

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»

Факультет «Информационных систем и технологий»
Кафедра «Информационных управляющих систем»

Дисциплина: Гипертехнологии информационных инфоструктур

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Анализ пакетной транспортной системы мультисервисной сети на технологии
IP-QoS в режиме установленного соединения»

Выполнил: студент _____ (_____)

Проверил: _____ (проф, Мошак Н.Н.)

2016г.

1. Цель работы

Целью работы является построение критерия эффективности однородной инфотелекоммуникационной транспортной системы (ИТС) мультисервисной сети (МСС) на технологии IP-QoS, аналитической модели указанной системы, а также проведение расчета и анализа ее характеристик в режиме установленного соединения.

2. Задание к лабораторной работе

1. Освоить построение критерия эффективности однородной ИТС МСС на технологии IP-QoS. Сформулировать задачу анализа сети в терминах указанного критерия.
2. По заданным исходным данным рассчитать на ПЭВМ с применением предоставленной программы максимальную скорость передачи речевого трафика и трафика данных в однородном тракте передачи сети.
3. Построить графики (таблицы)
4. Сформулировать основные выводы.

3. Описание объекта исследования

3.1. Мультисервисная сеть инфокоммуникационной сети (ИКС)

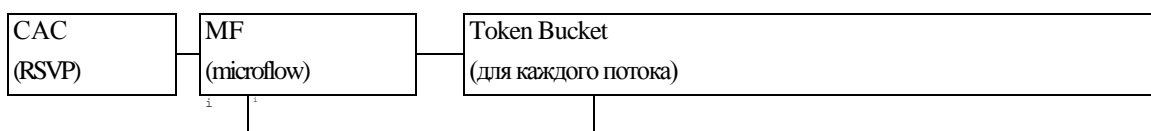
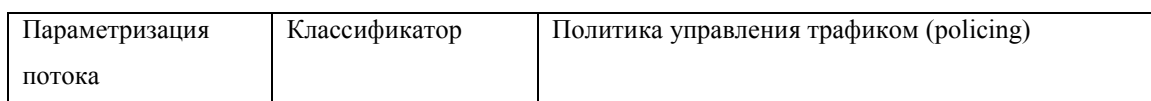
Мультисервисная сеть (МСС) ИКС определяет ее область взаимодействия. Основу МСС составляет ее многопротокольная инфотелекоммуникационная транспортная система (ИТС), обеспечивающая услуги по транспортному переносу мультимедийных информационных потоков, а также топологической, сигнальной и управляющей информации.

Все разнообразие существующих сетей определяется способами коммутации и передачи. Сети связи по способам коммутации могут быть разбиты на три больших класса с учетом реализации их транспортных систем (коммуникационного ядра сети): сети с «жестким» закреплением сетевых ресурсов за соединением, сети с «нежестким» закреплением сетевых ресурсов за соединением и сети со смешанным (гибридным) закреплением указанных ресурсов в сеансе связи. В качестве технологической основы построения национальной МСС, обеспечивающей интеграцию и качественный перенос (транспортировку) разнородного трафика между конкретными приложениями и/или пользователями сети, Мининформсвязи России рассматриваются две пакетных технологии [1]:

- асинхронного режима переноса АТМ для магистральной ИТС МСС;

- интегральных услуг с резервированием ресурсов (Integrated Services/RSVP, IntServ) и технология дифференциальных услуг на основе соглашения об уровне сервиса SLA (Differentiated Services/SLA, DiffServ) - для региональной ИТС МСС (IntServ, DiffServ).

В технологии IntServ [RFC1633] для обеспечения сквозных QoS-норм для каждого информационного потока реализован абсолютный механизм QoS, резервирующий для каждого приложения сетевые ресурсы из конца в конец и гарантирующий соответствие параметров трафика и качество его транспортировки в сессии. Начало резервирования сетевых ресурсов осуществляется со стороны получателя в обратном направлении по проложенному маршруту. Соединение завершается успешно, если запрашиваемые ресурсы были предоставлены всеми транзитными маршрутизаторами. Резервирование сетевых ресурсов реализуется механизмами контроля допустимостью соединения CAC. Технология IntServ для явного задания уровня QoS предполагает наличие в сети четырех основных компонент: механизмов CAC, классификатора пакетов, планировщика пакетов и сигнального протокола управления резервированием ресурса RSVP [RFC2205] от приемника. В основе протокола RSVP лежат: адрес получателя данных; спецификация потока, которая определяет требуемое качество обслуживания и используется узлом сети, чтобы установить соответствующий режим работы диспетчера очередей; спецификация фильтра, определяющая тип трафика, для обслуживания которого запрашивается ресурс. Протокол RSVP используется в сети совместно с одним из существующих протоколов маршрутизации: выбора кратчайшего пути (Open Shortest Path First, OSPF), OSPF вместе с протоколом мультипути одинаковой стоимости (Equal-Cost Multi-Path, ECMP), (Intermediate System-Intermediate System, IS-IS), или протокола маршрутной информации (Routing Information Protocol, RIP).



Последовательность установления и контроля качества обслуживания для каждого потока в архитектуре IntServ

Принципы обеспечения заданного качества обслуживания в технологии IntServ могут быть представлены следующим алгоритмом. Маршрутизация (с помощью, например, протоколов OSPF или RIP) заявки на резервирование ресурсов в служебных

пакетах сигнального протокола RSVP, резервирование ресурсов при помощи алгоритма SAC, разделение пакетов по потокам классификатором и направление пакетов в соответствующую очередь на обслуживание, управление трафиком (рис.1). В сеансе связи на каждом маршрутизаторе классификатором пакетов организуется входной контроль предоставления выделенных ресурсов со стороны сети (контроль параметров трафика, маркировку пакетов и помещение пакетов в очереди в соответствии с их QoS-параметрами), а планировщиком пакетов, отвечающим за обработку очередей в соответствии с требуемой дисциплиной обслуживания, - контроль соответствия параметров входного потока заявленным. В технологии IntServ предполагается, что планировщиком пакетов будут организованы отдельные исходящие очереди для разных потоков на одном и том же исходящем порту в соответствии с их приоритетом. Отметим, что для каждого отдельного потока в данном случае подразумевается идентичность реализации алгоритма управления очередью, т. е. все пакеты одного соединения механизмом управления очередью обрабатываются одинаково. В технологии IntServ дополнительно к услуге «наилучшей попытки» реализованы еще две категории обслуживания (службы):

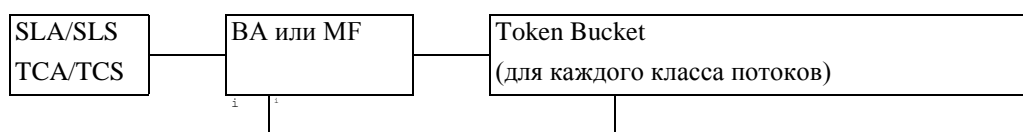
- служба «контролируемой загрузки» CLS;
- служба «гарантированной доставки» GS.

Служба «контролируемой загрузки» CLS в загруженной сети обеспечивает качество передачи выше, чем может предоставить услуга «наилучшей попытки», однако какие-либо гарантии при этом также не предоставляются. Пакеты, отнесенные к этому классу, передаются как традиционный IP-трафик, идущий по мало загруженной сети, т. е. они получают максимум из возможного в загруженной сети, но без жестких гарантий. Служба «гарантированной доставки» GS предоставляет гарантии только по полосе пропускания (при условии соблюдения пользователем выполнения заявленных параметров виртуального соединения) и максимальной задержке пакетов из конца в конец сети (т. е. гарантируется только постоянная составляющая сетевой задержки). Таким образом, несмотря на расширение набора функций, связанных с обработкой данных стандартной услуги «наилучшая попытка», *гарантии по дисперсии задержки пакетов технология IntServ не обеспечивает.* Технология IntServ требует поддержки на всех узлах сети Интернет механизма контроля допустимости установления соединения и протокола RSVP, который не реализован на сегодня в большинстве операционных системах (в том числе Linux и Windows), что предполагает серьезную крупномасштабную модификацию сети. Однако, в первую очередь, причиной перехода от архитектуры IntServ к DiffServ является низкая масштабируемость первой. Кроме того, до 50% транзакций Internet/Intranet имеют

длительность всего несколько секунд, что приводит к тому, что процесс резервирования ресурсов для них существенно превышает приемлемое время ожидания. Качество краткосрочных транзакций Internet более эффективно обеспечивается технологией DiffServ.

Технология DiffServ [RFC2475] исключает необходимость предварительного резервирования сетевых ресурсов для отдельного потока на фазе установления соединения и индивидуальной обработки каждого из них в сессии. Технология DiffServ классифицирует потоки в соответствии с определенными правилами и затем объединяет (агрегирует) однотипные потоки с одинаковым качеством обслуживания, для которых предоставляются в сеансе связи один из заданного набора класс сервиса CoS. Термин «класс сервиса» предполагает дифференциацию информационных потоков при их обработке и представляет наиболее общий способ классификации характеристик сервиса. Основная идея технологии DiffServ заключается в разделении трафика в сети на несколько классов CoS агрегированных по уровню сервиса SLA (Service Level Agreement), для каждого из которых в сеансе связи гарантируется определенное качество обслуживания QoS в рамках домена DiffServ. Объединением всех типов трафика в несколько агрегированных классов на входе в домен DiffServ достигаются высокие масштабируемость и гибкость технологии DiffServ. Соглашения об уровне сервиса SLA предоставляет приложению оговоренное заранее качество обслуживания QoS в сеансе связи при наличии такой возможности. SLA представляет собой «трафик-контракт» между пользователем и провайдером услуг, в котором определяются основные характеристики (профиль) трафика, формируемого в конечном оборудовании пользователя, и параметры QoS, предоставляемые провайдером. Контракт SLA может быть статическим и/или динамическим (для каждого сеанса связи). В последнем случае для запроса требуемого уровня QoS должен использоваться сигнальный протокол, например протокол RSVP+ . SLA содержит подробное соглашение по трафику TCA (Traffic Conditioning Agreement). На основе данных из TCA каждому потоку присваивается определенный класс обслуживания.

Параметризация потока	Классификатор	Политика управления трафиком (policing)
-----------------------	---------------	---



Последовательность установления и контроля качества обслуживания для каждого

потока в архитектуре DiffServ

Обычно контракт SLA содержит тип предоставляемой услуги, в том числе управление (facilities management), сетевые услуги; ожидаемый уровень производительности (performance) услуги, в том числе оценку вероятности предоставления услуги и скорость реакции (responsiveness) - скорость предоставления услуги с заданными параметрами обслуживания; организацию оповещения о проблемах предоставления услуги; время реакции и устранения проблемы; организацию мониторинга и сбора статистики для предоставляемой услуги; соглашения по стоимости и тарификации предоставляемой услуги; правила и ограничения, определяющие предоставление услуг при отсутствии возможности установления SLA, называемые escape clauses. Последовательность установления и контроля заданного качества обслуживания в архитектуре DiffServ, в соответствии с принципом CoS, может быть представлена следующим образом (рис.2). Когда трафик поступает в пограничный входящий маршрутизатор (Ingress Router) каждый пакет на основе TCA/TCS классифицируется и определяется его соответствие заданному профилю трафика для потока, которому принадлежит данный пакет (соответствие потока профилю услуги, которую использует этот поток). В архитектуре DiffServ предусмотрено два правила классификации:

- агрегированное поведение BA (behavior aggregate), когда каждому пакету в результате классификации присваивается агрегированное поведение BA путем присвоения полю DS заголовка пакета соответствующего значения DSCP;
- многопараметрическое MF (multi-field), когда классификация производится на основе информации, содержащейся более чем в одном поле заголовка (например, маркировка пакетов на основе адреса или порта отправителя/получателя, идентификатора протокола, и т. п.).

Для корректного обслуживания трафика внутри домена DiffServ необходимым условием является соответствие поступающего трафика заявленным параметрам, для чего на входящем пограничном узле реализуется набор функций, известных под общим названием «функции контроля соответствия нагрузки заданным параметрам» TC (Traffic Conditioning). TC включает функции мониторинга, маркировки, сглаживания и сброса. Каждый CoS-маршрутизатор имеет дополнительную функцию планировщика распределения процессорного времени обслуживания пакета из конкретной очереди. За счет планировщика решается задача разделения полосы пропускания исходящего канала в соответствии с заданными параметрами по качеству обслуживания. В технологии DiffServ реализованы два класса дополнительных услуг:

- класс «срочная доставка» EF [RFC 2598];

- класс «гарантированная доставка» AF [RFC 2597].

Класс срочной доставки EF обеспечивает наивысший из возможных уровней качества обслуживания. Он предоставляет пользователю гарантии по полосе пропускания и сквозной сетевой задержке для пакетов, проходящих через зарезервированный путь, аналогичные услуге «гарантированной доставки» GS в IntServ. Срочная транспортировка EF предусматривает малые потери, низкую латентность и малый джиттер для информационных потоков этой группы. При этом *требования к вероятности потери пакета, значениям задержки и ее дисперсии, необходимой полосе пропускания и т. д. гарантируются только в рамках домена DiffServ, на узлах которого предоставляется класс услуг EF.* Класс гарантированной доставки AF поддерживает уровень качества обслуживания более низкий, чем класс срочной доставки EF, но более высокий, чем обслуживание с «максимальным усилием» («best effort»). Обслуживание очередей включает в себя алгоритмы: организации очереди и обработки очередей. Услуга AF позволяет реализовать четыре класса CoS с тремя уровнями приоритета пакета для каждого из них. Таким образом, в DiffServ услуги по классам гарантируют только, что высокоприоритетные потоки получают лучшее обслуживание, чем низкоприоритетные. Технология DiffServ хотя и предоставляет некоторым данным более высокий приоритет обслуживания, но так как и технология IntServ *ни одному потоку не гарантирует конкретный уровень сервиса.* Технология DiffServ хотя и предоставляет некоторым данным более высокий приоритет обслуживания, но ни одному потоку не гарантируется конкретный уровень сервиса. Распределение трафика между разными очередями по приоритетам гарантирует, что в случае возникновения перегрузки пакет с высоким приоритетом будет передан маршрутизатором быстрее, чем пакет с низким приоритетом. При этом его сквозная задержка в сети может оказаться значительной. Кроме того, необходимость предварительного определения «трафик-контракта» на поставку услуг также сдерживает внедрение технологии DiffServ. Таким образом, технология DiffServ, как и технология IntServ не гарантируют заданного качества обслуживания изохронного трафика по параметру CDV.

3.2. Особенности логической структуры транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS

Необходимым инструментом получения проектных обоснований МСС являются системные модели, которые должны строиться на базе общепринятой методологии исследования систем с сетевой структурой. Другими словами, моделирование функций МСС целесообразно проводить на общей методологической основе, позволяющей строить математические модели, учитывающие основные особенности и параметры сети.

Функции системы определяют содержание протекающих в ней процессов, предписанных ее назначением. Для формализованного описания функционально-структурной организации МСС в качестве такой основы предлагается использовать терминологию и принципы, сформулированные в модели архитектуры ВОС. При этом сети указанного класса рассматриваются как более широкий класс открытых сетей, который должен подчиняться принципам ВОС. Под архитектурой МСС будем понимать уровневую организацию необходимых функций, протоколов и их программных реализаций, которые должны выполняться сетью для мультисервисного обслуживания разнородных мультимедийных пользовательских служб. Архитектура МСС описывает построение и взаимосвязь ее логической, программной и физической структур.

Модель OSI	Модель DARPA
Прикладной А	Прикладной
Представлений Р	
Сессий S	
Транспортный Т	Транспортный
Сетевой N	Межсетевой
Канальный L	Сетевого интерфейса
Физический Ph	Физический

Рис.4. Сравнение реализаций сетевых функций в уровнях моделей архитектур OSI, BPRM и DARPA

Логическая структура сети описывает ее полный функциональный профиль и базируется на рассредоточении процессов передачи и обработки разнородной информации по функциональным N-уровням каждой из ее систем и имеет многослойный вид. Таким образом, в качестве структурного метода, позволяющего логически разложить сеть «открытых» систем на подсистемы, будем использовать ее уровневую организацию.

Каждый уровень образует подсистему одного ранга. Логическая структура сети должна удовлетворять принципам системной декомпозиции, в частности, обеспечивать относительную независимость уровней друг от друга, что позволяет модифицировать функции любого уровня при условии соблюдения протоколов взаимодействия и межуровневых интерфейсов. Сравнение реализаций сетевых функций в уровнях моделей ВОС и DARPA приведено на рис.4.

Программная структура МСС базируется на декомпозиции иерархии ее программного обеспечения и описывает взаимодействие связанных между собой отдельных программ, отображающих работу и взаимосвязь логических уровней. Программная структура реализует функциональный профиль сети, представленный объектами логических уровней. При этом для реализации конкретной функции могут быть задействованы несколько объектов уровня и/или несколько объектов на разных уровнях. Одноранговые объекты взаимодействуют между собой с помощью одного или нескольких протоколов, которые поддерживают объявленные сервисы. Спецификация протоколов N-уровня определяет форматы управляющих и информационных полей протокольных блоков уровня, процедуры обмена протокольными блоками между объектами N-уровня в разных «открытых» системах, а также механизм выбора указанных процедур из списка возможных.

Физическая структура МСС базируется на конкретных технических устройствах и позволяет оптимально реализовать в них отдельные логические функции или их совокупность.

Отличительной особенностью архитектуры МСС является наличие в ее логической структуре по крайней мере, трех базовых дополнительных функций:

- функция «управления резервированием сетевых ресурсов» для устанавливаемого соединения, обеспечивающей трансляцию запроса либо на резервирование требуемых сетевых ресурсов, либо на предоставление соответствующего класса обслуживания CoS;
- функция «контроля допустимости установления сессии», обеспечивающая резервирование необходимых сетевых ресурсов или предоставление приложению заранее определенного уровня сервиса на фазе установления сессии. Указанная функция определяет набор действий, производимых сетью на фазе установления мультимедийного соединения (или заблаговременно оператором связи) для определения возможности его поддержания в сессии с требуемыми QoS-нормами, при условии соблюдения QoS-норм уже установленных соединений;
- функция «совмещения», в задачу которой входит создание возможности передачи разнотипных информационных потоков единым образом в общей физической среде с

требуемым качеством обслуживания в сессии. Указанная функция обеспечивает создание «окрашенных» типом информации протокольных блоков на одном или нескольких логических уровнях архитектуры сети. «Окраска» протокольных блоков в сеансе связи позволяет классифицировать трафик и задействовать определенную дисциплину обслуживания или определенный уровень сервиса на маршрутизаторах или коммутаторах выбранного маршрута передачи разнородного трафика, а также различные механизмы его управления. Необходимо отметить, что функция «совмещения» в МСС во многом зависит от используемых в ней механизмов закрепления сетевых ресурсов за соединением и имеют различную уровневую реализацию.

Три класса моносервисных сетевых технологий, классифицированные выше по способам коммутации, фактически характеризуются реализуемой в них транспортной системой, которые определяют основные характеристики сетевого обслуживания. Противоречивые требования, предъявляемые различными типами информации к передаче в МСС, требуют создания ТС с таким набором режимов работы или служб, чтобы обеспечить возможность переноса в сети мультимедийных потоков любой структуры с требуемым качеством обслуживания и уровнем защиты. Обеспечить изохронность (временную прозрачность канала) передачи в системе можно двумя способами [2, 5, 6]: либо строго фиксированным постоянным временем доставки каждой порции информации через ТС, либо так ограничить трафик на ее входе, чтобы интервалы времени, соответствующие фиксированному значению квантиля распределения времени задержки порций информации в системе (фиксированное значение квантиля гарантирует требуемое качество передачи изохронного трафика) не превышали заданной величины.

При первом способе должны быть полностью исключены случайные задержки информации в транспортной системе. Это возможно лишь в том случае, если ее физические ресурсы в сессии предоставляются каждой порции информации без ограничений и конфликтов доступа, т. е. со статическим или «жестким» закреплением. Необходимо отметить, что физические ресурсы являются компонентами общесистемных ресурсов, в качестве которых выступают логические каналы соответствующих уровней архитектуры ТС (N - ресурсы и N - каналы в соответствии с терминологией OSI) и бесконфликтное закрепление общесистемных ресурсов более высоких уровней ТС не влечет за собой бесконфликтного закрепления общесистемных ресурсов более низких уровней. Например, несколько транспортных каналов транспортного уровня могут использовать один виртуальный канал сетевого уровня, или несколько сетевых виртуальных каналов могут использовать один и тот же логический канал уровня звена. При этом система покласовых приоритетов при использовании общесистемных ресурсов

для реализации конкретного транспортного соединения не приводит к статическому закреплению физических ресурсов ТС, т. е. даже для информации высшего приоритета перед общесистемным ресурсом может возникнуть очередь из порций информации данного приоритета, принадлежащих разным соединениям. Отсюда следует, что неограниченное бесконфликтное использование физических ресурсов в ТС возможно только при индивидуальном их закреплении (а следовательно, и индивидуальном закреплении одновременно всех общесистемных ресурсов ТС) за транспортным соединением между двумя сеансовыми объектами в сессии. Вполне естественно, что в соответствующей ТС должен существовать механизм такого сквозного бесконфликтного закрепления физических ресурсов за данным соединением.

При втором способе допускаются случайные задержки информации в ТС, которые не превосходят некоторой фиксированной величины, т. е. осуществляется ограниченный доступ к ее физическим ресурсам на коллективной основе (определяющий признак пакетных ТС). При этом должны быть приняты некоторые специальные меры, обеспечивающие допустимые фиксированные задержки для отдельных порций информации в сети. Одним из возможных вариантов реализации такой стратегии является введение выравнивания и восстановления временных интервалов между речевыми сегментами, при условии, что константа выравнивания и случайная задержка не превосходят в сумме заданной величины [2].

Различают три типа транспортных систем [2]: канальную ТС (КТС) с бесконфликтным или статическим («жестким») закреплением физических ресурсов за соединением, пакетную ТС (ПТС) с динамическим закреплением физических ресурсов или «нежестким» за соединением в режиме коллективного доступа, а также комбинированную (гибридную) ТС (ГТС), в которой возможна смешанная стратегия распределения ресурсов. Классификация сетей связи по типу ТС является более общей, так как любая из них классифицирует сеть не по базовым методам коммутации и всевозможным их модификациям, а по способу использования ресурсов сети в сессии [2, 5, 6]. Выбор конкретных реализаций методов передачи и коммутации или их комбинаций диктуется заданными условиями проектирования ТС. При этом требования к сетевым алгоритмам, диктуемые характером изохронной нагрузки, всегда являются доминирующими, а объем передаваемого трафика различных классов и их соотношение, которое может постоянно меняться в довольно широком диапазоне от 0,25 до 1, оказывает существенное влияние на выбор структуры сети. Важно также, что методики расчета их характеристик должны быть интегрированы в рамках единых моделей с учетом требований к передаче смешанной нагрузки различной природы и дифференциации

механизмов защиты. При этом желательно, чтобы они были пригодны для анализа всего многообразия реализаций ТС, т. е. при их проектировании необходим системный подход.

3.3. Построение общего критерия эффективности использования физических ресурсов транспортной системы МСС на технологии IP-QoS

Пусть задана мультисервисная сеть, топология которой описывается графом $G = (I, J)$, где I - множество вершин мощности $N = |I|$, $J \subseteq I \times I$ - множество ребер $ij \in J$. Вершины графа $i \in I$ соответствуют узлам сети. Любая пара узлов сети может обмениваться информацией. В графе $G = (I, J)$ выделяются две вершины $s \in I$ - источник и $t \in I$ - получатель. В общем случае на вход сети поступает потоки трех классов (классов A и C, D для гибридных МСС или B, C, D - для пакетных МСС) от g -типов источников ($g = \overline{1, G}$). Величина нагрузки задана в виде матриц $Y^k = \|a_{st}^k\|$ ($k = \overline{1, 3}$). Здесь a_{st}^k - нагрузка класса k соответственно для пары $st \in S^k$. Класс трафика a_{st}^B (эрл) и/или $a_{st}^{C(D)}$ (бит/с) идентифицирует вид соединения и направление связи. Пользователи сети различных классов генерируют суммарный пуассоновский поток с интенсивностью λ^k . Будем считать, что в сеансе связи трафик класса B в пакетных ИТС обслуживается с абсолютным приоритетом (с дообслуживанием) по сравнению с трафиком данных любого класса. Кроме того, в сессии потоки от разнотипных источников в рамках класса обслуживаются с относительным приоритетом. Все пары st для которых $a_{st}^k \neq 0$, образуют множество корреспондирующих пар S^k мощности $q = |S^k|$. Каждое ребро графа $ij \in J$ моделирует межузловой линейно-цифровой тракт (ЛЦТ) связи, V_{ij} - скорость передачи в ЛЦТ, бит/с. Вероятность ошибки в ЛЦТ p_{ij} - задана.

Считаем, что топология сети не изменяется и входные потоки стационарны. В этом случае оптимальным маршрутным решением является статистическое, состоящее из совокупности упорядоченного набора статических альтернативных маршрутов (путей) между всеми парами узлов $st \in S^k$, необязательно совпадающих для разнородного трафика. Нагрузка между трактами $st \in S^k$ может быть распределена по нескольким путям в фиксированных во времени определенных пропорциях. В условиях изменяющейся топологии и колебаниях нагрузки необходима адаптивная стратегия маршрутизации, позволяющая реагировать на изменения и приспосабливаться к ним. Однако аналитические исследования стратегий такой маршрутизации представляют чрезвычайно трудную задачу. Поэтому структура трафика аппроксимируется стационарным потоком, а стратегия маршрутизации статической альтернативной.

Введем следующие обозначения: $\widehat{l}_{st,m}^k = \{si_1, i_1i_2, \dots, i_{p-1}t\}_{st,m}^k$ - путь m -го выбора ($m = \overline{1, M_{st}^k}$) длины p для пары $st \in S^k$ с упорядоченными ребрами относительно источника $s \in I_{st}$, т. е. ребру si_1 присвоен индекс (вес) 1, ребру i_1i_2 - индекс 2, ..., ребру $i_{p-1}t$ - индекс p . $l_{st,m}^k = \{ij \in J : ij \in \widehat{l}_{st,m}^k\}$ - множество ребер, образующее путь m -го выбора $\widehat{l}_{st,m}^k$, мощности $r_{st,m}^k = |M_{st,m}^k|$. Корневое дерево $R_{st}^k = \{\widehat{l}_{st,m}^k, m = \overline{1, M_{st}^k}\}$, которое в общем случае может быть поддеревом дерева всех путей из s в t . В общем случае $\bigcap_{m=1}^{M_{st}^k} l_{st,m}^k \neq \emptyset$. Корневое дерево путей R_{st}^k лежит в основе построения последовательно-параллельной схемы виртуальных соединений L_{st}^k для передачи потоков интегральной нагрузки в сеансе связи. Построение схемы виртуальных соединений осуществляется при помощи «расклеивания» общих транзитных узлов дерева R_{st}^k по разным путям L_{st}^k и «склеивания» висячих вершин $t \in I_{st}$ в один узел. Пусть $p_{st,m}^k$ - глобальная вероятность выбора m -го пути в последовательно-параллельной схеме путей L_{st}^k передачи разнородного трафика. Будем считать, что маршруты передачи **изохронного трафика** независимы. Каждый пакет при его вводе в сеть с глобальной вероятностью $p_{st,m}^k$ направляется в m -ый путь из множества L_{st}^k . $\sum_{m=1}^{M_{st}^k} p_{st,m}^k = 1$, для $\forall st \in S^k$. Такая процедура маршрутизации является частным случаем более общей процедуры, когда в каждом узле сети для пакета выбирается исходящий канал $ij \in \widehat{l}_{st,m}^k$ с вероятностью $p_{ij,m}^k(g)$ тракта $st \in S^k$. Однако она лучше поддается анализу и для задачи проектирования сетей применяется более часто, особенно для сетей с фиксацией маршрута на фазе установления виртуальных соединений. $\sum_j p_{ij}^k(g) = 1, \forall st \in S^k, \forall i \in I_{st}, g = 1, 2, \dots$ Здесь g является номером текущего ребра в корневой ветви $\widehat{l}_{si}^k(g) = \{si_1, i_1i_2, \dots, i_{g-1}i\}_{st}^k$, считаемого от корня s или шагом распределения пакетов в дереве R_{st}^k . Эта вероятность связана с локальными вероятностями перехода $p_{ij}^k(g)$ или локальными вероятностями точек ветвления из узла i в узел j в дереве путей R_{st}^k на g -уровне соотношением

$$p_{st,m}^k(g) = \prod_{ij \in \widehat{l}_{st,m}^k} p_{ij}^k(g) \text{ для } \forall st \in S^k, g = 1, 2, \dots$$

В качестве локальных вероятностей могут быть выбраны, например, числа, пропорциональные пропускным способностям каналов, исходящих из узла $i \in I_{st}$ (способ записи вероятностей $p_{ij}^k(g)$ может уточняться). Между системами локальных и глобальных вероятностей существует взаимнооднозначное соответствие: $\{p_{ij}^k(g)\}_{st} \Leftrightarrow \{p_{st,m}^k\}$.

Для пакетных ИТС, отдельные звенья которых моделируются СМО типа $G/M/1/\infty$, понятие вероятности блокировки ресурса в сеансе связи для **изохронного трафика** класса B эквивалентно вероятности $P^B\{t \geq \theta^B\}$ превышения B -пакетами заданного сквозного времени пребывания в сети θ^B . Обозначим эту вероятность d^B . В физическом смысле вероятность d^B есть доля пакетов класса B , превысивших время θ^B и/или потерянных из-за ошибок в заголовке и переполнения буферов маршрутизаторов. Эта величина характеризует качество передачи трафика указанного класса в сети. Обеспечение требуемого уровня изохронности, который может быть допущен в МСС с пакетной коммутацией, важен по двум причинам. Во-первых, в таких сетях величина переменной составляющей сетевой задержки CDV должна быть, по крайней мере, меньше, чем величина требуемой изохронности передачи. Выбор указанного ограничения на передачу определяется тем, что, например, для передачи речи в силу психофизиологических особенностей человека она должна заканчиваться ко времени возобновления звучания в пункте назначения вновь прибывших речевых сегментов и полезно знать точность, с которой это возобновление звуковых сегментов должно происходить. Другими словами, для качественного воспроизведения речи важно не среднее время пребывания речевого пакета в сети, а доля речевых пакетов, не доставленных получателю за заданное время, т. е. при анализе необходима фиксация заданного квантиля распределения времени их пребывания в тракте передачи. Во-вторых, проектируемые пакетные ТС на технологии IP-QoS должны обеспечивать поддержание переменной задержки в заданных границах для различных типов изохронного трафика и эти границы должны быть известны.

Асинхронный трафик в сессии может передаваться любым способом со статическим и/или динамическим закреплением сетевых ресурсов за соединением. Для характеристики качества передачи асинхронного трафика, вводится заданное среднее время пребывания пакета данных в сети T^C , не превосходящее предельной величины T^{*C} . Это связано с тем, что (в отличие от обычно применяемой в существующих моделях среднесетевой задержки) для пользователей сети представляет интерес не просто

минимальное время пребывания пакета в сети (которое само по себе может оказаться достаточно большим и неприемлемым, например, для интерактивного обмена), а **заданное среднее время**.

Наряду с приведенными выше показателями качества обслуживания разнородных потоков информации в МСС важным показателем качества работы ее транспортной системы в режиме установленного соединения является также и коэффициент использования цифрового тракта передачи на **транспортном уровне** [2]:

$$R_p = [V_{st}^B(1-d^B) + V_{st}^C] / V_{st} \text{ для пакетной ТС и } R_p = [V_{st}^A + V_{st}^C] / V_{st}$$

где V_{st}^k - максимальная эффективная скорость передачи для отдельных информационных потоков различных классов $V_{st}^k = V_{st} \max_{\rho^k, L^k} K_{st}^k$. Та система лучше, у которой этот коэффициент лучше при заданных условиях проектирования.

Согласно логической структуре IP-сети общие коэффициенты использования пропускной способности K_{ij}^k также должны «расслоиться» на коэффициенты использования пропускной способности ЛЦТ отдельных уровней ее архитектуры: транспортного, межсетевого и сетевых интерфейсов (рис.6.). Так, например, модели и протоколы организации обратной связи для повышения верности передачи сообщений данных в сети должны влиять только на коэффициент использования пропускной способности ЛЦТ на транспортном уровне (для протокола TCP), а топология сети, механизмы управления информационными потоками и протоколы маршрутизации - на соответствующий коэффициент уровня межсетевого взаимодействия (протокол IP). При этом, как отмечено выше, K_{ij}^k должны учитывать все затраты на реализацию соответствующих протоколов сети (избыточность протокольных блоков на управление и борьбу с ошибками, задержки в очередях и т. п.). Оптимизируя эти коэффициенты, можно получить оптимальные для заданных условий передачи величины протокольных блоков различных логических уровней и допустимые режимы их передачи для ТС инфокоммуникационной сети на технологии IP, а также определить оптимальные загрузки каналов связи с учетом требований на передачу трафика различной природы. Подчеркнем еще раз, что общий коэффициент использования ЛЦТ пакетами данных зависит от параметров коэффициента использования ЛЦТ нагрузкой класса B , т. е. носит ярко выраженный условный характер. Будем считать, что в сеансе связи трафик класса B имеет абсолютный приоритет (с дообслуживанием) по сравнению с трафиком данных любого класса.

В качестве методологической базы для построения инженерных методов расчета характеристик транспортных соединений ТС сети на технологии IP, удовлетворяющих перечисленным выше требованиям, будем использовать концепцию ее архитектуры. В рамках этой концепции, эффективность использования IP-сети в режиме установленного соединения предлагается оценивать с помощью набора коэффициентов использования пропускной способности каждого ребра $ij \in J$ трафиком различных классов

$$K_{ij}^k = \prod_{h=1}^3 K_{h,ij}^k, \quad (1)$$

которые определяют требуемую долю пропускной способности ЛЦТ V_{ij} ($ij \in J$) для передачи изохронной и асинхронной нагрузки (рис.1.6.).

Уровень архитектуры IP-сети (протокол)	Структура протокольного блока уровня	Уровневый функционал	
		Обозначение	структура
Верхний	s^k ----- сообщение, речевой фрагмент		
Транспортный (TCP)	$L^k - H_{IP}$	$K_{ij,4}^k$	$\frac{s^k}{N^k(L - H_{IP})} \beta^k$
Межсетевое взаимодействия (IP)	L^k -----,----- $L^k - H_{IP}, H_{IP}$	$K_{ij,3}^k$	$\frac{L^k - H_{IP}}{L^k} \rho^k$
Сетевого интерфейса	$L^k + H_{IN}$ -----,----- L^k, H_{IN}	$K_{ij,2}^k$	$\frac{L^k}{L^k + H_{IN}}$

Примечание. -----,----- (обозначение протокольного блока уровня, включающий сервисный блок данных вышележащего уровня и управляющую служебную информацию уровня - заголовок)

Рис.1.6. Структура формирования общих коэффициентов использования пропускной способности ЛЦТ разнородным трафиком

Обозначим через $K_{st,m}^k$ - коэффициент использования m -го виртуального пути из множества M_{st}^k . Для логической модели ТС на технологии IP этот коэффициент также можно трактовать как коэффициент передачи системы, составленной из цепочки

каналов $ij \in l_{st,m}$ заданной пропускной способности. С учетом чистой ретрансляции пакетов через указанную систему (на выходе системы ослабления входного сигнала не происходит) коэффициент $K_{st,m}^k$ можно представить в виде среднегеометрического составляющих коэффициентов использования пропускной способности пути m -го выбора для пары $st \in S$

$$K_{st,m}^k = K_{TCP}^k r_{st,m} \sqrt{\prod_{ij \in l_{st,m}} K_{ij}^k}, \quad k = \overline{1,3}. \quad (2)$$

Здесь K_{TCP}^k , -коэффициент, учитывающий процедуру «нарезки» протокольных блоков транспортного уровня на сегменты определенной длины. В силу того, что транспортное виртуальное соединение может быть организовано между парой $st \in S$ по нескольким виртуальным путям, - выражение для общего коэффициента использования всех транспортных соединений имеет следующий вид

$$K_{st}^k = \sum_{m=1}^{M_{st}} P_{st,m}^k K_{TCP}^k r_{st,m} \sqrt{\prod_{ij \in l_{st,m}} K_{ij}^k}, \quad k = \overline{1,3}, \quad (3)$$

а средневзвешенный по потокам общий коэффициент использования пропускной способности ТС на технологии IP произвольной топологии разнородным трафиком равен

$$K^k = \sqrt[q]{\sum_{st \in S} \frac{a_{st}^k}{Y^k} (K_{st}^k)^q}, \quad k = \overline{1,3}, \quad q = |S|. \quad (4)$$

Пусть коэффициенты использования ЛЦТ сети трафиком различных классов имеют вид (1.), каждый из которых будем индексировать верхним индексом, в соответствие с классом нагрузки B , C и D . Здесь $h = \overline{1,3}$ - номер соответствующего уровня архитектуры сети ($h=1$ соответствует уровню сетевого интерфейса модели ТСР/IP, $h=2$ – уровню межсетевого взаимодействия IP и $h=3$ – транспортному уровню). Коэффициент использования ЛЦТ нагрузкой различных классов на транспортном уровне будем обозначать соответственно K_{TCP}^k , $k = \overline{1,3}$, т. к. протоколы транспортного уровня работают для транспортных соединений определенного класса, включающих совокупность каналов маршрута.

Введем следующие дополнительные обозначения: β^B и β^C — коэффициенты, учитывающие механизм организации обратной связи на транспортном уровне (протокол

ТСР) с целью защиты от ошибок соответствующих сегментов (если речевые сегменты не переспрашиваются, то $\beta^B = 1$); ρ^B и ρ^C — коэффициенты загрузки межсетевого уровня соответственно речевыми пакетами и пакетами данных; L^B — длина речевого пакета, бит; L^C — длина пакета данных, бит; H_{IP} — длина IP-заголовка, бит; H_{IN} — длина заголовка протокольного блока сетевого интерфейса; τ^B — средняя длительность активного речевого фрагмента, с; S^C — средняя длина сообщения данных на транспортном уровне, включая связной заголовок транспортного уровня, бит; N^B — среднее число информационных частей речевого пакета в активном речевом фрагменте; N^C — среднее число информационных частей пакета данных в сегменте данных на транспортном уровне.

Воспользовавшись введенными выше обозначениями можно показать, что выражения для общих коэффициентов оценки эффективности использования ЛЦТ нагрузкой различных классов: K_{ij}^B и K_{ij}^C имеют следующий вид.

$$K_{ij}^B = \frac{s^B \beta^B (L^B)}{N^B (L^B + H_{IN})}, \quad K_{ij}^C = \frac{s^C \rho_{ij}^C (L^B, \beta^B) \beta_{ij}^C}{N^C (L^C + H_{IN})} \quad (5)$$

Еще раз отметим, что в ИТС на технологии IP с абсолютным приоритетом передачи пакетов класса B , который обеспечивает наилучшие условия для их передачи, коэффициент ρ_{ij}^C в выражениях $K_{h,ij}^C$ носит явно выраженный условный характер, т. к. зависит от загрузки каналов пакетами класса B . Кроме того, в ИТС на технологии IP указанный коэффициент зависит также и от длины протокольных блоков класса нагрузки.

Проведя соответствующие подстановки получим выражения для общих коэффициентов использования пропускной способности транспортных соединений K_{st}^k разнородным трафиком:

$$K_{st}^B = \frac{s^B}{N^B (L^B + H_{FR})} \sum_{m=1}^{M_{st}} p_{st,m}^B \sqrt[r_{st,m}]{\prod_{ij \in I_{st,m}} \rho_{ij}^B (L^B)},$$

$$K_{st}^C = \frac{s^C \beta_{ij}^C}{N^C (L^C + H_{FR})} \sum_{m=1}^{M_{st}} p_{st,m}^C \sqrt[r_{st,m}]{\prod_{ij \in I_{st,m}} \rho_{ij}^C (L^B, \beta_{ij}^{*B}, L^C)}, \quad (6)$$

В формулах (6) ρ_{ij}^k - текущая загрузка соединения нагрузкой k - класса с учетом потерь по вызовам. Средневзвешенные по потокам общие коэффициенты использования

пропускной способности всей инфокоммуникационной сети на технологии IP произвольной топологии разнородным трафиком K^k для $\forall st \in S : a_{st}^k \neq 0$, $k = \overline{1,3}$ имеют вид

$$K^B = \sqrt[q]{\sum_{st \in S} \frac{a_{st}^B}{Y^B} (K_{st}^B)^q}; K^C = \sqrt[q]{\sum_{st \in S} \frac{a_{st}^C}{Y^C} (K_{st}^C)^q}; q = |S| \quad (7)$$

3.4. Описание методики расчета.

Математическая модель, описывающая процесс передачи трафика классов B и C по однородному n -звенному транспортному каналу в режиме установленного соединения, может быть представлена однолинейной многофазной системой массового обслуживания (СМО), каждый канал звена которого совместно с соответствующей ему частью памяти УК моделируется СМО $M/M/1$. На физическом уровне n звеньев (элементов) образуют тракт передачи, где n – число переприемов от источника до получателя, по которому, кроме потока, принадлежащего данному виртуальному соединению (основной поток), могут циркулировать потоки, принадлежащие другим виртуальным соединениям (сторонние потоки). Предполагается также, что доли основного и сторонних потоков на их входе таковы, что при статистическом мультиплексировании большого числа независимых разнородных потоков с переменной скоростью передачи выполняется условие "пуассонизации" суммарного потока. Время установления транспортного канала не учитывается. В сеансе связи трафик класса B обслуживается на каждой фазе с абсолютным приоритетом (с дообслуживанием) по отношению к нагрузке класса C , который имеет соответственно низший приоритет. Понятие вероятности блокировки выделяемого ресурса в сеансе связи для трафика класса B с этой СМО эквивалентно вероятности превышения B -пакетами допустимого времени сетевой задержки θ^B . Обозначим эту вероятность d^B . Эта величина характеризует качество передачи трафика класса B . Для нагрузки данных качество передачи задается средним временем T_{st}^C пребывания пакетов класса C в сети. Таким образом, при заданных параметрах пакетной ТС необходимо определить возможность передачи потоков разнородной нагрузки с требуемыми характеристиками обслуживания θ^B, d^B, T_{st}^C . При этом, если такая передача возможна, то необходимо определить предельные значения указанной нагрузки, а в случае невозможности передачи – ее максимально допустимые значения, при которых еще возможно заданное качество передачи. В общем случае для пакетной ТС с учетом

введенных выше предположений сформулированную задачу можно записать в виде последовательности двух задач оптимизации:

Найти $\arg \max K_{st}^B$, при условиях $\Pr_{st}(t \geq \theta^B) \leq d^B$, $\forall st \in S^B : a_{st}^B \neq 0$

где $\Pr_{st}(t \geq \theta^B)$ - вероятность превышения заданного времени пребывания пакетов класса В на направлении $st \in S^B$.

2. Найти $\arg \max K_{st}^C$, при условиях $T_{st}^C \leq T^{*C} \forall st \in S^C : a_{st}^C \neq 0$, и все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

Поставленную задачу будем решать, максимизируя общие критерии эффективности ТС МСС K_{st}^B и K_{st}^C , отыскивая при этом оптимальные длины речевых пакетов и пакетов данных (L^{*B} и L^{*C}). Задача нахождения L^{*B} и L^{*C} сводится к задаче на определение безусловного экстремума $dK_{st,m}^B/dL^B = 0, dK_{st,m}^C/dL^C = 0$. В результате преобразований получим два уравнения относительно неизвестных L^{*B} и L^{*C} . После этого становится возможным определить $V_{st,m}^B = K_{st,m}^B V$ - максимально эффективная скорость передачи трафика класса В, которую может пропустить однородный тракт $st \in S^B$ (при заданной величине нагрузки $a_{st,m}^B$, заданном времени θ^B и ограничении d^B) и $V_{st,m}^C = K_{st,m}^C V$ - максимально эффективная скорость передачи трафика класса С, которую может пропустить тракт $st \in S^C$ (при заданной величине нагрузки $a_{st,m}^B$ и заданном среднем времени $T_{st,m}^C$).

Показателем качества работы однородной ТС МСС на технологии IP может служить коэффициент использования цифрового тракта передачи на транспортном уровне:

$$R = [V_{st,m}^B (1 - d^B) + V_{st,m}^C] / V$$

3.5. Алгоритм расчета характеристик однородной ТС МСС на технологии IP-QoS при условии значения ошибок в транспортном канале $p=0$.

Исходные данные:

d - допустимая вероятность превышения сквозной задержки пакетами класса В

n - количество узлов в сети

T^C , сек – среднее время пребывания пакета класса С в сети.

θ^B , сек – заданная сквозная задержка пакетами класса В

ω^C , бит/с – скорость работы абонентской установки данных,

τ^B , сек – средняя длительность активного речевого фрагмента

H_{TCP} , бит – размер заголовка TCP

H , бит – размер заголовка NI (в данном случае – FR)

H_{IP} , бит – размер заголовка IP

p - вероятность ошибки в тракте

η

V , бит – скорость канала.

v^B , бит/с – скорость работы речепреобразующего устройства

На первом этапе вычисляются максимальные значения $a_{st,m\max}^B$, ρ^{*B} , ρ^{*C} , L^{*B} , L^{*C} .

1. Вычисление Z . По заданным n , d^B найти z - по таблице

$n \backslash d$	2	3	5	7	10	13	15
0,005	7,4301	9,2738	12,5941	15,6597	19,9984	24,1450	26,8360
0.01	6,6384	8,4059	11,6046	14,5706	18,7831	22,8208	25,4461
0,03	5,3559	6,9838	9,9610	12,7466	16,7312	20,5730	23,0800

2. Вычисление L^{*B} . По заданным V , v^B , θ^B , H_{IP} , H_{NI} и полученному z найти:

$$L^{*B} = \frac{(\theta^B v^B + H_{IP})\alpha_1 - H_{NI} v^B}{\alpha_1 + v^B}$$

где $\alpha_1 = \sqrt{(H_{IP} + H_{NI})V/z\theta^B}$.

3. Вычисление ρ^{*B} . По заданным V , v^B , θ^B , H_{IP} , H_{NI} и полученным z и L^B (при $\beta^B=1$) найти

$$\rho^{*B} = 1 - \frac{z}{b} = 1 - \frac{z v^B (L^B + H_{NI})}{v^B V \theta^B - (L^B - H_{IP}) V}, \text{ где}$$

$$b = \left(\frac{\theta^B V}{L^B + H_{NI}} - \frac{L^B - H_{IP}}{L^B + H_{NI}} \frac{V}{v^B} \right)$$

Если $0 < \rho^{*B} \leq 1$, то перейти к 4, иначе положить $a_{st,m\max}^B = 0$ (где $a_{st,m\max}^B$ - величина

максимально возможного речевого трафика, который может пропустить тракт ПТС), $L^B = H_{IP}$ и перейти к 5.

4. Вычисление $a_{st,m \max}^B$. По заданным V, ν^B, H_{IP}, H_{FR} и вычисленным L^B и ρ^{*B} найти максимальную величину нагрузки:

$$a_{st,m \max}^B = \frac{(L^B - H_{IP})V}{\eta(L^B + H_{FR})\nu^B} \rho^{*B}$$

5. Вычисление L^C . По заданным $0 \leq a_{st,m}^B \leq a_{st,m \max}^B, V, \nu^B, H_{IP}, H_{NI}, n, T^C, \rho, \omega^C$ и вычисленном L^B (при $a_{st,m}^B = 0$ положить в $\rho^B = 0$) найти

$$L^C = \frac{-g + \sqrt{g^2 + a_3 c}}{\alpha_3} + H_{TCP}, \quad \text{где}$$

$$a_3 = \left(n + \frac{1 - \rho^B}{\omega^C} V \right) \left[1 - (H_{IP} + H_{NI}) \frac{1}{T^C \omega^C} \right] -$$

$$- \left[T^C V (1 - \rho^B) - n (L^B + H_{TCP} + H_{IP} + H_{NI}) \frac{\rho^B}{1 - \rho^B} - n (H_{TCP} + H_{IP} + H_{FR}) \right] \frac{1}{T^C \omega^C}$$

$$g = \left[n + \frac{1 - \rho^B}{\omega^C} V \right] (H_{TCP} + H_{IP} + H_{NI}) ;$$

$$c = \left[T^C V (1 - \rho^B) - n (L^B + H_{TCP} + H_{IP} + H_{NI}) \frac{\rho^B}{1 - \rho^B} - n (H_{TCP} + H_{IP} + H_{NI}) \right] (H_{TCP} + H_{IP} + H_{NI})$$

6. Вычисление β^C . Примем, что уровень ошибок во всех каналах сети одинаков, т. е. $\beta_{ij}^C = \beta^C(L^C, \rho)$. Если предположить, что распределение числа переспрашиваемых пакетов - геометрическое, а канал - биномиальный с вероятностью ошибки P и РОС, то

$$\beta^C = -\frac{P_0}{1 - P_0} \ln p_0, \quad \text{где } p_0 = (1 - P)^{L^C + H_{NI}}.$$

7. Вычисление ρ^{*C} . Загрузка ЛЦТ трафиком данных ρ^{*C} при условии, что процесс передачи в нем моделируется СМО $M/M/1$ с абсолютным приоритетом для речевых пакетов (с дообслуживанием), дается выражением:

$$\rho^{*C} = 1 - \rho^{*B} - \frac{L^C + H_{NI}}{\beta^C V T^C} - \frac{\rho^{*B}}{1 - \rho^{*B}} \frac{L^B + H_{NI}}{V T^C}$$

Далее с учетом полученных выше значений производим расчеты для $0 \leq a_{st,m}^B \leq a_{st,m \max}^B$ и заданных $V, \nu^B, H_{IP}, H_{NI}, n, T^C, \rho, \omega^C$.

8. Вычисление ρ^B . Загрузка тракта трафиком класса В:

$$\rho^B = \frac{L^B + H_{NI}}{L^B - H_{IP}} \frac{\nu^B}{V} a^B \eta.$$

9. **Вычисление** L^C (аналогично шагу 5).

10. **Вычисление** ρ^C . Загрузка ЛЦТ трафиком данных ρ^C при условии, что процесс передачи в нем моделируется СМО $M/M/1$ с абсолютным приоритетом для речевых пакетов (с дообслуживанием):

$$\rho^C = 1 - \rho^B - \frac{L^C + H_{NI}}{\beta^C V T^C} - \frac{\rho^B}{1 - \rho^B} \frac{L^B + H_{NI}}{V T^C}$$

11. **Вычисление** V^C - максимально возможной эффективной скорости передачи трафика данных при заданных V и T^C :

Если $L^C = H_{IP}$, то $V^C = 0$. Иначе

$$V^C = V \frac{(L^C - H_{ip})\rho^C}{L + H_{TCP} + H_{NI}}$$

12. **Вычисление** V^B

$$V^B = V \frac{(L^B - H_{ip})\rho^B}{L + H_{TCP} + H_{NI}}$$

13. **Вычисление R**. Показателем качества работы однородной инфокоммуникационной сети на технологии IP может служить коэффициент использования цифрового тракта передачи на транспортном уровне:

$$R = \frac{V^B(1 - d^B) + V^C}{V}$$

Оформление результатов

1. Варианты по номеру списка. В варианте изменяется несколько параметров.
2. Построить графики зависимости R от a^B при изменении входных параметров $T^C; \omega^C; v^B; \theta^B; n; d^B; p; V$
3. При получении большого количества результатов ограничится 15-20 значениями, равномерно распределенных по диапазону значений.