависимостью от характеристик входящего потока мультисервисной сети.

Сегодня IP-телефония из дополнительной услуги, стала основной и включает в себя видеовызовы, многоточечные конференции разного типа (видео, аудио, Web), передачу сообщений, документов, контроль доступности абонентов, роуминг и др. В свою очередь технология IPTV, представляющая собой технологию доставки мультимедийных услуг (ТВ, аудио/видео, текст, данные, графика) развивается на базе сетей IP в интерактивном режиме и в режиме вещания.

Каждый из многочисленных сервисов выдвигает свои требования к QoS и к каналу связи для полноценного функционирования. Поэтому продолжаются исследования информационных потоков с целью обеспечения заданного уровня сервиса предоставляемым услугам.

2.2 Методы исследования трафика

Экспериментальные исследования и анализ многочисленных измерений информационных потоков на пакетном уровне указывают на специфическую природу процессов в компьютерных сетях, не укладывающуюся в традиционные рамки известных случайных моделей. Это объясняется многочисленные исследования, проводимые в настоящее время с целью изучения влияния различных факторов, приводящих к возникновению сложных сетевых процессов. Характерным для описания процессов передачи данных пакетным трафиком являются обнаруженные на практике свойства самоподобия или масштабной инвариантности статистических характеристик.

Эти свойства связывают с особым классом физических процессов – фрактальными процессами.

В самоподобном трафике присутствует некоторое количество достаточно сильных выбросов на фоне относительного низкого среднего уровня, что значительно увеличивает задержки и джиттер при прохождении самоподобного трафика через сеть, даже в случаях, когда средняя интенсивность трафика намного ниже потенциально достижимой скорости передачи в данном канале.

Пакетированные данные из-за их пачечного характера и нелинейной природы трудны для моделирования и предсказания при использовании классических моделей. Многочисленные измерения трафика во всех странах мира используются для получения статистических характеристик, необходимых для выработки стратегий по качеству обслуживания и управления сетью. В результате этих исследований появилась возможность сравнения ранее используемых классических моделей и методов, основанных на измерениях реального трафика.

Анализ фрактальных свойств временных рядов является одним из перспективных направлений анализа данных.

Объемы сообщений в информационных потоках образуют временные ряды. Временной ряд (лаг) – разрыв во времени между двумя или несколькими событиями, находящимися в причинно-следственной связи.

Для исследования временных рядов сегодня используется теория фракталов. Имеются различные методы анализа временных рядов.

Осуществим анализ временного ряда по показателю Херста H для определения его важных характеристик, таких как наличие не периодических циклов, памяти и т. п.

Телекоммуникационные технологии в последние годы переживают масштабные перемены, связанные с интеграцией сетей и услуг связи.

Появляются новые сервисы, традиционные сервисы и услуги переходя тна платформу IP, количество потребителей таких сервисов растет очень высокими темпами. Для этого широко применяется теория систем массового обслуживания. Ведущее место в общей математической модели СМО занимает модель входящего потока заявок, поступающих в систему на обслуживание (модель трафика). От правильного выбора этой модели зависит точность расчета основных характеристик СМО, определяющих работу системы в целом. Согласно теории телетрафика в таких сетях для анализа и синтеза используют пуассоновскую модель .

Увеличение объема предоставляемых услуг приводит к необходимости быстрой реорганизации сети, появлению новых абонентов и перераспределению нагрузок. Все это вызывае тнеобходимость быстрой оценки требуемой пропускной способности интерфейсов доступа. Применявшиеся ранее формулы оценки размеров очередей пригодны исключительно для пуассоновских потоков.

В то же время в работе описано, что для анализа трафика мультисервисных сетей нельзя применять пуассоновскую модель. В пакетных

мультисервисных сетях связи потоки пакетов (трафик) существенно отличаются от модели пуассоновского потока, описываемого экспоненциальной функцией распределения интервала времени между моментами поступления соседних пакетов. Здесь потоки пакетов формируются множеством различных источников запросов на предоставляемые сетью услуги и сетевыми приложениями, обеспечивающими услуги передачи видео, данных, речи и др. Источники запросов, участвуя в процессе создания потока пакетов, существенно отличаются между собой значениями удельной интенсивности нагрузки.

На структуру трафика также оказывают влияние и технологические особенности применяемых алгоритмов обслуживания. Например, если услуга обеспечивается несколькими приложениями, или, в используемых протоколах применяется повторная передача неверно-принятых пакетов, то моменты возникновения запросов на установление сеансов связи сильно коррелированны. Из-за этого, в процессе обслуживания исходные потоки претерпевают значительные изменения и в итоговом трафике появляются долгосрочные зависимости в интенсивности поступления пакетов.

В мультисервисных сетях с коммутацией пакетов трафик является разнородным, а потоки разных приложений требуют обеспечения соответствующих уровней качества обслуживания.

3. Экспериментальная часть

3.1 Обзор исследований и разработок по теме

Проектирование телекоммуникационной сети предполагает рассмотрение вариантов её построения с точки зрения оптимизации некоторых факторов, таких как: качество предоставляемых услуг связи, цена построения сети и дальнейшей её эксплуатации, возможность изменения конфигурации сети в будущем.

Разнообразие информационного трафика в корпоративной сети требует особого подхода к распределению его по каналам связи. То есть, в зависимости от требований к качеству предоставления услуг, можно забронировать полосу пропускания для отдельных сервисов. Это необходимо для максимальной оптимизации качества связи и для оптимальной загрузки канала.

Классифицировано три типа трафика мультисервисных сетей, имеющих место в отдельных сегментах или сети в целом: однородный, разнородный и пачечный. Степень их отличия определяется пик-фактором трафика или коэффициентом скученности нагрузки, находящимся в пределах 1 2, 2-15 и 15-60 соответственно. Для каждого из типов трафика разработаны адекватные методы расчета характеристик качества обслуживания (QoS).

Разнообразие информационного трафика в корпоративной сети требует особого подхода к распределению его по каналам связи. То есть, в зависимости от требований к качеству предоставления услуг, можно забронировать полосу пропускания для отдельных сервисов. Это необходимо для максимальной оптимизации качества связи и для оптимальной загрузки канала.

Для того чтобы подробно ознакомиться с особенностями разнообразных информационных потоков, необходимо проанализировать их с точки зрения теории телетрафика. Такой подход помимо всего предполагает более удобный контроль качества предоставляемых услуг, что является немаловажным.

Законы распределения некоторых потоков событий, возникающих в телекоммуникационных сетях, помогут приблизиться к решению проблемы оптимальной загрузки сети.

Чтобы проводить исследования необходимо иметь платформу. В качестве таковой была взята сеть «ДАИКТ» и собрана в программе NetCraker. Результаты исследования характеристик и законов распределения некоторых событий разного рода трафика, существующего в мультисервисных сетях, будут применяться при определении требований к качеству предоставляемых услуг.

Полученные данные, в свою очередь, станут основой для разработки методики расчета пропускной способности. На рисунке 3.1 изображен сегмент сети (рассмотрен один из филиалов АО “Казахтелеком”). Здесь можно увидеть движение информационных пакетов различных услуг. Каждая услуга обозначена своим цветом.

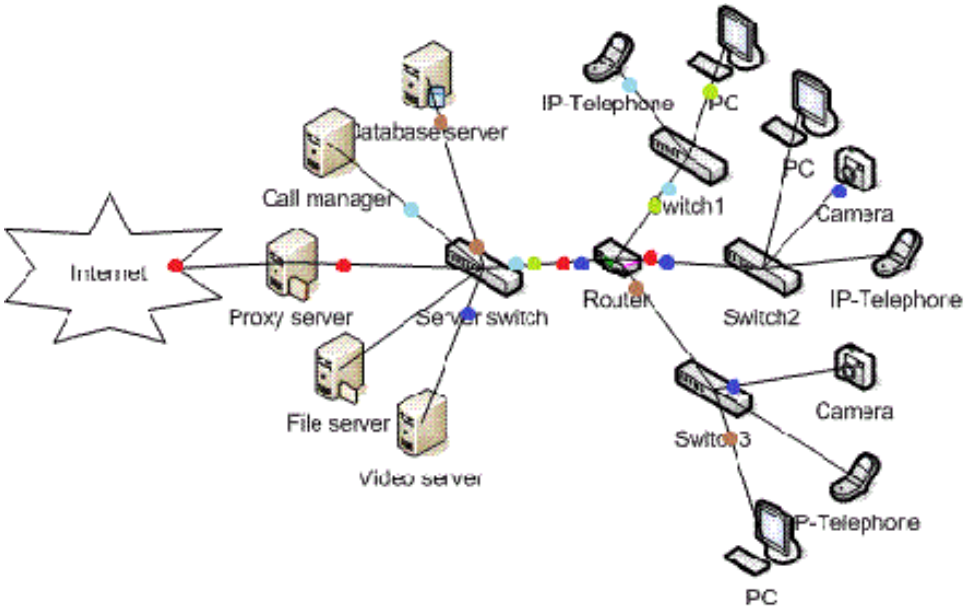

Рисунок 3.1 – Движение пакетов в мультисервисной сети
(Анимация: количество кадров - 10; задержка между кадрами - 300 мс; количество циклов повторения - бесконечное)

Цвета означают следующее: синий – данные видео (видеонаблюдение), голубой – данные

аудио (IP-телефония), зеленый – передача файлов (FTP), коричневый – сервис базы данных, красный – сервис Internet.

Конечно, на рисунке показан лишь малый набор возможных действий в такой сети, но уже сейчас можно сделать определенные выводы.

Как видим, наибольшая концентрация трафика наблюдается на участке сети «Router – Servers Switch». Это и понятно, весь трафик проходит через этот канал. Для того, чтобы каналы связи на различных участках сети использовались максимально эффективно, можно для каждого сервиса рассчитать необходимую ему полосу пропускания. Наиболее точно определить это можно зная законы распределения потоков предлагаемых сервисов (под потоком понимаем различные последовательности событий).

3.2 Проведенные исследования

С помощью пакета Wireshark была получена практическая статистика, на основании которой были получены результаты. Статистика была собрана для основных видов услуг. Главным образом на этом этапе рассматривалось распределение величин передаваемых по сети пакетов той или иной услуги. Вообще можно таким же образом рассматривать распределение длин пауз между поступлением таких пакетов (это будет рассматриваться в будущем). Полученные результаты приведены в виде графиков (рисунок 2-6). Исходя из полученного результата, можно сделать вывод относительно законов распределения размеров пакетов различных телекоммуникационных услуг:

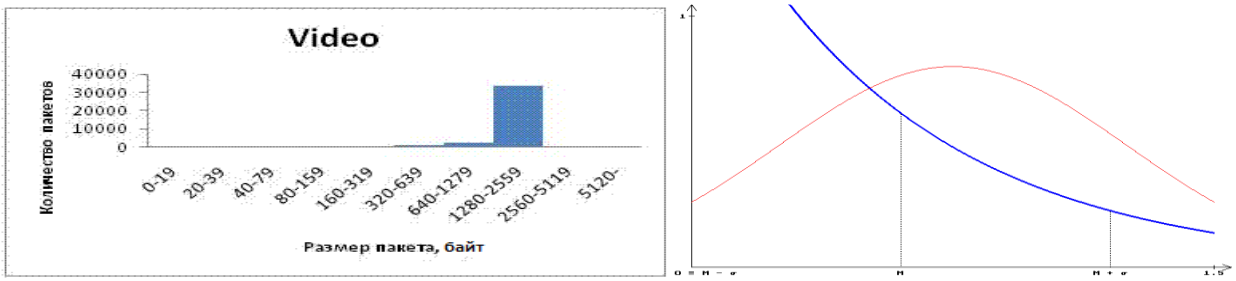

Рисунок 3.2 – Распределение длин пакетов при передаче видео

Из рисунка 3.2 видно, что распределение размеров пакета носит экспоненциальный характер, так как гистограмма имеет форму экспоненты.

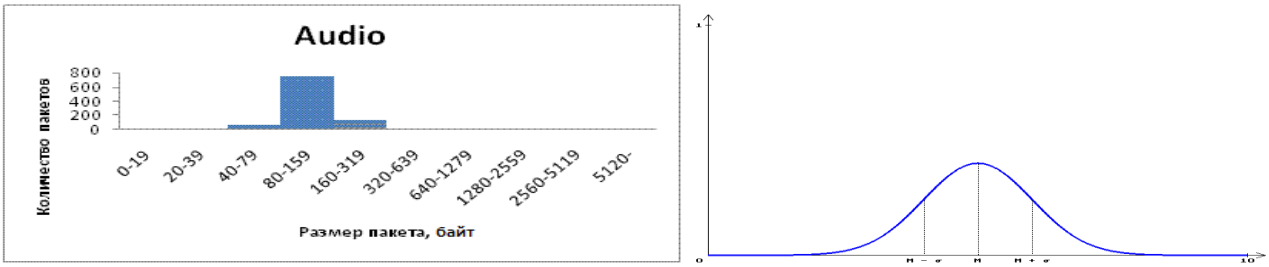

Рисунок 3.3 – Распределение длин пакетов при передаче аудио

Из рисунка 3.3 видно, что Audioданные (IP-телефония) имеет форму нормального распределение.

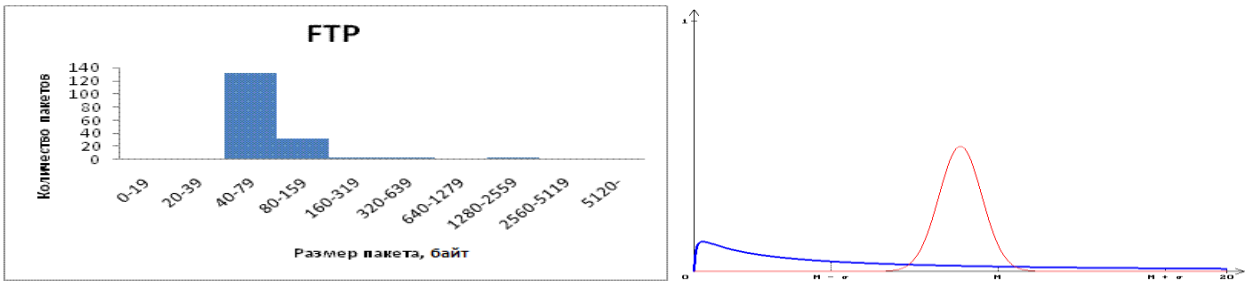

Рисунок 3.4 – Распределение длин пакетов при передаче файлов

Из рисунка 3.4 видно, что передача файлов (FTP) имеет форму логнормального распределение.

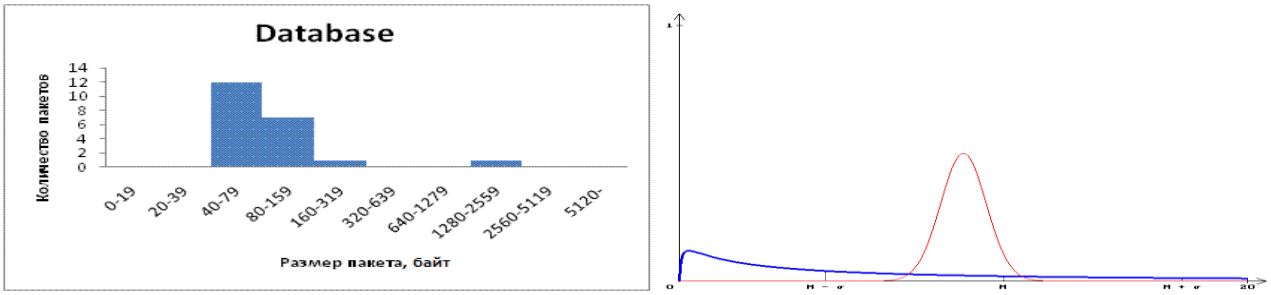

Рисунок 3.5 – Распределение длин пакетов при пользовании базами данных

Из рисунка 3.5 видно, чтосервис базы данных имеет форму логнормального распределение.

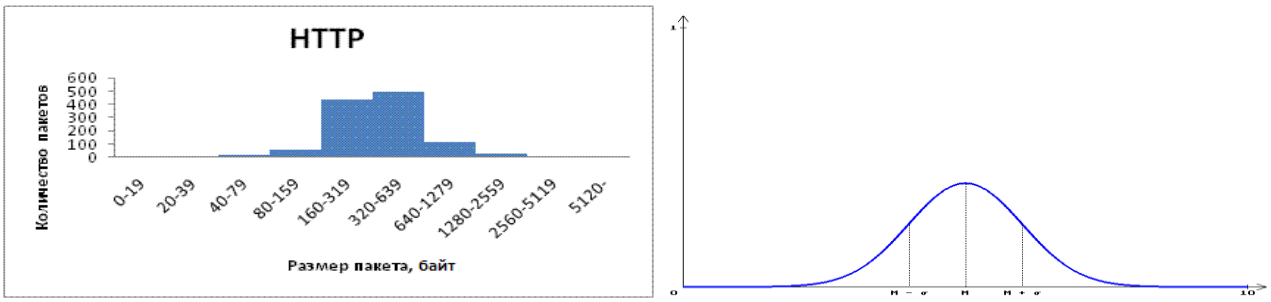

Рисунок 3.6 – Распределение длин пакетов HTTP трафика

Из рисунка 3.6 видно, что сервис Internet имеет форму нормального распределение.

В первую очередь, следует отметить, что совершенно точно и окончательно нельзя утверждать о пренадлежности определенного ряда событий к конкретному закону распределения. Всегда имеет место влияние многих факторов. Но, если для рассмотрениея взять стандартные примеры, то можно сделать вполне обоснованные выводы.

Также, данный вид статистики не является одним единственным, который можно рассматривать при решении озвученной проблемы. Существует

огромное количество разнообразных данных, которые так или иначе могут повлиять на принятие решения.

Полученные практическим способом возможные законы распределения, можно использовать при определении требований для той или иной услуги связи. Исходя из чего, можно забронировать для сервисов необходимые полосы пропускания, что улучшит производительность сети, увеличит её надежность и даст возможность управлять ей и её параметрами.

Однако уже сейчас нам известны некоторые требования к качеству, на которые можно опираться. Приведем основные из них в таблицах 3.1 и 3.2.

Т а б л и ц а 3.1 - Параметры IP QoS классов

Параметр	Класс 0	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Задержка	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	-
Вариация задержки	50 мс	50 мс	-	-	-	-
Процент потерянных пакетов	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	-

Основные функции QoS заключаются в обеспечении необходимых параметров сервиса, относительно трафика они определяются как:

– классификация (соотнесение пакета к определенному классу трафика);

– разметка (назначение соответствующего приоритета (метки));

– предотвращение перегрузок (использование механизмов RED (отбрасывание пакетов из мощных потоков) и ECN (сообщение о снижении интенсивности));

– управление перегрузками (использование механизма очередей); регулирование.

В таблице 3.2 приведены 6 классов трафика, которые используют для обеспечения механизмов QoS.

Т а б л и ц а 3.2 - QoS классы для IP сетей

Класс QoS	Пример приложений	Механизмы в узле	Сетевые приемы
0	Трафик реального времени, интерактивный, чувствительный к джитеру	Отдельные очереди с приоритетом обслуживания, упорядочивание трафика	Принудительная маршрутизация и путь
1	Трафик реального времени, интерактивный, чувствительный к	Отдельные очереди с приоритетом обслуживания, упорядочивание	Менее принудительная маршрутизация и путь

	джитеру	трафика	
2	Передача данных, очень интерактивный	Отдельные очереди, приоритет	Принудительная маршрутизация и

Окончание таблицы 3.2.

Класс QoS	Пример приложений	Механизмы в узле	Сетевые приемы
	трафик (сигнальная информация)	отброса пакетов	путь
3	Передача данных, интерактивный трафик	Отдельные очереди, приоритет отброса пакетов	Менее принудительная маршрутизация и путь
4	Трафик с низкими потерями (мелкие пересылки, большой трафик, видео потоки)	Длинные очереди, приоритет отброса пакетов	Любая маршрутизация или путь
5	Традиционные приложения IP сетей	Отдельные очереди (фоновый приоритет)	Любая маршрутизация или путь

3.3 Выводы по третьей главе

В данной работе были рассмотрены основные принципы построения мультисервисных корпоративных сетей, исследованы характеристики основных типов трафика, характерных для таких сетей. Далее было предложено решение, которое может стать полезным при рассмотрении проблемы оптимизации. Это решение заключается в привязке законов распределения показателей трафика к моделированию и проектированию сети. Рассмотренная выше информация в следующей главе послужит основой для выбора приближенного метода расчета.

4 Методы расчета характеристик качества обслуживания в цифровых системах интегрального обслуживания

4.1 Общие положения

Объединение различных видов связи на основе единых организационных и технологических принципов является одним из этапов создания цифровой сети с интеграцией служб (ISDN). Такая сеть предоставляет пользователям возможность мультисервисного обслуживания, т.е. передавать, принимать, обрабатывать различную по виду и объему информацию в цифровом виде. При этом возникают вопросы оценки качества обслуживания пользователей (прямая задача) и вопросы расчета объема ресурсов сети (обратная задача), которые зависят как от характера трафика, так и от пропускной способности отдельных звеньев мультисервиснойсети.

Изложению особенностей трафика в ISDN показано, что потоки вызовов в этих сетях не являются простейшими, а нагрузка не является пуассоновской. Что касается входящих потоков, то промежутки между вызовами распределяются не по показательному закону, а представляют собой свертку гамма-распределений разных порядков и распределения Парето. Нагрузка на сетях мультисервисного обслуживания носит самоподобный характер, т.е. отличается от пуассоновской наличием долгосрочной зависимости. Есть три точки зрения к описанию самоподобной нагрузки:

- теория фракталов;
- хаотические отображения;
- степенные функции.

В качестве примера самоподобного процесса с непрерывным временем введено понятие – нагрузка типа ФБР (фрактальное броуновское движение). Таким образом, при расчете качества обслуживания (ресурсов сети) необходимо учитывать изменение класса входящих потоков и изменение свойств и характеристик создаваемой ими нагрузки.

В нашей стране активно создается узкополосная ISDN (N-ISDN), которая предоставляет пользователям услуги на основе многоканальной коммутации. Эти услуги требуют различной скорости передачи информации и, как следствие, каналов с различной пропускной способностью. В сети N-ISDN это базовый канал типа B (64 Кбит/с) и его кратные комбинации 2B, 3B, …, 30B. Обязательными являются каналы B, 2B и 30B, представляющие стандартные интерфейсы станций с услугами ISDN. В связи с этим возникает важная проблема – разработка метода расчета числа потоков со скоростью 2 Мбит/с (канал 30B) на магистралях ISDN.

4.2 Обслуживание самоподобной нагрузки

По аналогии с телефонными сетями, на которых различают удельную абонентскую и общую нагрузку, в современных сетях цифровой передачи различают нагрузку на *прикладном* и *сетевом* уровнях.

Самоподобная нагрузка на прикладном уровне может наблюдаться, если самоподобие присуще самому источнику. Примером может являться источник цифровой видеопередачи с переменной скоростью.

Самоподобная нагрузка на сетевом уровне формируется в ходе ее взаимодействия с сетью и может меняться в зависимости от перегрузки сети, схем переприема, требованиям к объемам файлов и др. Все это затрудняет выполнение расчетов и требует новых подходов в ТТ.

Одной из первых работ в этом направлении являются исследования финского специалиста И. Норроса. Он модифицировал формулу Полячека – Хинчина, учитывающую самоподобный характер поступающей нагрузки

$$\bar{\gamma} = \frac{y^{\frac{1}{2}(1-H)}}{2(1-y)^{\frac{H}{1-H}}}\left(1+\left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2\right), \tag{4.1}$$

где H – параметр Хёрста, характеризующий степень самоподобия (0,5≤H≤1). При H=0,5 нагрузка теряет свойства самоподобия, приведенное выражение упрощается и принимает классический вид:

$$\bar{\gamma} = \frac{y}{2(1-y)}\left(1+\left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2\right) \tag{4.2}$$

Для модели M/M/1 при $\bar{t}=1\ \sigma_{t/t}=1$. Тогда

$$\bar{\gamma} = \frac{y}{1-y};\ \overline{\gamma_2} = \frac{y}{1-y};\ \bar{j} = \frac{y^2}{1-y}; \tag{4.3}$$

Для модели M/D/1 d_t=0

$$\bar{\gamma} = \frac{y}{2(1-y)};\ \bar{\gamma}_2 = \frac{y}{1-y};\ \bar{j} = \frac{y}{1-y} - \frac{y^2}{2(1-y)} \tag{4.4}$$

Приведенные выражения иллюстрируются графиком на рисунке 4.1, где показана зависимость длины очереди от пуассоновской нагрузки и самоподобной нагрузки типа ФБД с H=0,75; 0,9.

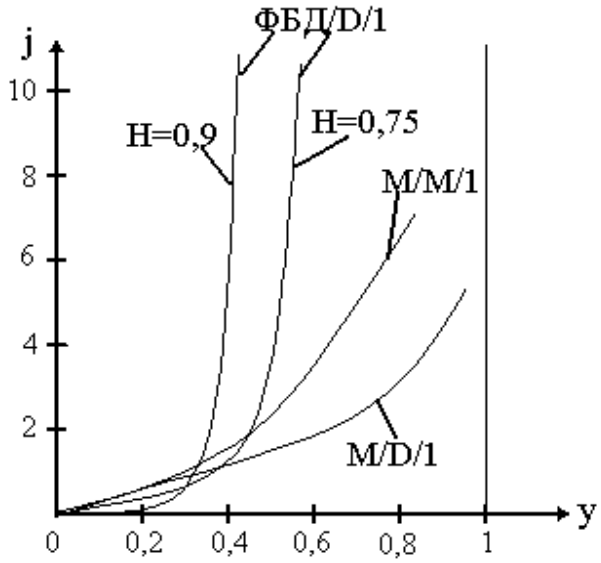

Рисунок 4.1 – Зависимость j=f(y)

Как видно из рисунка, требования к накопителям, предъявляемые в классической теории телетрафика, здесь отвергаются начиная с небольших значений нагрузки, из-за сильной долгосрочной зависимости нагрузки (большие значения параметра Херста). Поэтому, если нужно обслужить большую самоподобную нагрузку, необходимо предусмотреть накопители достаточно большой емкости, чем это требуется на основании расчетов классической теории.

4.3 Расчет пропускной способности мультисервисных телекоммуникационных сетей

Постановка задачи здесь аналогична предыдущему методу. Системы коммутации на узле коммутации (УК) N-ISDN должны соединять между собой одновременно i каналов $1 \le i \le v$, где v- число каналов в направлении связи. При исследовании данной модели в работе используется 3-я формула Эрланга. Пусть на *идеально-симметричную полнодоступную схему* емкостью v и доступностью d поступает *стационарный маркированный пуассоновский поток* вызовов с параметромλ. С вероятностью

$$\varpi = \frac{\lambda_2}{\lambda},\ i = \overline{1,u},\ u \le d \qquad (4.5)$$

поступает вызов, требующий для обслуживания i каналов. Если число свободных каналов в этот момент меньше i, то вызов теряется. Закон распределения длительности обслуживания вызовов принимается экспоненциальным с параметром b_i. В этих условиях действие системы можно описать марковским процессом

$$X(t)=\{x_1,\ldots,x_i,\ldots x_u\},$$

где x_i – число i-канальных вызовов, обслуживаемых системой в момент времени(t).

Потери i-канальных вызовов будут происходить в случае, когда |X| + i > V. Тогда потери i-канальных вызовов из-за занятости каналов пучка будут равны

$$P_{V_I} = \sum_{j-1}^{i-1} P_{V-j} \tag{4.6}$$

а общие потери из-за занятости каналов пучка

$$P_V = \sum_{i-1}^{u} \omega_2 P_{V_I} \tag{4.7}$$

где P_{V-j} – вероятность занятости (V-j) каналов из v.

С учетом того, что среди i свободных i каналов могут находиться заблокированные, вероятность блокировки при установлении соединения для i-канального вызова:

$$P_V = \sum_{\gamma-0}^{i} \sum_{j-d-\gamma}^{V-i} \left[\prod_{i-j}^{j+\gamma-1} \psi_2 \right] \omega_{j+r} P_j \tag{4.8}$$

где, P_j – вероятность занятости j каналов из v;

$\psi_2 = 1 - \frac{C_i^d}{C_V^d}$ - условная вероятность того, что вызов, поступивший в i-ом состоянии системы будет обслужен;

$\psi_i = 1 - \frac{C_i^d}{C_V^d}$ - условная вероятность того, что вызов, поступивший в i-ом состоянии системы будет потерян;

$$\varphi_ш + \psi_ш = 1 \tag{4.9}$$

Средневзвешенные потери в следствии внутренних блокировок на узле:

$$P_{\delta\pi} = \sum_{i-1}^{u} \omega_2 P_{b_I} \qquad (4.10)$$

Общие потери от внутренних блокировок УК и потерь из-за блокировки исходящего пучка каналов:

$$P = P_{\delta\pi} + P_V \qquad (4.11)$$

Величина (d) интерпретируется как эффективная доступность узла коммутации в данном направлении. Тогда при d=V идеально-симметричная система переходит в полнодоступную и полученные формулы переходят в формулы мультисервисного полнодоступного пучка каналов. Изложенный метод может использоваться для определения качества обслуживания пользователей (прямая задача) и расчета ресурсов сети (числа каналов, скорости передачи и др.) – обратная задача.

4.3.1 Прямая задача

Пологая, что пользователю сети может представляться обслуживание по каналам В, 2В и 30В, обозначим поступающие (исходящие и входящие) нагрузки соответственно через A_1, A_2, A_{30}. данное соотношение называется *профилем* трафика. Зададимся профилем трафика типа

A_1:A_2:A_{30}=90:9:1, причем A_1=12 Эрл.

Результаты вычислений по приведенным выше формулам представлены на рисунке 4.2.

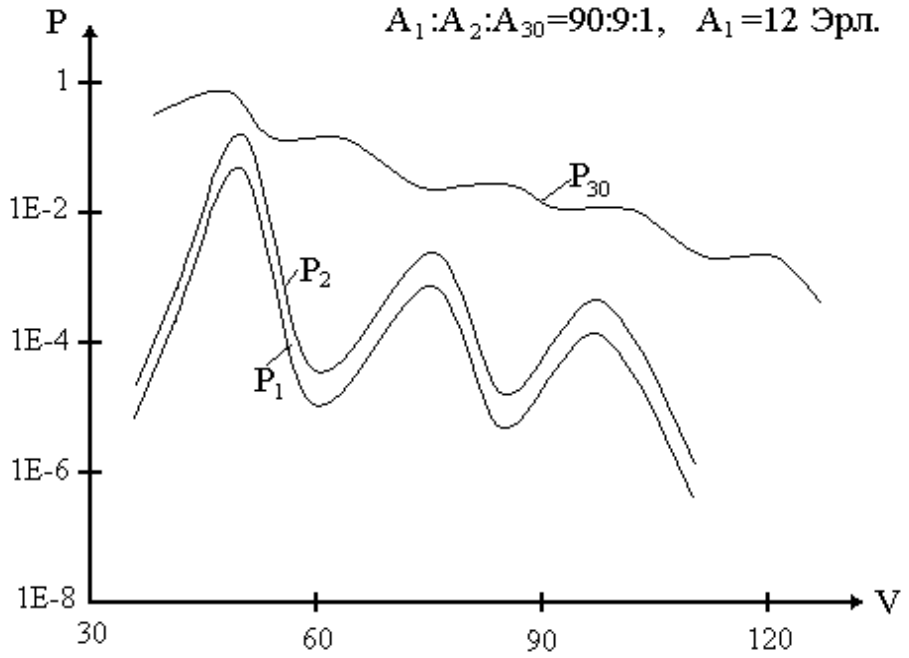

Рисунок 4.2 – Зависимость P=f(V)

Из рисунка видно, что при общей тенденции к уменьшению, потери имеют волнообразный характер. Это означает, что необоснованное увеличение числа цифровых каналов может привести даже к ухудшению качества обслуживания для некоторых классов пользователей. Аналогичная тенденция сохраняется при изменении профиля трафика.

4.3.2 Обратная задача.

Результаты, полученные при решении прямой задачи позволяют сделать следующие выводы:

– Предоставление услуг, требующих различного числа канальных ресурсов, приводит к значительной неравномерности вероятности потерь для различных пользователей.

– При фиксированной емкости пучка каналов невозможно одновременно удовлетворить наперед заданное качество обслуживания для разных классов пользователей.

Одним из возможных подходов к решению этой задачи является использование *нормированных средневзвешенных потерь*. Проиллюстрируем это понятие графиком зависимости потерь от числа двух мегабитных потоков для трафика, имеющего следующий профиль:

$$A_1:A_2:A_{30}=100:10:1.$$

При этом A_1=100 Эрл, A_2=10 Эрл,A_{30}=1 Эрл.

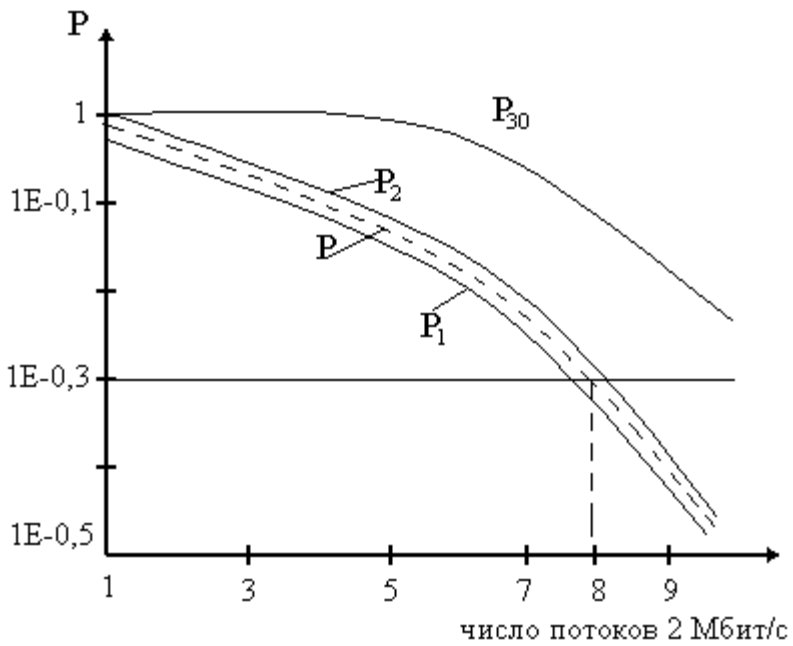

Рисунок 4.3 – Зависимость потерь от числа двух мегабитных потоков для трех классов пользователей

Из рисунка видно, что при выборе средневзвешенных потерь P=0,001 требуется 8 двух мегабитных трактов, что соответствует пропускной способности в 16 Мбит/с или V=240 каналов по 64 Мбит/с в каждом. В этом случае качество обслуживания будет следующим:

$$P_1=6{,}2E\text{-}0{,}4,\ P_2=1{,}27E\text{-}0{,}3,\ P_{30}=3{,}83E\text{-}0{,}2.$$

Это является вполне приемлемым даже для наихудшего случая предоставления услуги 30В. Изложенный выше материал позволяет сделать следующие выводы:

- Расчет можно выполнять для средневзвешенных потерь.
- При выборе нормы среднеквадратичных потерь P=0,001, качество обслуживания в наихудшем случае (услуга 30В) не превышает нескольких процентов.

Приведенные численные исследования различных профилей трафика показали, что при определении числа цифровых трактов достаточно ограничиться применением линейной регрессии. На рисунке 4.4 представлены зависимости необходимого числа двух мегабитных трактов от изменения интенсивности нагрузки A_1 для трех профилей:

$$A_1:A_2:A_{30}=100:0:0;$$
$$A_1:A_2:A_{30}=100:10:1;$$
$$A_1:A_2:A_{30}=100:10:3.$$

Профиль 100:0:0 соответствует случаю отсутствия мультисервисного обслуживания. На этом рисунке для сравнения показано число потоков 2Мбит/с, размещаемых в синхронном транспортном модуле STM-1 цифровой системы SDN.

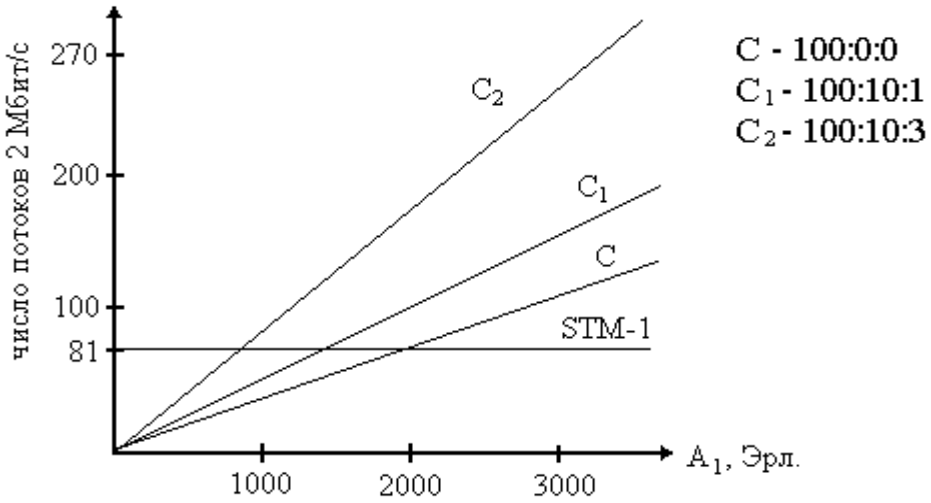

Рисунок 4.4 – Зависимость числа двухмегабитных каналов от нагрузки A_1 для трех профилей трафика

Из рисунка видно, что относительно небольшое увеличение числа пользователей услуги 30В, приводит к необходимости резкого увеличения пропускной способности магистралей. Например, увеличение трафика A_{30} с4 до 12 Эрл удваивает число двух мегабитных потоков. В заключение отметим, что в случае, если заданный трафик отличается от рассмотренных, то пользуясь рассмотренным методом, можно получить аналогичные расчетные формулы или номограммы.

4.4 Приближенный метод расчета характеристик качества обслуживания распределенных систем обработки информации

Как уже отмечалось, исследуемые модели характеризуются тем, что в сети связи циркулируют потоки трафика, включающие информацию разного вида. При этом одни и те же ресурсы сети служат для коммутации и передачи потоков с отличающимися характеристиками, т.е. в данном случае имеет место многоканальная коммутация.

Объектом исследования в данном методе выбрал полнодоступную группу из v цифровых каналов. Входящим потоком принимается *неординарный маркированный пуассоновский поток* (НМПП). Общий поток интенсивностью m создается вызовами (n) типов, при этом каждый вызов с вероятностью $\omega_2 = \left(i = \overline{1,n}\right)$ требует одновременного наличия m_i свободных

каналов, которые занимаются в течение времени h_i и после этого одновременно освобождаются.

Основная идея метода заключается в замене НМПП эквивалентным по действию ординарным рекуррентным потоком. Для обоснования данного подхода рассмотрим полнодоступную систему s, состоящую из v каналов. На систему поступает простейший поток с параметромλ, причем каждый вызов требует для обслуживания μ каналов и занимает их на время h. Моменты распределения поступающей нагрузки определяется как,

$$y = \lambda hm\,;\; D = \lambda hm^2 \tag{4.12}$$

а коэффициент скученности нагрузки:

$$z = \frac{D}{y} = m \tag{4.13}$$

Для расчета вероятности потери вызова исследуем модифицированную модель из $\upsilon = \nu/m$ комплектов, каждый из которых объединяет μ каналов. Отдельно поступающему вызову требуется для обслуживания один из таких комплектов, поэтому поток вызовов можно считать *ординарным*. Поступающая нагрузка в модифицированной модели определяется числом занятых комплектов, считается *пуассоновской первого рода* с первым моментом, равным μ·h. Это положение позволяет определить вероятность потери вызова (π) по первой формуле Эрланга

$$\pi = E_\nu\left(\mu h\right) \tag{4.14}$$

В целом для системы s имеем:

$$\pi = E_{\nu/z}\left(y/z\right) \tag{4.15}$$

где, z – коэффициент скученности нагрузки. В случае многомерных потоков нагрузки с заявками разных типов имеем:

$$y = \sum_{i-1}^{n} \lambda_i h_i m_i\,;\; D = \sum_{i-1}^{n} \lambda_i h_i m_i^2 \text{ ,где: } \lambda_i = \omega_i \lambda\,.$$

Откуда видно, что скученность суммарного потока неоднородных вызовов равна средневзвешенному числу каналов (μ_i), которые требуются для обслуживания одной заявки i-го типа, с весами $\lambda_i \cdot h_i \cdot \mu_i$, равным соответствующим нагрузкам.

После определения по формуле (4.15) средней вероятности потерь для произвольной заявки (π) расчет индивидуальных потерь (π_i) для заявок i-го типа ($i=\overline{1,n}$) можно произвести с помощью приближенной формулы

$$\pi_i = \frac{m_i}{z}\pi \tag{4.16}$$

В таблице 4.1 приведены результаты расчета потерь по приведенным выше формулам и точным при n=3, μ=3 и v=70.

Т а б л и ц а 4.1 – Результаты вычислений

n	v	i	$\lambda_i h_i \mu_i$	μ_i	π_i	
					прибл.	точно
3	70	1	20	1	0,01347	0,0137
		2	10	2	0,0274	0,0293
		3	5	3	0,0412	0,0470

Из таблицы видно, что точность приближенной оценки вероятности потерь для индивидуальных потоков является вполне удовлетворительной.

5 Расчет надежности IP-сети

Рассматриваемые показатели применяются для оценки надежности как невосстанавливаемых, так и подлежащих ремонту, т.е. восстанавливаемых объектов до появления первого отказа.

Вероятность безотказной работы *P(t)* – это вероятность того, что в заданном интервале времени *(0, t)* в системе или элементе не произойдет отказ.

Статистически $P(t)$ определяется по формуле:

$$P(0) = N(t)/N(0), \tag{5.1}$$

где $N(t)$ – число элементов, безотказно проработавших до момента *t*;

$N(0)$ – первоначальное число наблюдаемых элементов.

Число работоспособных в течение времени $(0,t)$ элементов определяется из соотношения:

$$N(t) = N(0) - n(0,t), \tag{5.2}$$

где $n(0,t)$ – число отказавших за время $(0,t)$ элементов.

Вероятность появления отказа $Q(t)$ – это вероятность того, что в заданном интервале времени $(0,t)$ произойдет отказ. Статистическая оценка $Q(t)$ производится по формуле:

$$Q(t) = n(0,t)/N(0)\,. \qquad (5.3)$$

Таким образом, всегда имеет место соотношение:

$$P(t) + Q(t) = 1\,. \qquad (5.4)$$

Частота отказов $a(t)$ – это производная от вероятности появления отказа, означающая вероятность того, что отказ элемента произойдет за единицу времени $(t, t+\Delta t)$. Она определяется по формуле:

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dP(t)}{dt}\,. \qquad (5.5)$$

Для упрощенного определения величины $a(t)$ используем статистическую оценку:

$$a(t) = \frac{n(t,\Delta t)}{N(0)\times\Delta t}\,, \qquad (5.6)$$

где $n(t,\Delta t)$ – число элементов, отказавших в интервале времени от t до $t+\Delta t$.

Точность статистической оценки (5.7) возрастает с увеличением первоначального числа наблюдаемых элементов и уменьшением временного интервала Δt [5].

Частота отказов, вероятность безотказной работы и вероятность появления отказа связаны следующими зависимостями:

$$P(t) = \int_t^{\infty} a(x)dx\,, \qquad (5.7)$$

$$Q(t) = \int_0^{t} a(x)dx\,. \qquad (5.8)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это условная вероятность отказа после момента t за единицу времени Δt при условии, что до момента t отказа элемента не было.

Интенсивность отказов связана с частотой отказов и вероятностью безотказной работы соотношением:

$$\lambda(t) = a(t)/P(t)\,. \qquad (5.9)$$

Так как $P(t) \le 1$, то всегда выполняется соотношение $\lambda(t) \le a(t)$. Статистически интенсивность отказов определяется по формуле:

$$a(t) = \frac{n(t, \Delta t)}{N(t) \times \Delta t}\,. \qquad (5.10)$$

Различие между частотой и интенсивностью отказов в том, что первый показатель характеризует вероятность отказа за интервал $(t + t + \Delta t)$ элемента, взятого из группы элементов произвольным образом, причем неизвестно, в каком состоянии (работоспособном или неработоспособном) находится выбранный элемент. Второй показатель характеризует вероятность отказа за тот же интервал времени элемента, взятого из группы оставшихся работоспособными к моменту t элементов.

Интегрируя получаем формулу – определения вероятности безотказной работы в зависимости от интенсивности отказов и времени:

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^1 \lambda(x)dx\right]. \qquad (5.11)$$

Рассмотренные показатели надежности связаны между собой соотношениями, приведенными в сводной таблице 5.1.

Т а б л и ц а 5.1 – Соотношения показателей надежности

Известный показатель	Формулы для определения неизвестных показателей			
	$P(t)$	$Q(t)$	$a(t)$	$\lambda(t)$
$P(t)$	–	$1 - P(t)$	$-\frac{dP(t)}{dt}$	$-\frac{1}{P(t)}\frac{dP(t)}{dt}$
$Q(t)$	$1 - Q(t)$	–	$\frac{dQ(t)}{dt}$	$-\frac{1}{1-Q(t)}\frac{dQ(t)}{dt}$
$a(t)$	$\int_t^\infty a(x)dx$	$\int_0^t a(x)dx$	–	$\frac{a(t)}{\int_t^\infty a(x)dx}$

$\lambda(t)$	$\exp\left[-\int_0^1 \lambda(x)dx\right]$	$1-\exp\left[-\int_0^1 \lambda(x)dx\right]$	$\lambda(t)\exp\left[-\int_0^1 \lambda(x)dx\right]$	–

Приведенные в таблице 5.1 соотношения между основными показателями надежности можно представить в более простой и наглядной форме с учетом того, что интенсивность отказов в период нормальной эксплуатации практически, неизменна:

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \qquad (5.12)$$

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \qquad (5.13)$$

$$a(t) = \lambda \exp(-\lambda t). \qquad (5.14)$$

Подставив числовые данные в формулы (5.1)-(5.14), рассчитаем вероятности безотказной работы, появления отказа и частоту отказов для момента времени t=6 месяцев, интенсивность отказов $\lambda = 35 \times 10^{-3}$ 1/год.

Расчеты произведем с использованием программного комплекса MathCAD 2001 Professional. На рисунке 5.1 представлено окна программного комплекса.

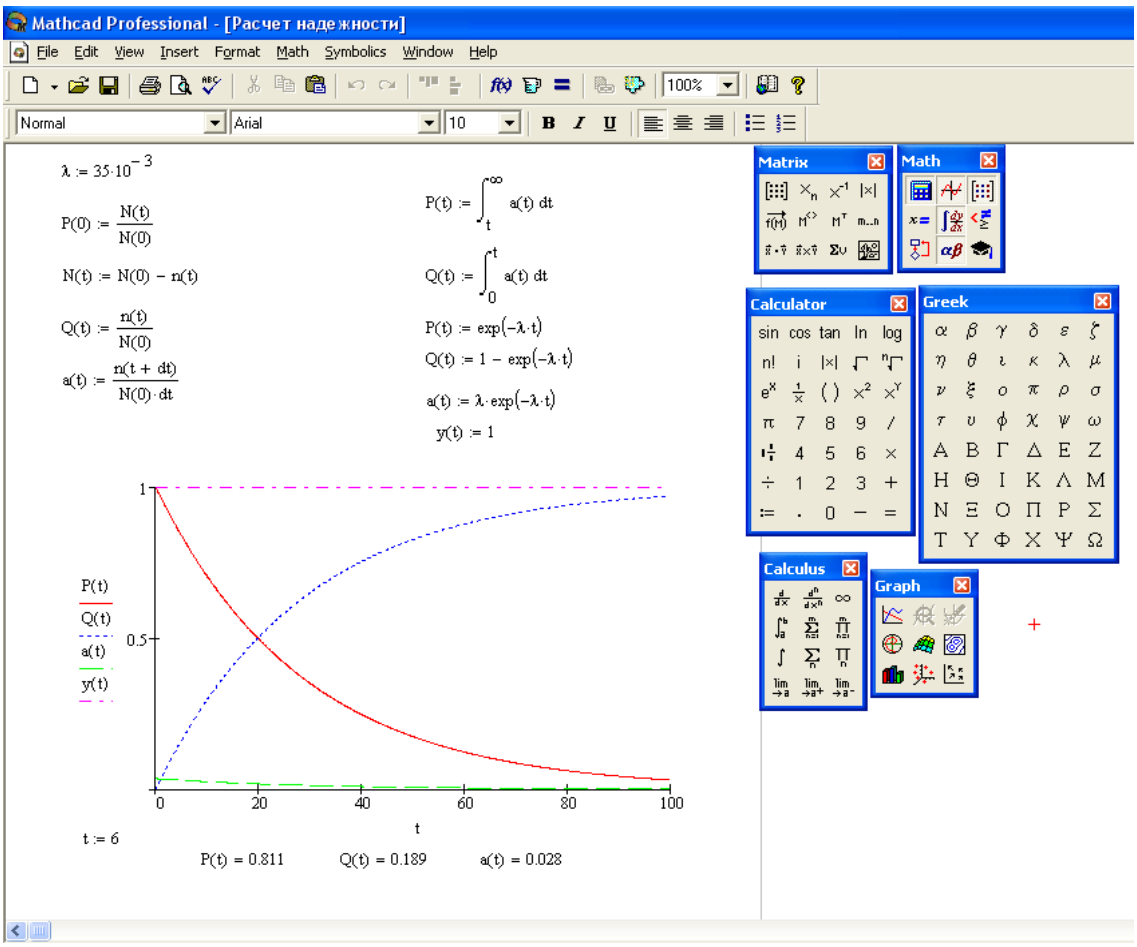

Рисунок 5.1 – Окно программного комплекса MathCAD с расчетом надежности

Численные показатели надежности равны:

$$P(0{,}5) = \exp(-0{,}035 \times 0{,}5) = 0{,}811$$

$$Q(0{,}5) = 1 - \exp(-0{,}035 \times 0{,}5) = 0{,}189,$$

$$a(0{,}5) = \lambda p(0{,}5) = 0{,}035 \times 0{,}9827 = 0{,}028.$$

На рисунке 5.2 представлены в графической форме зависимости основных показателей надежности от времени при экспоненциальном законе. Площадь заштрихованной области численно характеризует среднюю наработку на отказ.

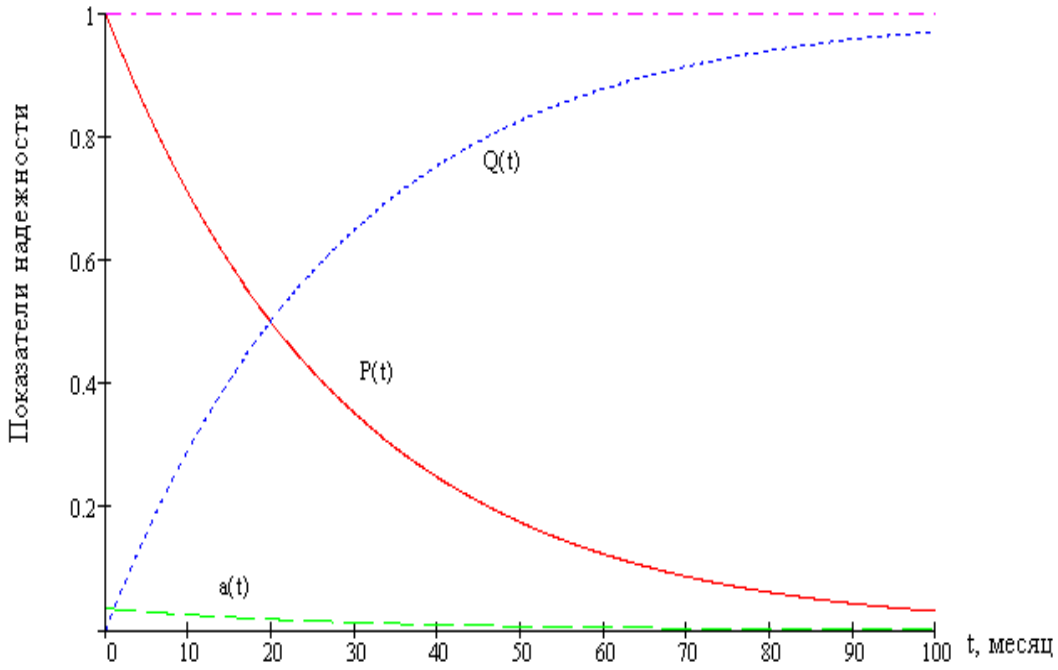

Рисунок 5.2 – Графики зависимости основных показателей надежности от времени работы оборудования

Таким образом, вероятность того, что в течение шести месяцев системе не произойдет отказ равна 0,8 и следовательно IP-сеть обладает достаточной степенью надежности.

Заключение

Проблема эффективного использования пропускной способности телекоммуникационных систем и средств связи в условиях интегрированного разнородного трафика, а также задача определения сетевых ресурсов, необходимых для предоставления пользователю мультисервисного обслуживания с гарантированным уровнем качества обслуживания являются актуальными и важными, имеющими большое теоретическое и практическое значения.

В данной работе были рассмотрены основные принципы построения мультисервисных сетей и были проведены исследования характеристик основных типов трафика данных сетей. Было предложено решение проблемы оптимизации мультисервисной сети. Это решение, заключается в применении законов распределения показателей трафика в моделировании, проектировании сети для расчета оптимальных характеристик полосы пропускания сети.

Проводились исследования на сети «ДАИКТ» и собрана в программе NetCraker. Результаты исследования характеристик и законов распределения некоторых событий разного рода трафика, существующего в мультисервисных сетях, были применены при определении требований к качеству предоставляемых услуг.

Полученные данные, в свою очередь, стали основой для разработки методики расчета пропускной способности.

С помощью пакета Wireshark была получена практическая статистика, на основании которой были получены результаты. Статистика была собрана для основных видов услуг. Главным образом на этом этапе рассматривалось распределение величин передаваемых по сети пакетов той или иной услуги. Полученные результаты были приведены в виде графиков. Исходя из полученного результата, можно сделать вывод относительно законов распределения размеров пакетов различных телекоммуникационных услуг.

Произведена оценка точности приближенного метода расчета потерь вызовов при различных значениях параметров. Показано, что точность приближенного метода является удовлетворительной. Отмечено, что относительная погрешность приближенного метода будет минимальна для тех потоков вызовов, для которых кратность вызова близка к скученности объединенной нагрузки.

Главным направлением исследования явилось нахождение новых и более усовершенствованных способов расчета пропускной способности канала связи мультисервисной корпоративной сети, направленных на повышение

эффективности использования сети и улучшение качества предоставляемых услуг.

Такие исследования необходимы для понимания поведения (структуры) сетевого трафика при перегрузке сети.

Перечень сокращений

БД – броуновское движение
ДВЗ - долговременная зависимость
КВЗ - кратковременная зависимость
КРП – классическое распределение Парето
МС – мультисервисная сеть
ОУ – обслуживающее устройство
ПРВ – плотность распределения вероятности
РЛХ – распределения с «легкими хвостами»
СМО – система массового обслуживания
ССШС – строгое самоподобие в широком смысле
ТМО – теория массового обслуживания
ФБД – фрактальное броуновское движение
AF (Assured Forwarding) - гарантированная доставка
ATM – метод асихронной передачи
BE (Best Effort) - доставка по возможности
CBR - постоянная скорость передачи
CBWFQ (Class Based Weighted Fair Queuing) - обслуживания очередей на основе классов
CoS (Class of Service) – класс обслуживания
DSL - цифровая абонентская линия
ECN (Explicit Congestion Notification) - предупреждает перегрузки
EF (Expedited Forwarding) - срочная доставка
FTP (File Transfer Protocol) — протокол передачи файлов
HTTP (HyperText Transfer Protocol) — «протокол передачи гипертекста
Frame relay - технология пакетной передачи
FBM (Fractional Brown Motion) – фрактальное броуновское движение
RED (Random Early Detection) - раннее случайное обнаружение
IP (Internet Protocol) – межсетевой протокол
QoS (Quality of Service) – качество обслуживания
NGN (Next Generation Network) – сети следующего поколения

Список литературы

1 Лагутин В.С. Сети связи: проблемы эффективности использования ресурсов цифровых линий. – М.: Радио и связь, 1999. -229 с.

2 Справочник производительности и качества обслуживания: Рекомендация ITU-TP.10/G.100. – 2006.

3 Величко В.В. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. Том 3. - Мультисервисные сети. / Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославец. - М.: Горячаяя линия - телеком, 2005. - 592 с.

4 Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. - М.: Радио и связь, 1996.

5 Абилов А.В. Сети связи и системы коммутации: учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 2004. - 288 с.

6 Категории QoS мультимедийного контента для конечного пользователя: Рекомендация ITU-T G.1010. – 2003.

7 Пономарев Д.Ю. Исследование моделей потоков вызовов // http://www.nsc.ru/wsAnVI2004/8509/index.htmI

8 http://opds.sut.ru/electronic_manuals/oed/f03.htm

9 Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

10 Lane J., Nakao A. Best-effort network layer packet reordering in support of multipath overlay packet dispersion // Proc. of the Global telecommunications conf., New Orleans, Nov.–Dec. 2008. S. l.: IEEE, 2008.P. 2457–2462.

11 Шринивас Вегешна. Качество обслуживания в сетях IP – Вильямс, 2009. -368с.

12 Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управление запасами. - СПб: Питер, 2001. -384 с.

13 Ершов В.А., Кузнецов Н.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. -432с.

14 Әзімханов Ә.М. Материалы международной научно-практической конференции // Vedecky pokrok na prelomu tysyachalety//: 27.02 - 05 03. – Чехия, 2013

15 Шереметьев А. Качество сервиса в мультисервисных сетях // Компьютер Пресс. 1999 № 6

16 Петрив Р.Б. Перспективы развития мультисервисных сетей в России // Вестник связи. - 2002. - № 9. - С. 4-42.

17 В.И. Нейман, Самоподобные процессы и их применение в теории телетрафика //Тр.МАС. – 1999. - №1(9). – С. 1-15.

18 Степанов С.К. Основы телетрафика мультисервисных сетей//Эко-Трендз, 2010

19 Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи //Учебник для ВУЗов, 2010. - 400 с.

20 Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А. Модернизация сетей доступа в эпоху NGN, ж. Вестник связи.-2003. – 268 с.

21 Петров М.Н., Понамарев Д.Ю. Самоподобие в системах массового обслуживания с ограниченным буфером. // Электросвязь., 2002г. - №2 – 35-39 с.

22 ITU-T Recommendation Y.2001, General overview of NGN, 2004.

23 ITU-T Recommendation E.800, Definitions of terms related to quality of service, 2008.

24 Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет, Наука и Техника, 2004. -336 с.

25 Туманбаева К.Х. Мультисервисные телекоммуникационные сети. - Алматы: АУЭС, 2012.