

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Обзор IP-технологий и требования по обеспечению качества IP-услуг.....	7
1.1 Технология пакетной передачи речи и телевизионного изображения.....	7
1.2 Программное обеспечение для расчета структурных и вероятностно-временных характеристик процесса доставки пакетов.....	11
1.3 Краткое описание требований предоставления IP услуг и параметров качества.....	14
2. Расчет сетевых параметров в проектируемой среде.....	20
2.1 Математическая модель расчета сетевых параметров.....	20
2.2 Расчет матрицы информационного тяготения.....	22
2.3 Расчет канального ресурса проектируемой сети.....	26
3. Технические решения для реализации проектируемой IP сети.....	57
3.1 Технология абонентского доступа в IP сети.....	57
3.2 Выбор протокола маршрутизации для IP сети.....	58
3.3 Расчет графа сети ПСС.....	62
3.4 Выбор сетевого оборудования.....	63
Заключение.....	65
Список использованных источников.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ А Обобщенная структурная схема IP-сет.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Структурная схема проектируемой сети провайдера IP услуг.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ В Распределение канального ресурса сети.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Технические характеристики сетевого оборудования.....	70

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день как за рубежом, так и в Республике Беларусь бурно развивается сегмент телекоммуникационных услуг. И уже можно отметить существенное увеличение спроса на информационные сервисы и услуги. Наблюдается постоянный растущий интерес со стороны пользователей к мультимедийным и интерактивным услугам, таким как IP-телефония общего пользования, широкополосный доступ в Интернет, видео по требованию, IP-телевидение.

Основными услугами, которые оказывают операторы электросвязи: широкополосный доступ в сеть Интернет и IPTV. Операторы электросвязи Республики Беларусь предлагают все эти услуги в одном пакете (Triple Play). TriplePlay представляет собой маркетинговый телекоммуникационный термин, который описывает модель, когда пользователям по одному кабелю широкополосного доступа предоставляется одновременно три сервиса, такие как высокоскоростной доступ в Интернет, кабельное телевидение и телефонная связь. Также уже более 10 лет на сетях передачи данных введено в эксплуатацию оборудование для предоставления услуг телевидения по IP-протоколу (IPTV). IPTV – это услуга, позволяющая пользователю получать определенный набор мультимедийного контента посредством сети передачи данных.

На 1 ноября 2019 в Республике Беларусь количество абонентов широкополосного стационарного доступа составило 3,237 млн. [1].

На 1 ноября 2019 года согласно данным государственной статистической отчетности общее количество абонентов услуг IP-телевидения составило до 2,121 млн., а количество абонентов, подключенных по технологии GPON увеличилось до 2,51 млн., при этом ширина внешнего канала для доступа в интернет составила 1470 Гбит/с. [2].

На 1 сентября 2019 года число абонентов IPTV составляет более 1,1 млн. [3].

По данным прогнозов, число подключений IPTV в мире на конец 2020 года должен составить 191 млн. России удастся войти в первую пятерку по числу IPTV пользователей: помимо выше названного Китая она будет состоять из США (16,1 млн IPTV подписчиков к 2020 году), Франции (8,74 млн), Японии (7,2 млн), а на пятом месте окажется отечественный рынок. А вот в пятерку IPTV стран по выручке Россия не попадет, в нее войдут в порядке убывания объема IPTV рынка: США (8,96 млрд долл), Китай (2,29 млрд долл), Япония (2,25 млрд долл), Франция (1,7 млрд долл) и Южная Корея (1,27 млрд долл) [4].

По данным Минсвязи Беларуси в стране на 2 февраля 2021 насчитывается 3,256 миллиона абонентов стационарного широкополосного интернет-доступа. За минувший год показатель увеличился на 23 тысячи.

Стало больше и абонентов цифрового телевидения (IP-телевидения). Теперь их 2,36 миллиона.

В рамках торговой марки byfly предлагает доступ в Интернет по проводным и беспроводным технологиям. В семействе проводных технологий самыми популярными являются технологии ADSL и xPON. Беспроводный доступ byfly предлагает с использованием технологий Wi-Fi и 3G [5].

Все выше сказанное определяет актуальность данной темы.

Цель данной работы заключается в проектировании сети провайдера IP-услуг с обеспечением QoS.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть принципы построения IP сети и требования по предоставлению качества услуг, а именно рассмотреть технологию пакетной передачи речи и телевизионного изображения; рассмотреть программное обеспечение для расчета структурных и вероятностно-временных характеристик процесса доставки пакетов; и осуществить краткое описание требований предоставления IP услуг и параметров качества.

2. Выполнить расчет сетевых параметров в проектируемой среде , а именно: рассмотреть математическую модель расчета сетевых параметров; осуществить расчет матрицы информационного тяготения; и выполнить расчет канального ресурса проектируемой сети.

3. Осуществить поиск технических решений для реализации IP сети, а именно выбрать технологию абонентского доступа в IP сети, осуществить выбор протокола маршрутизации для IP сети; рассчитать граф сети ПСС; и осуществить выбор сетевого оборудования.

1 ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ IP СЕТИ И ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРЕДОСТАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВА УСЛУГ

1.1 Технология пакетной передачи речи и телевизионного изображения

IP-сеть представляет собой цифровую телекоммуникационную сеть, которая построена на основе протокола IP, в которой все данные – голос, текст, видео, компьютерные программы или информация в любой другой форме передаются в виде пакетов в едином тракте одновременно между многими пользователями [6].

Трафик IP-сети включает в себя потоки информации от разных приложений, осуществляющих передачу голоса и других видов изохронного трафика, мультимедиа, документов (в том числе больших по размеру), файлов, данных с компьютерных носителей, данных между локальными сетями, факсимиле, изображений с размером транзакции 106 байт, высококачественного аудио, многочисленных видов видео. Основными критериями классификации трафика являются относительная предсказуемость скорости передачи данных, чувствительность трафика к задержкам пакетов, чувствительность трафика к потерям и искажениям пакетов.

Сеть IP-телефонии – это комплекс оконечного оборудования, каналов связи и узлов коммутации. Сети IP-телефонии строятся по тому же принципу, что и сети Интернет. Но в отличие от сетей Интернет, к сетям IP-телефонии предъявляются особые требования по обеспечению качества передачи речи. Одним из способов уменьшения времени задержки речевых пакетов в узлах коммутации является сокращение количества узлов коммутации, участвующих в соединении.

В связи с этим при построении крупных транспортных сетей в первую очередь организуется магистраль, которая обеспечивает транзит трафика между отдельными участками сети, а оконечное оборудование (шлюзы) включается в ближайший узел коммутации (рисунок 1.1). Оптимизация маршрута позволяет улучшить качество предоставляемых услуг. При подключении к сети других операторов их оборудование также подключается к ближайшему узлу коммутации [7].

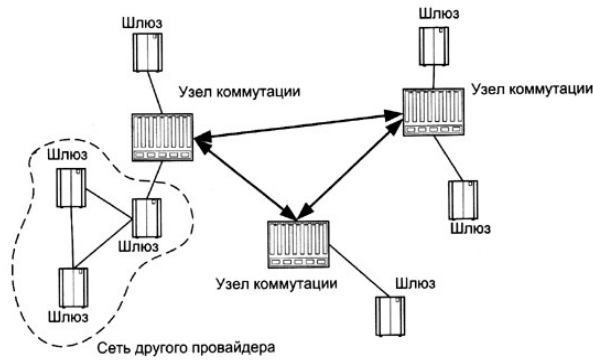


Рисунок 1.1 – Пример построения сети IP-телефонии с применением магистральной

Для связи между устройствами внутри сети и с устройствами других сетей IP-телефонии используются выделенные каналы или сеть Интернет. По способу связи конечных устройств между собой сети IP-телефонии можно разделить на выделенные, интегрированные и смешанные. В выделенных сетях (рисунок 1.2) связь между конечными устройствами осуществляется по выделенным каналам и пропускная способность этих каналов используется только для передачи речевых пакетов.

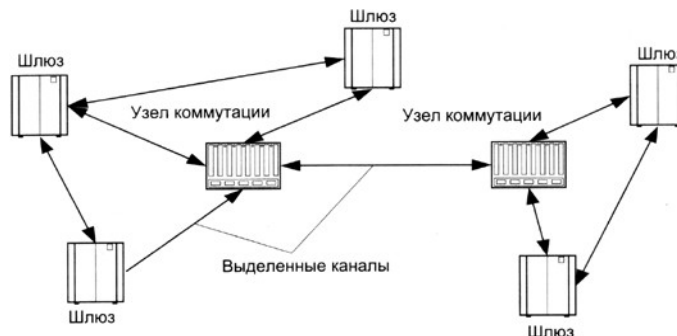


Рисунок 1.2 – Пример построения выделенной сети IP-телефонии

В интегрированных сетях IP-телефонии для связи между устройствами используется глобальная сеть Интернет (рисунок 1.3). Это может быть уже существующая собственная сеть или доступ к сети Интернет через провайдеров. Если оператор имеет собственную сеть Интернет, то для предоставления услуг IP-телефонии он лишь устанавливает дополнительное оборудование, которое обеспечивает преобразование речи в данные и наоборот, и модернизирует уже имеющееся оборудование, чтобы обеспечить качество предоставляемых услуг [8].

По разным причинам операторы сетей IP-телефонии для объединения своих устройств в сети могут использовать выделенные каналы и сеть Интернет. Такие сети можно назвать сетями смешанного типа (рисунок 1.4). Вопрос о том, какие каналы использовать для

связи устройств между собой, решается оператором индивидуально в зависимости от возможностей.

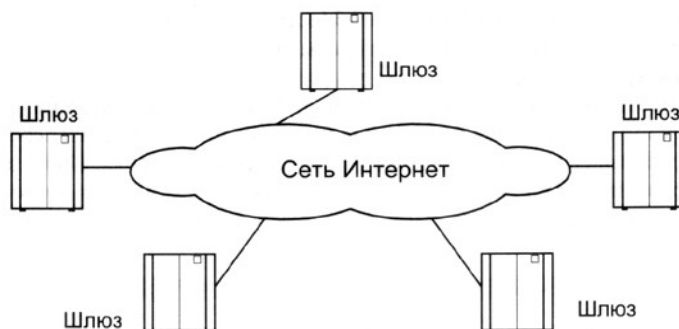


Рисунок 1.3 – Пример построения интегрированной сети IP-телефонии

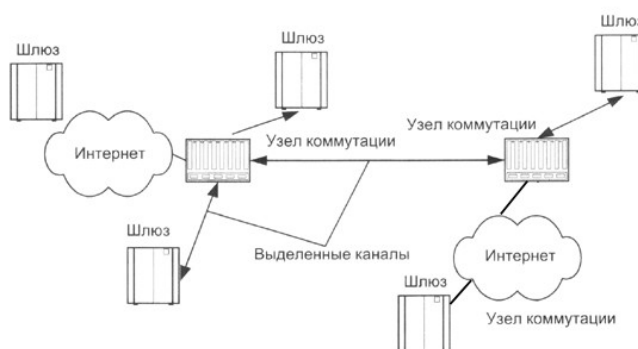


Рисунок 1.4 – Пример построения смешанной сети IP-телефонии

Услуги сетей IP-телефонии:

1. Речевые соединения. Сети IP-телефонии любого уровня могут предоставлять конечным пользователям следующие виды речевых соединений: телефон-телефон; компьютер-телефон; телефон-компьютер; компьютер-компьютер.

2. Связь с любой точкой мира. На сегодняшний день большинство международных операторов IP-телефонии декларируют предоставление связи с любой точкой мира. Эта возможность является основным требованием к провайдерам IP-телефонии. Но для реализации этого требования в одиночку, только с применением собственной сети, операторам IP-телефонии пришлось бы вкладывать огромные денежные средства в развертывание сети по всему миру. Чтобы избежать этого, провайдеры заключают соглашения с другими сетями IP-телефонии.

3. Роуминг пользователя. Это одна из перспективных услуг, при этом абонент одной сети может воспользоваться услугами IP-телефонии, находясь в другой сети. Для этого необходимо, чтобы при перемещении пользователя в другую сеть, визитная сеть могла

получить данные этого абонента из его домашней сети. Функционирование такой услуги возможно при использовании соответствующей системы биллинга и менеджмента абонентов.

Обобщенная структурная схема IP-сети представлена в ПРИЛОЖЕНИИ А.

Компьютерные сети классифицируются по двум признакам: общие (пользовательские) и специальные (профессиональные).

Общие (пользовательские) признаки:

- по архитектуре;
- по масштабу администрирования;
- по уровню однородности;
- по территориальному признаку;
- по скорости передачи;
- по способу подключения;
- по предоставляемому сервису (службам).

Классификация сетей по архитектуре:

- LAN – Local Area Network (ЛВС) – Локальные вычислительные сети: Ethernet, FastEthernet, ARCnet, TokenRing , LokalTalk (Apple) , WLAN, FDDI*.

- WAN – Wide Area Network (РВС) – Региональные и глобальные вычислительные сети: FDDI*, ATM, FrameRelay.

- MAN – Metropolian Area Network (ТВС) – Городские (территориальные) вычислительные сети.. Это понятие в настоящее время уже не используется. Оно вытеснено понятием WAN.

- GAN – Global Area Network (ГВС) – Глобальные вычислительные сети.Это понятие в настоящее время уже не используется. Оно вытеснено понятием WAN.

Классификация по масштабу администрирования:

- Офисные сети (сети отделов).
- Учрежденческие сети (сети кампусов).
- Корпоративные сети.
- Сети общего доступа (Internet).

Классификация по уровню однородности:

- Одноранговые.
- «Клиент-сервер»
- – Клиент – объект (компьютер или программа), запрашивающий некоторые услуги.

- – Сервер – объект (компьютер или программа), предоставляющий некоторые услуги.

- Гибридные.
- Гетерогенные, гомогенные.

Классификация по скорости передачи данных (единицы измерения скорости передачи (боды, бит/с, bps, cps, Мб/с , МБ/с):

- коммуникационные модемные каналы: 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 33600, 56000 bps;
- физическая скорость на коммутируемых телефонных каналах = (1200-3000 bod);
- цифровые модемы 64Кб/с, 128 Кб/с, 256Кб/с, 1,0Мб/с, 5Мб/с, 10Мб/с;
- среднескоростные сети 1, 2, 8, 10, 16, 20 Мб/с;
- скоростные сети 100 Мб/с, 1.5 Гб/с.

Классификация по типу передающей среды: проводная (коаксиал, витая пара, оптоволокно); беспроводная (радиоканал, ИК каналы, микроволновые каналы).

Специальные (профессиональные) признаки:

- по топологии сети;
- по способу управления;
- по типу передающей среды;
- по назначению.

Классификация по топологии сети:

- сети с топологией «Общая шина»;
- сети с топологией «Звезда»;
- сети с топологией «Кольцо»;
- сети с древовидной топологией;
- сети со смешанной топологией.

Формула расчеты ИКС:

1.2 Программное обеспечение для расчета структурных и вероятностно-временных характеристик процесса доставки пакетов

ПО расчета структуры иерархических ИКС является программной реализацией модели и алгоритмов. Пакет программ характеризуется иерархичностью и модульностью

структуры, гибкостью к перестройке и позволяет путем замены соответствующих карт-признаков производить переориентацию программ [9].

Пакет программ включает в свой состав (рисунок 1.5) монитор, функциональную подсистему FS и оптимизационную подсистему OS.

Монитор выполняет ввод и печать выходных данных, выбор и запуск модулей пакета в соответствии с заданным режимом работы, запуск OS и печать им выходных результатов.

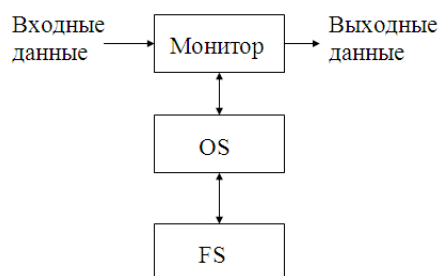


Рисунок 1.5 – Состав ППП расчета сети

FS состоит из двенадцати программных модулей, предназначенных для расчёта экономических, структурных и вероятностно-временных характеристик процессов доставки пакетов и технического обслуживания. FS работает под управлением OS. Перечислим основные модули FS, ориентированные на расчёт:

- средних длин каналов различных ступеней иерархии;
- диаметра графа зонной подсети;
- средней длины маршрута;
- числа каналов связи в подсетях;
- зонных коэффициентов замыкания;
- потоков в каналах связи и узлах коммутации;
- задержек в трактах;
- вероятностей доставки для трактов;
- эффективности технического обслуживания;
- приведённых затрат;
- численных значений штрафной функции;
- численных значений всех ограничений;

Подсистема OS представляется тремя модулями, реализующими методы штрафных функций, комбинацию шагового алгоритма парных проб ШАП и метода случайного поиска с

уменьшением интервала поиска СПУИП, набор методов одновременного поиска для решения задач анализа ИКС.

Этапу настройки пакета на конкретную задачу должна предшествовать формализация задачи в терминах и обозначениях, присущих этому ПО. Перечень возможных постановочных альтернатив определяется критерием оптимальности, классом оптимизируемых структур, составом системы ограничений, дисциплинами обслуживания очередей и т.п. Каждому показателю в пакете программ соответствует многопозиционный программный ключ.

Установкой ключа в то или иное положение задается соответствующий режим. Физическая реализация ключа – это перфокарта со значением 1 или 0.

Дальнейшие действия проектировщика сводятся к подготовке исходных данных, заданию начальных значений параметров оптимизационных алгоритмов и стартовой точки, запуску ПО и анализу полученного решения.

Пакет программ расчёта иерархических ИКС является развитием аналогичного пакета, предназначенного для расчета отдельных неприоритетных сетей связи.

Характеристики ПО:

1. Объем занимаемой памяти;
2. Продолжительность оптимизации одного проекта ИКС;
3. Тип управляющей системы.

Малый объем занимаемой памяти объясняется отсутствием матричных форм представления информации, а высокое быстродействие программ – аналитическим (формульным) видом модели ИКС и эффективными алгоритмами, использующими идеи как покоординатного, так и группового спуска.

ПО используется в задачах топологического проектирования сетей связи, определение оптимального типажа технических средств связи, выделения эффективных областей использования различных методов коммутации, расчета числа центров технического обслуживания (ЦТО), оценки предельно достижимых надёжностных, стоимостных и вероятностно-временных характеристик сети, оценки устойчивости решения к выходным условиям задачи, выявления «узких» по пропускной способности мест.

Практика оптимизации ряда общегосударственных и ведомственных сетей связи показала, что в отличие от традиционных переборных процедур топологического проектирования ПО позволяет проводить детализацию общественных требований по задержке, стоимости, вероятности доставки (потерь) и надёжности до частных требований, предъявляемых к отдельным подсетям, что повышает эффективность последующего

применения традиционных переборных алгоритмов проектирования. ПО исключает необходимость применения вспомогательных алгоритмов генерации допустимых стартовых структур и поиска начального реализуемого плана распределения потоков; а также обеспечивает оптимизацию и анализ ИКС практически неограниченного масштаба.

1.3 Краткое описание требований предоставления IP услуг и параметров качества

На сегодняшний день все типы речевых кодеков можно разделить на три группы:

1. Кодеки с вокодерным преобразованием речевого сигнала возникли в системах мобильной связи для снижения требований к пропускной способности радиотракта.

2. Кодеки с Импульсно Кодовой Модуляцией (ИКМ) и Адаптивной Дифференциальной Импульсно Кодовой Модуляцией (АДИКМ), появившиеся в конце 50 –х годов и использующиеся сегодня в системах традиционной телефонии.

3. Комбинированные (гибридные) кодеки сочетают в себе технологию вокодерного преобразования/синтеза речи, но оперируют уже с цифровым сигналом посредством специализированных DSP [10].

В голосовых шлюзах IP-телефонии «кодек» подразумевает не только алгоритмы кодирования/декодирования, но и их аппаратную реализацию.

Большинство кодеков, используемых в IP-телефонии, описаны рекомендациями семейства «G» стандарта H.323.

Под VoIP или же телефонными кодеками понимаются математические модели, применяемые для цифрового кодирования и сжатия аудио информации.

Основные VoIP кодеки [11]:

G.711. Рекомендация, утверждённая МККТТ в 1984 г., описывает кодек, использующий ИКМ преобразование аналогового сигнала с точностью 8 бит, тактовой частотой 8 КГц и простейшей компрессией амплитуды сигнала. Скорость потока данных на выходе преобразователя составляет 64 Кбит/с (8 Бит · 8 КГц). Для снижения шума квантования и улучшения преобразования сигналов с небольшой амплитудой, при кодировании используется нелинейное квантование по уровню согласно специальному псевдо — логарифмическому закону A или $m - Law$.

G.723.1. Рекомендация G.723.1 описывает гибридные кодеки, использующие технологию кодирования речевой информации, сокращённо называемую – MP-MLQ (Multy-

Pulse – Multy Level Quantization – Множественная Импульсная, Многоуровневая Квантизация), данные кодеки можно охарактеризовать, как комбинацию АЦП/ЦАП и вокодера. Использование вокодера дает возможность снизить скорость передачи данных в канале, что принципиально важно для эффективного использования как радиотракта, так и IP-канала. Основной принцип работы вокодера – синтез исходного речевого сигнала посредством адаптивной замены его гармонических составляющих соответствующим набором частотных фонем и согласованными шумовыми коэффициентами. Кодек G.723 осуществляет преобразование аналогового сигнала в поток данных со скоростью 64 Кбит/с (ИКМ), а затем при помощи многополосного цифрового фильтра/вокодера выделяет частотные фонемы, анализирует их и передаёт по IP-каналу информацию только о текущем состоянии фонем в речевом сигнале. Данный алгоритм преобразования позволяет снизить скорость кодированной информации до 5,3 – 6,3 Кбит/с без видимого ухудшения качества речи. Данный кодек имеет две скорости и два варианта кодирования: 6,3 Кбит/с с алгоритмом MP-MLQ и 5,3 Кбит/с с алгоритмом CELP.

Гибридные кодеки G.729. Данное семейство включает кодеки G.729, G.729 Annex A, G.729 Annex B). Кодеки G.729 сокращенно называют CS-ACELP Conjugate Structure – Algebraic Code Excited Linear Prediction – Сопряжённая структура с управляемым алгебраическим кодом линейным предсказанием. Процесс преобразования использует 21,5 MIPS и вносит задержку 15 мс. Скорость кодированного речевого сигнала составляет 8 Кбит/с.

G.726. Рекомендация G.726 описывает технологию кодирования с использованием Адаптивной Дифференциальной Импульсно-Кодовой Модуляции (АДИКМ) со скоростями: 32 Кбит/с, 24 Кбит/с, 16 Кбит/с. Процесс преобразования не вносит существенной задержки и требует от DSP 5,5 – 6,4 MIPS. Кодек может применяться совместно с кодеком G.711 для снижения скорости кодирования последнего. Кодек предназначен для использования в системах видеоконференций.

G.728. Гибридный кодек, описанный в рекомендации G.728 в 1992 г, относится к категории LD-CELP – Low Delay – Code Excited Linear Prediction – Кодек с управляемым кодом линейным предсказанием и малой задержкой. Кодек обеспечивает скорость преобразования 16 Кбит/с, вносит задержку при кодировании от 3 до 5 мс и предназначен для использования в системах видеоконференций.

Характеристики кодеков семейства H.323 представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики VoIP кодеков

Кодек	Тип кодека	Скорость кодирования	Задержка при кодировании
G.711	ИКМ	64 Кбит/с	0,75 мс
G.726	АДИКМ	32 Кбит/с	1 мс
G.728	LD – CELP	16 Кбит/с	От 3 до 5 мс
G.729	CS – ACELP	8 Кбит/с	10 мс
G.726 а	CS – ACELP	8 Кбит/с	10 мс
G.723.1	MP – MLQ	6,3 Кбит/с	30 мс
G.723.1	ACELP	5,3 Кбит/с	30 мс

Требования, предъявляемые к классам качества услуг VoIP представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 — Требования, предъявляемые к классам качества услуг VoIP

Класс качеств услуги передачи речи		Высший	Высокий	Средний	Низший
Качество голоса в одном направлении		Не хуже, чем по G.711	Не хуже, чем по G.726 для V=32 Кбит/с	Не хуже, чем по GSM-FR	-
Сквозная задержка		<150 мс	<250 мс	<450 мс	>450 мс
Время установления соединения	Прямая IP-адресация	<1,5 сек	<4 сек	<7 сек	
	Перевод E.164 в IP-адрес	<2 сек	<5 сек	<10 сек	
	Перевод E.164 в IP-адрес через расчётную организацию	<3 сек	<6 сек	<15 сек	
	Перевод e-mail в IP-адрес	<4 сек	<13 сек	<25 сек	
Коэффициент потерь пакетов IP		0%	3%	15%	25%
Пиковое дрожание фазы (джиттер)		0 мс	75 мс	125 мс	225

В IPTV могут использоваться следующие кодеки [12]:

MPEG 1. Использует полное кодирование, требует высокоскоростных каналов;

MPEG 2. Использует двунаправленное предсказание, кодирует полностью кадр;

MPEG 4. Использует раздельное кодирование для разных типов видеoinформации;

MPEG 7. Представляет собой медиа-интерфейс для описания содержимого, стандартизирует элементы, ориентированные на поддержку мультимедиа.

Все форматы сжатия семейства MPEG (MPEG 1, MPEG 2, MPEG 4, MPEG 7) используют высокую избыточность информации в изображениях, разделенных малым интервалом времени.

Для того чтобы привести все нежелательные факторы, возникающие при передаче речи по сетям с пакетной коммутацией, в соответствие с допустимыми нормами необходимо придерживаться ряда мер по обеспечению гарантированного качества услуг (Quality of Service, QoS).

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. Качество передачи сети определяется следующими факторами:

1. 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 обслуживания (SLA).

2. 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.

3. 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.

4. 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 мсек, а для передачи следующего пакета - 125 мсек, то колебание задержки составит 25 мсек.

Пропускная способность – это доступная пользователю полоса пропускания между двумя точками присутствия оператора [13].

Качество обслуживания (QoS) исключительно важно при оценивании архитектуры IPTV, поскольку передача видео по IP довольно чувствительна к потере пакетов. ТВ-приставки имеют ограниченную функциональность для борьбы с потерями видеок кадров, однако многие из ТВ-приставок (STB) дают возможность избежать видимых артефактов из-за перерыва в сети за счет схем прямого исправления ошибок, скрывающих отсутствующую информацию, или путем повторной передачи недостающей информации. Оба этих метода технически достаточно сложны.

В сетях на базе IP высокое качество обслуживания трафика, чувствительного к задержкам передачи не обеспечивается по умолчанию. При применении протокола TCP имеется гарантия достоверной доставки информации, но ее перенос может осуществляться с непредсказуемыми задержками. Для UDP характерна минимизация задержек, но гарантия верной доставки пакета отсутствует.

Чтобы улучшить качество связи можно применять следующие механизмы: перемаршрутизация (при перегрузке одного из каналов связи дает возможность осуществить доставку при помощи резервных маршрутов; резервирование ресурсов канала связи на время соединения; и приоритизация трафика (позволяет помечать пакеты в соответствии с уровнем их важности и производить обслуживание на основе меток).

Голосовой трафик очень чувствителен к задержкам передачи. Максимальное время задержки не должно превышать 400 мс.

Различают два основных типа задержек:

1. Задержка при кодировании информации в голосовых шлюзах или терминальном оборудовании. Уменьшается за счет улучшения алгоритмов обработки и преобразования голоса.

2. Задержка, вносимая сетью передачи. Уменьшается за счет улучшения сетевой инфраструктуры, в частности, сокращением количества маршрутизаторов и использованием высокоскоростных каналов.

Нормы для характеристик сетей IP с распределением по классам качества обслуживания представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Нормы для характеристик сетей IP с распределением по классам качества обслуживания

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка доставки пакета IP, IPTD	100мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н

Вариация задержки пакета IP, IPDV	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Коэффициент потери пакетов IP, IPLR	1x10-3	1x10-3	1x10-3	1x10-3	1x10-3	Н
Коэффициент ошибок пакетов IP, IPER	1x10-4	1x10-4	1x10-4	1x10-4	1x10-4	Н

Качество восприятия (англ. Quality of Experience, QoE) – это субъективная оценка восприятия клиентом таких сервисов, как: телефонные звонки; веб-серфинг; телевизионное вещание; обращения в Call-центр [14]

Системы контроля QoE стараются измерить показатели, которые клиент воспринимает непосредственно как параметр качества. Такая система рассматривает предложение поставщика с точки зрения заказчика или конечного пользователя. Поставщик может полностью выполнять формальные условия контракта. Несмотря на то, что достигнут высокий рейтинг QoS, пользователи могут быть очень недовольны, тем самым отмечая низкое QoE. С иной стороны, пользователи могут быть весьма удовлетворены продуктом или поставщиком, в результате чего QoE искусственно завышается.

Показатели качества услуг представлены в таблице 1.4, а требования к видеокодекам – в таблице 1.5.

Таблица 1.4 – Показатели качества услуг

Показатели качества	Описание
Пропускная способность (Bandwidth)	Пропускная способность канала равна количеству информации, которое может передаваться по нему в единицу времени.
Задержка доставки пакета IP	Задержка доставки пакета IP – это абсолютная задержка между вводом пакета в сеть и выводом пакета из сети
Колебания задержки (Джиттер – Jitter)	Колебания задержки (или джиттер) определяется как разность времени доставки соседних речевых пакетов IP.
Потеря пакетов (BER, PER,...)	BER (от англ. Bit Error Rate) – это вероятность появления битовых ошибок, а PER (от англ. Packet Error Rate) – это вероятность появления пакетных ошибок.
Надежность	Надежность оценивается коэффициентом готовности.

Таблица 1.5 – Требования, предъявляемые к основным видео-кодекам

Скорость передачи	Джиттер	Максимальная длительность	Соответствующий период потерь в IP	Количество ошибок в	Уровень потерь
-------------------	---------	---------------------------	------------------------------------	---------------------	----------------

данных (Мбит/с)		одиночной ошибки	пакетах	час	
QoS для H.262 в SDTV (стандартное качество)					
3,0	<50 мс	<=16мс	<6	<=1	<=5.85E-06
3,75	<50 мс	<=16мс	<7	<=1	<=5.46E-06
5,0	<50 мс	<=16мс	<9	<=1	<=5.26E-06
QoS для H.264 в SDTV (стандартное качество)					
1,75	<50 мс	<=16мс	<4	<=1	<=6.68E-06
2,0	<50 мс	<=16мс	<5	<=1	<=7.31E-06
2,5	<50 мс	<=16мс	<5	<=1	<=5.85E-06
3,0	<50 мс	<=16мс	<6	<=1	<=5.85E-06

2 РАСЧЕТ СЕТЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЕКТИРУЕМОЙ СРЕДЕ

2.1 Математическая модель расчета сетевых параметров

Рассмотрим основные характеристики систем пакетной коммутации:

Проектирование IP-сети подразумевает расчет основных характеристик элементов сети. К этим характеристикам относятся:

1. Загрузка i -го канала характеризует степень загруженности канала связи:

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}, i = 1, 2, 3 \dots m, \quad (2.1)$$

где ρ_i – загрузка i -го канала;

λ_i – интенсивность входящего потока в i -й канал, пакет/с;

μ_i – интенсивность обслуживания i -м каналом, пакет/с.

Интенсивность входящего потока в i -й канал находится из матрицы информационного тяготения (y_{jk}) и равна:

$$\lambda_i = \sum_{jk \in i} y_{jk}, \quad (2.2)$$

где y_{jk} – интенсивность потока, подлежащего передаче между j -м и k -м коммутаторами (элемент матрицы информационного тяготения).

Интенсивность обслуживания i -м каналом находится по формуле:

$$\mu_i = \frac{C_i}{V}, \quad (2.3)$$

где C_i – пропускная способность канала, бит/с;

V – размер пакета, бит.

2. Задержка пакета в канале связи (канальная задержка):

$$T_i = \frac{1}{(\mu_i - \lambda_i)}, \quad (2.4)$$

где T_i – задержка в i -м канале связи, с.

3. Среднесетевая задержка пакета:

$$\bar{T} = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^m \lambda_i T_i = \sum_{i=1}^m \alpha_i T_i, \quad (2.5)$$

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\Lambda}$$

где Λ – суммарный внешний трафик (или сумма всех элементов матрицы тяготения), пакет/с;

α_i – вспомогательный весовой коэффициент для i -го канала, показывающий "вклад" i -го канала в среднесетевую задержку.

4. Сквозная задержка (задержка "из конца в конец" или end-to-end). Сквозная задержка $T_{\text{end-to-end}}$ на отдельном маршруте представляет собой сумму канальных задержек T_i всех каналов, входящих в рассматриваемый маршрут, а также среднего времени обработки пакета в конечных T_{sp} и транзитных T_{stp} коммутаторах:

$$T_{\text{end-to-end}} = 2 \cdot T_{\text{sp}} + \pi \cdot T_{\text{stp}} + \sum_{i=1}^{\pi+1} T_i, \quad (2.6)$$

где π – число транзитных коммутаторов, входящих в рассматриваемое соединение.

Для обеспечения заданного качества обслуживания сквозная задержка речевого пакета для любого маршрута не должна превышать 0,15 сек.

5. Вероятность своевременной доставки пакета. Это вероятность того, что речевой пакет будет доставлен до получателя за время, не превышающее заданное (допустимое) время, для данного типа трафика:

$$P\{\bar{T} \leq t_3\} = 1 - e^{-t_3 / \bar{T}}, \quad (2.7)$$

где t_3 – заданное время доставки пакета через всю сеть;

\bar{T} – либо канальная задержка, либо задержка на маршруте, либо среднесетевая задержка.

2.2 Расчет матрицы информационного тяготения

Используем следующий алгоритм расчета матрицы информационного тяготения: задается прогнозируемое число коммутаторов $n=15$; задается число IP абонентов для зоны обслуживания каждого коммутатора; задается удельная абонентская нагрузка, равная 0,0555 Эрл; умножением числа IP абонентов (по всем зонам) на удельную абонентскую нагрузку находится суммарный внешний трафик; суммарный внешний трафик пересчитывается в пакетизированный трафик путем умножения трафика в Эрл на скорость работы кодека речепреобразующего устройства РПУ. Далее полученный результат делится на объем пакета и находится интенсивность суммарного входящего потока. Далее алгоритм расщепляет суммарный входящий поток «пакет/с» по направлениям связи с учетом неравномерности распределения абонентов по зонам обслуживания коммутаторов. Выполняем расчеты для сети емкостью абонентов, в которой: число маршрутизаторов $n=15$; заданная скорость кодека VoIP – 8 кбит/с; скорость кодека IPTV – 20 Мбит/с.

В таблице 2.1 показано распределение IP абонентов для зоны обслуживания каждого коммутатора. Исходные и промежуточные данные сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.1 — Распределение IP абонентов для зоны обслуживания каждого коммутатора

Номер коммутатора	Число абонентов
1	7392

2	5442
3	2865
4	7101
5	8381
6	3722
7	5643
8	9806
9	4961
10	4599
11	4673
12	4756
13	7706
14	5157
15	4612
Всего	86816

Таблица 2.2 – Исходные и промежуточные данные

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя
Число коммутаторов		15
Средняя длительность разговора	Секунд	100
Интенсивность вызовов (в час от абонента)		2
Удельная исходящая абонентская нагрузка	Эрл.	0,0555
Суммарная входящая абонентская нагрузка	Эрл.	6771,6
Объем пакета (кадра)	байт	531
Скорость работы РПУ	бит/с	8000
Средняя длительность фонемы	секунд	1,34
Средняя длительность паузы	секунд	1,67
Среднее число активных периодов в разговоре		16
Суммарный внешний трафик	пакетов/с	9073,99

Итогом работы является матрица тяготения – квадратная таблица размерности 15 x 15, где 15 - исходное число коммутаторов. Сумма элементов матрицы должна быть равна суммарному входящему потоку.

Таблица 2.3 — Матрица информационного тяготения

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	Итого
M1	65,8	48,4	25,5	63,2	74,6	33,1	50,2	87,3	44,1	40,9	41,6	42,3	68,6	45,9	41,0	772,6
M2	48,4	35,7	18,8	46,5	54,9	24,4	37,0	64,2	32,5	30,1	30,6	31,2	50,5	33,8	30,2	568,8
M3	25,5	18,8	9,9	24,5	28,9	12,8	19,5	33,8	17,1	15,9	16,1	16,4	26,6	17,8	15,9	299,4
M4	63,2	46,5	24,5	60,7	71,6	31,8	48,2	83,8	42,4	39,3	39,9	40,7	65,9	44,1	39,4	742,2
M5	74,6	54,9	28,9	71,6	84,6	37,6	56,9	98,9	50,1	46,4	47,2	48,0	77,8	52,0	46,5	876,0
M6	33,1	24,4	12,8	31,8	37,6	16,7	25,3	43,9	22,2	20,6	20,9	21,3	34,5	23,1	20,7	389,0
M7	50,2	37,0	19,5	48,2	56,9	25,3	38,3	66,6	33,7	31,2	31,7	32,3	52,4	35,0	31,3	589,8
M8	87,3	64,2	33,8	83,8	98,9	43,9	66,6	115,8	58,6	54,3	55,2	56,1	91,0	60,9	54,4	1024,9
M9	44,1	32,5	17,1	42,4	50,1	22,2	33,7	58,6	29,6	27,5	27,9	28,4	46,0	30,8	27,5	518,5
M10	40,9	30,1	15,9	39,3	46,4	20,6	31,2	54,3	27,5	25,5	25,9	26,3	42,7	28,6	25,5	480,7
M11	41,6	30,6	16,1	39,9	47,2	20,9	31,7	55,2	27,9	25,9	26,3	26,8	43,4	29,0	25,9	488,4
M12	42,3	31,2	16,4	40,7	48,0	21,3	32,3	56,1	28,4	26,3	26,8	27,2	44,1	29,5	26,4	497,1
M13	68,6	50,5	26,6	65,9	77,8	34,5	52,4	91,0	46,0	42,7	43,4	44,1	71,5	47,8	42,8	805,4
M14	45,9	33,8	17,8	44,1	52,0	23,1	35,0	60,9	30,8	28,6	29,0	29,5	47,8	32,0	28,6	539,0
M15	41,0	30,2	15,9	39,4	46,5	20,7	31,3	54,4	27,5	25,5	25,9	26,4	42,8	28,6	25,6	482,0
Суммарный внешний трафик, Пакет/с															9074	

Суммируя элементы матрицы МИТ, получим суммарный внешний трафик матрицы информационного тяготения, измеренный в пакет/с равен 9074

2.3 Расчет канального ресурса проектируемой сети

Для расчета пропускной способности каналов связи проектируемой сети используется программа DimKP, в основе которой лежит следующий алгоритм:

- задается число абонентов и скорость работы кодека. Другие параметры задаются аналогично программе расчета МИТ и вычисляются данной программой автоматически.
- производится умножение числа абонентов на удельную абонентскую нагрузку и скорость работы кодека (РПУ), а затем делением на объем пакета находится интенсивность входящего потока в измерении "пакет/с".
- далее алгоритм выводит результаты расчета для нескольких вариантов загрузки.

Для хорошего качества доставки во внимание принимаются следующие нормы:

- задержка пакета не должна превышать 10мс (VoIP), 150мс (IPTV)
- вероятность потери пакета не должна превышать 3% (VoIP), 1% (IPTV)

Значения сетевых параметров получаем, вводя в программу значение интенсивности входящей нагрузки (из МИТ) для каждого маршрутизатора в направлении других маршрутизаторов. Полученные результаты оформим в виде таблиц, приведенных ниже, где:

- С – скорость (пропускная способность), бит/с;
- ρ – загрузка;
- $t_{зад}$ – задержка;
- $P_{сд}$ – вероятность своевременной доставки;
- $P_{п}$ – вероятность потерь.

Рассчитаем сетевые параметры для пользователей VoIP. При этом во внимание принимаются заданные нормы для хорошего качества доставки:

- а) задержка пакета не должна превышать 0.01 с (или 10 мс);
- б) вероятность потери пакета не должна превышать 3 %.

Таблица 2.4 – Сетевые параметры для маршрутизатора М1 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
М1-М2	625625,60	0,2	0,009463	0,979540	0,020460
	312812,80	0,4	0,025233	0,918162	0,081838
	208541,87	0,6	0,056775	0,815864	0,184136
	156406,40	0,8	0,151400	0,672648	0,327352

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6
M1-M3	440921,60	0,2	0,013426	0,970970	0,029030
	220460,80	0,4	0,035804	0,883880	0,116120
	146973,87	0,6	0,080559	0,738729	0,261271
	110230,40	0,8	0,214823	0,535518	0,464482
M1-M4	437369,60	0,2	0,013535	0,970734	0,029266
	218684,80	0,4	0,036095	0,882937	0,117063
	145789,87	0,6	0,081213	0,736607	0,263393
	109342,40	0,8	0,216567	0,531746	0,468254
M1-M5	427660,80	0,2	0,013843	0,970070	0,029930
	213830,40	0,4	0,036914	0,880279	0,119721
	142553,60	0,6	0,083056	0,730628	0,269372
	106915,20	0,8	0,221484	0,521116	0,478884
M1-M6	560032,00	0,2	0,010571	0,977144	0,022856
	280016,00	0,4	0,028189	0,908577	0,091423
	186677,33	0,6	0,063425	0,794297	0,205703
	140008,00	0,8	0,169133	0,634307	0,365693
M1-M7	254560,00	0,2	0,023256	0,949717	0,050283
	127280,00	0,4	0,062016	0,798869	0,201131
	84853,33	0,6	0,139535	0,547454	0,452546
	63640,00	0,8	0,372093	0,195475	0,804525
M1-M8	397350,40	0,2	0,014899	0,967787	0,032213
	198675,20	0,4	0,039730	0,871146	0,128854
	132450,13	0,6	0,089392	0,710080	0,289920
	99337,60	0,8	0,238379	0,484586	0,515414
M1-M9	518355,20	0,2	0,011421	0,975307	0,024693
	259177,60	0,4	0,030455	0,901226	0,098774
	172785,07	0,6	0,068524	0,777759	0,222241
	129588,80	0,8	0,182732	0,604904	0,395096
M1-M10	382432,00	0,2	0,015480	0,966530	0,033470
	191216,00	0,4	0,041280	0,866120	0,133880
	127477,33	0,6	0,092879	0,698770	0,301230
	95608,00	0,8	0,247678	0,464480	0,535520
M1-M11	466969,60	0,2	0,012677	0,972589	0,027411
	233484,80	0,4	0,033807	0,890357	0,109643
	155656,53	0,6	0,076065	0,753303	0,246697
	116742,40	0,8	0,202840	0,561428	0,438572

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6
M1-M12	363251,20	0,2	0,016297	0,964763	0,035237
	181625,60	0,4	0,043459	0,859051	0,140949
	121083,73	0,6	0,097784	0,682864	0,317136
	90812,80	0,8	0,260756	0,436203	0,563797
M1-M13	293395,20	0,2	0,020178	0,956373	0,043627
	146697,60	0,4	0,053807	0,825491	0,174509
	97798,40	0,6	0,121065	0,607356	0,392644
	73348,80	0,8	0,322841	0,301965	0,698035
M1-M14	540140,80	0,2	0,010960	0,976302	0,023698
	270070,40	0,4	0,029227	0,905210	0,094790
	180046,93	0,6	0,065761	0,786722	0,213278
	135035,20	0,8	0,175362	0,620840	0,379160
M1-M15	554348,80	0,2	0,010679	0,976910	0,023090
	277174,40	0,4	0,028478	0,907639	0,092361
	184782,93	0,6	0,064075	0,792189	0,207811
	138587,20	0,8	0,170867	0,630558	0,369442

Таблица 2.5 — Сетевые параметры для маршрутизатора M2 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M2-M1	625625,60	0,2	0,009463	0,979540	0,020460
	312812,80	0,4	0,025233	0,918162	0,081838
	208541,87	0,6	0,056775	0,815864	0,184136
	156406,40	0,8	0,151400	0,672648	0,327352
M2-M3	1485920,00	0,2	0,003984	0,991386	0,008614
	742960,00	0,4	0,010624	0,965543	0,034457
	495306,67	0,6	0,023904	0,922472	0,077528
	371480,00	0,8	0,063745	0,862173	0,137827
M2-M4	1473369,60	0,2	0,004018	0,991312	0,008688
	736684,80	0,4	0,010715	0,965250	0,034750
	491123,20	0,6	0,024108	0,921812	0,078188
	368342,40	0,8	0,064288	0,860999	0,139001
M2-M5	1440928,00	0,2	0,004108	0,991117	0,008883

	720464,00	0,4	0,010956	0,964467	0,035533
	480309,33	0,6	0,024651	0,920052	0,079948
	360232,00	0,8	0,065735	0,857869	0,142131

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6
M2-M6	1887296,00	0,2	0,003137	0,993218	0,006782
	943648,00	0,4	0,008365	0,972871	0,027129
	629098,67	0,6	0,018821	0,938960	0,061040
	471824,00	0,8	0,050188	0,891485	0,108515
M2-M7	857926,40	0,2	0,006900	0,985080	0,014920
	428963,20	0,4	0,018401	0,940321	0,059679
	285975,47	0,6	0,041402	0,865723	0,134277
	214481,60	0,8	0,110406	0,761285	0,238715
M2-M8	1338630,40	0,2	0,004422	0,990438	0,009562
	669315,20	0,4	0,011793	0,961752	0,038248
	446210,13	0,6	0,026535	0,913942	0,086058
	334657,60	0,8	0,070759	0,847008	0,152992
M2-M9	1746873,60	0,2	0,003389	0,992673	0,007327
	873436,80	0,4	0,009037	0,970690	0,029310
	582291,20	0,6	0,020333	0,934054	0,065946
	436718,40	0,8	0,054223	0,882762	0,117238
M2-M10	1288902,40	0,2	0,004593	0,990069	0,009931
	644451,20	0,4	0,012248	0,960276	0,039724
	429634,13	0,6	0,027558	0,910622	0,089378
	322225,60	0,8	0,073489	0,841105	0,158895
M2-M11	1573772,80	0,2	0,003762	0,991867	0,008133
	786886,40	0,4	0,010031	0,967467	0,032533
	524590,93	0,6	0,022570	0,926800	0,073200
	393443,20	0,8	0,060187	0,869867	0,130133
M2-M12	1247462,40	0,2	0,004746	0,989739	0,010261
	623731,20	0,4	0,012655	0,958957	0,041043
	415820,80	0,6	0,028474	0,907653	0,092347
	311865,60	0,8	0,075930	0,835827	0,164173
M2-M13	988876,80	0,2	0,005987	0,987056	0,012944
	494438,40	0,4	0,015964	0,948224	0,051776
	329625,60	0,6	0,035920	0,883504	0,116496
	247219,20	0,8	0,095785	0,792896	0,207104
M2-M14	1819808,00	0,2	0,003253	0,992966	0,007034
	909904,00	0,4	0,008675	0,971865	0,028135

	606602,67	0,6	0,019519	0,936697	0,063303
	454952,00	0,8	0,052049	0,887461	0,112539

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6
М2-М15	1867878,40	0,2	0,003169	0,993147	0,006853
	933939,20	0,4	0,008452	0,972589	0,027411
	622626,13	0,6	0,019016	0,938326	0,061674
	466969,60	0,8	0,050710	0,890357	0,109643

Таблица 2.6 — Сетевые параметры для маршрутизатора М3 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
М3-М1	440921,60	0,2	0,013426	0,970970	0,029030
	220460,80	0,4	0,035804	0,883880	0,116120
	146973,87	0,6	0,080559	0,738729	0,261271
	110230,40	0,8	0,214823	0,535518	0,464482
М3-М2	1485920,00	0,2	0,003984	0,991386	0,008614
	742960,00	0,4	0,010624	0,965543	0,034457
	495306,67	0,6	0,023904	0,922472	0,077528
	371480,00	0,8	0,063745	0,862173	0,137827
М3-М4	1038604,80	0,2	0,005700	0,987676	0,012324
	519302,40	0,4	0,015200	0,950703	0,049297
	346201,60	0,6	0,034200	0,889082	0,110918
	259651,20	0,8	0,091199	0,802812	0,197188
М3-М5	1015635,20	0,2	0,005829	0,987397	0,012603
	507817,60	0,4	0,015544	0,949588	0,050412
	338545,07	0,6	0,034973	0,886573	0,113427
	253908,80	0,8	0,093262	0,798353	0,201647
М3-М6	1330342,40	0,2	0,004450	0,990378	0,009622
	665171,20	0,4	0,011867	0,961514	0,038486
	443447,47	0,6	0,026700	0,913406	0,086594
	332585,60	0,8	0,071200	0,846055	0,153945
М3-М7	604787,20	0,2	0,009789	0,978836	0,021164
	302393,60	0,4	0,026103	0,915342	0,084658

	201595,73	0,6	0,058731	0,809520	0,190480
	151196,80	0,8	0,156617	0,661368	0,338632
МЗ-М8	943648,00	0,2	0,006274	0,986436	0,013564
	471824,00	0,4	0,016729	0,945742	0,054258
	314549,33	0,6	0,037641	0,877921	0,122079
	235912,00	0,8	0,100376	0,782970	0,217030

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6
МЗ-М9	1231360,00	0,2	0,004808	0,989605	0,010395
	615680,00	0,4	0,012821	0,958420	0,041580
	410453,33	0,6	0,028846	0,906445	0,093555
	307840,00	0,8	0,076923	0,833680	0,166320
МЗ-М10	908601,60	0,2	0,006516	0,985912	0,014088
	454300,80	0,4	0,017375	0,943650	0,056350
	302867,20	0,6	0,039093	0,873212	0,126788
	227150,40	0,8	0,104248	0,774599	0,225401
МЗ-М11	1109408,00	0,2	0,005336	0,988462	0,011538
	554704,00	0,4	0,014230	0,953849	0,046151
	369802,67	0,6	0,032017	0,896161	0,103839
	277352,00	0,8	0,085379	0,815397	0,184603
МЗ-М12	862662,40	0,2	0,006862	0,985162	0,014838
	431331,20	0,4	0,018300	0,940649	0,059351
	287554,13	0,6	0,041175	0,866460	0,133540
	215665,60	0,8	0,109800	0,762595	0,237405
МЗ-М13	696902,40	0,2	0,008495	0,981633	0,018367
	348451,20	0,4	0,022653	0,926532	0,073468
	232300,80	0,6	0,050968	0,834697	0,165303
	174225,60	0,8	0,135916	0,706128	0,293872
МЗ-М14	1282745,60	0,2	0,004615	0,990021	0,009979
	641372,80	0,4	0,012307	0,960086	0,039914
	427581,87	0,6	0,027691	0,910193	0,089807
	320686,40	0,8	0,073842	0,840342	0,159658
МЗ-М15	1316608,00	0,2	0,004496	0,990278	0,009722
	658304,00	0,4	0,011990	0,961112	0,038888
	438869,33	0,6	0,026978	0,912502	0,087498
	329152,00	0,8	0,071942	0,844449	0,155551

Таблица 2.7 — Сетевые параметры для маршрутизатора М4 по всем направлениям связи

Направление	Пропускная	Загрузка	Задержка, с	Вероятность	Вероятность
-------------	------------	----------	-------------	-------------	-------------

связи	способность, бит/с			своевременной доставки	потерь
1	2	3	4	5	6
М4-М1	437369,60	0,2	0,013535	0,970734	0,029266
	218684,80	0,4	0,036095	0,882937	0,117063
	145789,87	0,6	0,081213	0,736607	0,263393
	109342,40	0,8	0,216567	0,531746	0,468254

Продолжение таблицы 2.7

1	2	3	4	5	6
М4-М2	1473369,60	0,2	0,004018	0,991312	0,008688
	736684,80	0,4	0,010715	0,965250	0,034750
	491123,20	0,6	0,024108	0,921812	0,078188
	368342,40	0,8	0,064288	0,860999	0,139001
М4-М3	1038604,80	0,2	0,005700	0,987676	0,012324
	519302,40	0,4	0,015200	0,950703	0,049297
	346201,60	0,6	0,034200	0,889082	0,110918
	259651,20	0,8	0,091199	0,802812	0,197188
М4-М5	1007110,40	0,2	0,005878	0,987290	0,012710
	503555,20	0,4	0,015675	0,949161	0,050839
	335703,47	0,6	0,035269	0,885613	0,114387
	251777,60	0,8	0,094051	0,796646	0,203354
М4-М6	1319212,80	0,2	0,004488	0,990297	0,009703
	659606,40	0,4	0,011967	0,961189	0,038811
	439737,60	0,6	0,026925	0,912675	0,087325
	329803,20	0,8	0,071800	0,844756	0,155244
М4-М7	599577,60	0,2	0,009874	0,978652	0,021348
	299788,80	0,4	0,026330	0,914607	0,085393
	199859,20	0,6	0,059242	0,807865	0,192135
	149894,40	0,8	0,157978	0,658426	0,341574
М4-М8	935596,80	0,2	0,006328	0,986319	0,013681
	467798,40	0,4	0,016873	0,945276	0,054724
	311865,60	0,6	0,037965	0,876870	0,123130
	233899,20	0,8	0,101240	0,781102	0,218898
М4-М9	1220940,80	0,2	0,004849	0,989516	0,989516
	610470,40	0,4	0,012930	0,958065	0,958065
	406980,27	0,6	0,029092	0,905647	0,905647
	305235,20	0,8	0,077580	0,832260	0,832260
М4-М10	901024,00	0,2	0,006570	0,985794	0,014206
	450512,00	0,4	0,017521	0,943176	0,056824

	300341,33	0,6	0,039422	0,872145	0,127855
	225256,00	0,8	0,105125	0,772703	0,227297
M4-M11	1099936,00	0,2	0,005382	0,988363	0,011637
	549968,00	0,4	0,014352	0,953452	0,046548
	366645,33	0,6	0,032293	0,895267	0,104733
	274984,00	0,8	0,086114	0,813807	0,186193

Продолжение таблицы 2.7

1	2	3	4	5	6
M4-M12	855321,60	0,2	0,006921	0,985035	0,014965
	427660,80	0,4	0,018457	0,940139	0,059861
	285107,20	0,6	0,041528	0,865314	0,134686
	213830,40	0,8	0,110742	0,760558	0,239442
M4-M13	691219,20	0,2	0,008565	0,981482	0,018518
	345609,60	0,4	0,022839	0,925928	0,074072
	230406,40	0,6	0,051387	0,833338	0,166662
	172804,80	0,8	0,137033	0,703712	0,296288
M4-M14	1272089,60	0,2	0,004654	0,989938	0,010062
	636044,80	0,4	0,012410	0,959751	0,040249
	424029,87	0,6	0,027923	0,909440	0,090560
	318022,40	0,8	0,074460	0,839005	0,160995
M4-M15	1305715,20	0,2	0,004534	0,990197	0,009803
	652857,60	0,4	0,012090	0,960788	0,039212
	435238,40	0,6	0,027203	0,911772	0,088228
	326428,80	0,8	0,072543	0,843151	0,156849

Таблица 2.8 — Сетевые параметры для маршрутизатора M5 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M5-M1	427660,80	0,2	0,013843	0,970070	0,029930
	213830,40	0,4	0,036914	0,880279	0,119721
	142553,60	0,6	0,083056	0,730628	0,269372
	106915,20	0,8	0,221484	0,521116	0,478884
M5-M2	1440928,00	0,2	0,004108	0,991117	0,008883
	720464,00	0,4	0,010956	0,964467	0,035533

	480309,33	0,6	0,024651	0,920052	0,079948
	360232,00	0,8	0,065735	0,857869	0,142131
M5-M3	1015635,20	0,2	0,005829	0,987397	0,012603
	507817,60	0,4	0,015544	0,949588	0,050412
	338545,07	0,6	0,034973	0,886573	0,113427
	253908,80	0,8	0,093262	0,798353	0,201647
M5-M4	1007110,40	0,2	0,005878	0,987290	0,012710
	503555,20	0,4	0,015675	0,949161	0,050839
	335703,47	0,6	0,035269	0,885613	0,114387
	251777,60	0,8	0,094051	0,796646	0,203354

Продолжение таблицы 2.8

1	2	3	4	5	6
M5-M6	1290086,40	0,2	0,004589	0,990078	0,009922
	645043,20	0,4	0,012237	0,960313	0,039687
	430028,80	0,6	0,027533	0,910704	0,089296
	322521,60	0,8	0,073421	0,841251	0,158749
M5-M7	586316,80	0,2	0,010097	0,978169	0,021831
	293158,40	0,4	0,026925	0,912675	0,087325
	195438,93	0,6	0,060582	0,803519	0,196481
	146579,20	0,8	0,161551	0,650701	0,349299
M5-M8	914995,20	0,2	0,006470	0,986011	0,013989
	457497,60	0,4	0,017253	0,944043	0,055957
	304998,40	0,6	0,038820	0,874098	0,125902
	228748,80	0,8	0,103520	0,776174	0,223826
M5-M9	1193945,60	0,2	0,004958	0,989279	0,010721
	596972,80	0,4	0,013222	0,957117	0,042883
	397981,87	0,6	0,029750	0,903513	0,096487
	298486,40	0,8	0,079334	0,828468	0,171532
M5-M10	880896,00	0,2	0,006720	0,985469	0,014531
	440448,00	0,4	0,017921	0,941877	0,058123
	293632,00	0,6	0,040323	0,869224	0,130776
	220224,00	0,8	0,107527	0,767509	0,232491
M5-M11	1075545,60	0,2	0,005504	0,988099	0,011901
	537772,80	0,4	0,014678	0,952396	0,047604
	358515,20	0,6	0,033025	0,892892	0,107108
	268886,40	0,8	0,088067	0,809585	0,190415
M5-M12	836377,60	0,2	0,007078	0,984696	0,015304
	418188,80	0,4	0,018875	0,938784	0,061216
	278792,53	0,6	0,042469	0,862263	0,137737

	209094,40	0,8	0,113250	0,755135	0,244865
M5-M13	675827,20	0,2	0,008760	0,981060	0,018940
	337913,60	0,4	0,023359	0,924241	0,075759
	225275,73	0,6	0,052558	0,829542	0,170458
	168956,80	0,8	0,140154	0,696964	0,303036
M5-M14	1243910,40	0,2	0,004759	0,989710	0,010290
	621955,20	0,4	0,012691	0,958839	0,041161
	414636,80	0,6	0,028555	0,907389	0,092611
	310977,60	0,8	0,076147	0,835358	0,164642

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3	4	5	6
M5-M15	1276588,80	0,2	0,004637	0,989973	0,010027
	638294,40	0,4	0,012366	0,959893	0,040107
	425529,60	0,6	0,027824	0,909760	0,090240
	319147,20	0,8	0,074198	0,839572	0,160428

Таблица 2.9 — Сетевые параметры для маршрутизатора М6 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M6-M1	1270432,00	0,2	0,004660	0,989925	0,010075
	635216,00	0,4	0,012426	0,959699	0,040301
	423477,33	0,6	0,027959	0,909322	0,090678
	317608,00	0,8	0,074557	0,838795	0,161205
M6-M2	1887296,00	0,2	0,003137	0,993218	0,006782
	943648,00	0,4	0,008365	0,972871	0,027129
	629098,67	0,6	0,018821	0,938960	0,061040
	471824,00	0,8	0,050188	0,891485	0,108515
M6-M3	1330342,40	0,2	0,004450	0,990378	0,009622
	665171,20	0,4	0,011867	0,961514	0,038486
	443447,47	0,6	0,026700	0,913406	0,086594
	332585,60	0,8	0,071200	0,846055	0,153945
M6-M4	1319212,80	0,2	0,004488	0,990297	0,009703
	659606,40	0,4	0,011967	0,961189	0,038811

	439737,60	0,6	0,026925	0,912675	0,087325
	329803,20	0,8	0,071800	0,844756	0,155244
M6-M5	1290086,40	0,2	0,004589	0,990078	0,009922
	645043,20	0,4	0,012237	0,960313	0,039687
	430028,80	0,6	0,027533	0,910704	0,089296
	322521,60	0,8	0,073421	0,841251	0,158749
M6-M7	767942,40	0,2	0,007709	0,983332	0,016668
	383971,20	0,4	0,020557	0,933328	0,066672
	255980,80	0,6	0,046253	0,849989	0,150011
	191985,60	0,8	0,123343	0,733313	0,266687
M6-M8	1198444,80	0,2	0,004940	0,989319	0,010681
	599222,40	0,4	0,013173	0,957278	0,042722
	399481,60	0,6	0,029638	0,903875	0,096125
	299611,20	0,8	0,079036	0,829112	0,170888

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3	4	5	6
M6-M9	1563827,20	0,2	0,003786	0,991815	0,008185
	781913,60	0,4	0,010095	0,967260	0,032740
	521275,73	0,6	0,022714	0,926335	0,073665
	390956,80	0,8	0,060569	0,869039	0,130961
M6-M10	1153926,40	0,2	0,005130	0,988907	0,011093
	576963,20	0,4	0,013681	0,955630	0,044370
	384642,13	0,6	0,030782	0,900167	0,099833
	288481,60	0,8	0,082085	0,822519	0,177481
M6-M11	1408960,00	0,2	0,004202	0,990915	0,009085
	704480,00	0,4	0,011204	0,963661	0,036339
	469653,33	0,6	0,025210	0,918238	0,081762
	352240,00	0,8	0,067227	0,854645	0,145355
M6-M12	1095673,60	0,2	0,005403	0,988318	0,011682
	547836,80	0,4	0,014408	0,953271	0,046729
	365224,53	0,6	0,032418	0,894859	0,105141
	273918,40	0,8	0,086449	0,813083	0,186917
M6-M13	885158,40	0,2	0,006688	0,985539	0,014461
	442579,20	0,4	0,017835	0,942157	0,057843
	295052,80	0,6	0,040128	0,869854	0,130146
	221289,60	0,8	0,107009	0,768629	0,231371
M6-M14	1629420,80	0,2	0,003633	0,992144	0,007856
	814710,40	0,4	0,009689	0,968578	0,031422
	543140,27	0,6	0,021799	0,929300	0,070700

	407355,20	0,8	0,058131	0,874311	0,125689
M6-M15	1672281,60	0,2	0,003540	0,992346	0,007654
	836140,80	0,4	0,009440	0,969383	0,030617
	557427,20	0,6	0,021240	0,931112	0,068888
	418070,40	0,8	0,056641	0,877533	0,122467

Таблица 2.10 — Сетевые параметры для маршрутизатора M7 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M7-M1	254560,00	0,2	0,023256	0,949717	0,050283
	127280,00	0,4	0,062016	0,798869	0,201131
	84853,33	0,6	0,139535	0,547454	0,452546
	63640,00	0,8	0,372093	0,195475	0,804525

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5	6
M7-M2	857926,40	0,2	0,006900	0,985080	0,014920
	428963,20	0,4	0,018401	0,940321	0,059679
	285975,47	0,6	0,041402	0,865723	0,134277
	214481,60	0,8	0,110406	0,761285	0,238715
M7-M3	604550,40	0,2	0,009792	0,978827	0,021173
	302275,20	0,4	0,026113	0,915309	0,084691
	201516,80	0,6	0,058754	0,809445	0,190555
	151137,60	0,8	0,156678	0,661236	0,338764
M7-M4	599577,60	0,2	0,009874	0,978652	0,021348
	299788,80	0,4	0,026330	0,914607	0,085393
	199859,20	0,6	0,059242	0,807865	0,192135
	149894,40	0,8	0,157978	0,658426	0,341574
M7-M5	586316,80	0,2	0,010097	0,978169	0,021831
	293158,40	0,4	0,026925	0,912675	0,087325
	195438,93	0,6	0,060582	0,803519	0,196481
	146579,20	0,8	0,161551	0,650701	0,349299
M7-M6	768179,20	0,2	0,007707	0,983337	0,016663
	384089,60	0,4	0,020551	0,933349	0,066651
	256059,73	0,6	0,046239	0,850035	0,149965
	192044,80	0,8	0,123305	0,733396	0,266604
M7-M8	544640,00	0,2	0,010870	0,976498	0,023502
	272320,00	0,4	0,028986	0,905993	0,094007

	181546,67	0,6	0,065217	0,788484	0,211516
	136160,00	0,8	0,173913	0,623972	0,376028
M7-M9	710873,60	0,2	0,008328	0,981994	0,018006
	355436,80	0,4	0,022207	0,927976	0,072024
	236957,87	0,6	0,049967	0,837946	0,162054
	177718,40	0,8	0,133245	0,711904	0,288096
M7-M10	524512,00	0,2	0,011287	0,975596	0,024404
	262256,00	0,4	0,030098	0,902385	0,097615
	174837,33	0,6	0,067720	0,780367	0,219633
	131128,00	0,8	0,180587	0,609542	0,390458
M7-M11	640544,00	0,2	0,009242	0,980017	0,019983
	320272,00	0,4	0,024646	0,920068	0,079932
	213514,67	0,6	0,055453	0,820153	0,179847
	160136,00	0,8	0,147874	0,680272	0,319728

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5	6
M7-M12	497990,40	0,2	0,011888	0,974297	0,025703
	248995,20	0,4	0,031701	0,897187	0,102813
	165996,80	0,6	0,071327	0,768670	0,231330
	124497,60	0,8	0,190204	0,588747	0,411253
M7-M13	402323,20	0,2	0,014715	0,968185	0,031815
	201161,60	0,4	0,039239	0,872739	0,127261
	134107,73	0,6	0,088287	0,713663	0,286337
	100580,80	0,8	0,235433	0,490957	0,509043
M7-M14	740710,40	0,2	0,007992	0,982719	0,017281
	370355,20	0,4	0,021313	0,930877	0,069123
	246903,47	0,6	0,047954	0,844474	0,155526
	185177,60	0,8	0,127877	0,723509	0,276491
M7-M15	760128,00	0,2	0,007788	0,983161	0,016839
	380064,00	0,4	0,020768	0,932643	0,067357
	253376,00	0,6	0,046729	0,848447	0,151553
	190032,00	0,8	0,124611	0,730572	0,269428

Таблица 2.11 — Сетевые параметры для маршрутизатора M8 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность,	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной	Вероятность потерь

	бит/с			доставки	
1	2	3	4	5	6
М8-М1	399481,60	0,2	0,014819	0,967958	0,032042
	199740,80	0,4	0,039518	0,871834	0,128166
	133160,53	0,6	0,088915	0,711626	0,288374
	99870,40	0,8	0,237107	0,487336	0,512664
М8-М2	1338630,40	0,2	0,004422	0,990438	0,009562
	669315,20	0,4	0,011793	0,961752	0,038248
	446210,13	0,6	0,026535	0,913942	0,086058
	334657,60	0,8	0,070759	0,847008	0,152992
М8-М3	943648,00	0,2	0,006274	0,986436	0,013564
	471824,00	0,4	0,016729	0,945742	0,054258
	314549,33	0,6	0,037641	0,877921	0,122079
	235912,00	0,8	0,100376	0,782970	0,217030
М8-М4	935596,80	0,2	0,006328	0,986319	0,013681
	467798,40	0,4	0,016873	0,945276	0,054724
	311865,60	0,6	0,037965	0,876870	0,123130
	233899,20	0,8	0,101240	0,781102	0,218898

Продолжение таблицы 2.11

1	2	3	4	5	6
М8-М5	914995,20	0,2	0,006470	0,986011	0,013989
	457497,60	0,4	0,017253	0,944043	0,055957
	304998,40	0,6	0,038820	0,874098	0,125902
	228748,80	0,8	0,103520	0,776174	0,223826
М8-М6	1198444,80	0,2	0,004940	0,989319	0,010681
	599222,40	0,4	0,013173	0,957278	0,042722
	399481,60	0,6	0,029638	0,903875	0,096125
	299611,20	0,8	0,079036	0,829112	0,170888
М8-М7	544640,00	0,2	0,010870	0,976498	0,023502
	272320,00	0,4	0,028986	0,905993	0,094007
	181546,67	0,6	0,065217	0,788484	0,211516
	136160,00	0,8	0,173913	0,623972	0,376028
М8-М9	1109171,20	0,2	0,005337	0,988460	0,011540
	554585,60	0,4	0,014233	0,953839	0,046161
	369723,73	0,6	0,032024	0,896139	0,103861
	277292,80	0,8	0,085397	0,815358	0,184642
М8-М10	818380,80	0,2	0,007234	0,984359	0,015641
	409190,40	0,4	0,019290	0,937437	0,062563
	272793,60	0,6	0,043403	0,859234	0,140766

	204595,20	0,8	0,115741	0,749750	0,250250
M8-M11	999296,00	0,2	0,005924	0,987191	0,012809
	499648,00	0,4	0,015798	0,948764	0,051236
	333098,67	0,6	0,035545	0,884719	0,115281
	249824,00	0,8	0,094787	0,795056	0,204944
M8-M12	776940,80	0,2	0,007620	0,983525	0,016475
	388470,40	0,4	0,020319	0,934101	0,065899
	258980,27	0,6	0,045718	0,851726	0,148274
	194235,20	0,8	0,121914	0,736402	0,263598
M8-M13	627756,80	0,2	0,009430	0,979610	0,020390
	313878,40	0,4	0,025148	0,918440	0,081560
	209252,27	0,6	0,056582	0,816489	0,183511
	156939,20	0,8	0,150886	0,673759	0,326241
M8-M14	1155584,00	0,2	0,005123	0,988923	0,011077
	577792,00	0,4	0,013661	0,955693	0,044307
	385194,67	0,6	0,030738	0,900310	0,099690
	288896,00	0,8	0,081967	0,822774	0,177226

Продолжение таблицы 2.11

1	2	3	4	5	6
M8-M15	1186131,20	0,2	0,004991	0,989209	0,010791
	593065,60	0,4	0,013309	0,956834	0,043166
	395377,07	0,6	0,029946	0,902878	0,097122
	296532,80	0,8	0,079856	0,827338	0,172662

Таблица 2.12 — Сетевые параметры для маршрутизатора M9 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M9-M1	518355,20	0,2	0,011421	0,975307	0,024693
	259177,60	0,4	0,030455	0,901226	0,098774
	172785,07	0,6	0,068524	0,777759	0,222241
	129588,80	0,8	0,182732	0,604904	0,395096
M9-M2	1746873,60	0,2	0,003389	0,992673	0,007327
	873436,80	0,4	0,009037	0,970690	0,029310
	582291,20	0,6	0,020333	0,934054	0,065946

	436718,40	0,8	0,054223	0,882762	0,117238
M9-M3	1231360,00	0,2	0,004808	0,989605	0,010395
	615680,00	0,4	0,012821	0,958420	0,041580
	410453,33	0,6	0,028846	0,906445	0,093555
	307840,00	0,8	0,076923	0,833680	0,166320
M9-M4	1221177,60	0,2	0,004848	0,989518	0,010482
	610588,80	0,4	0,012927	0,958073	0,041927
	407059,20	0,6	0,029087	0,905665	0,094335
	305294,40	0,8	0,077564	0,832293	0,167707
M9-M5	1193945,60	0,2	0,004958	0,989279	0,010721
	596972,80	0,4	0,013222	0,957117	0,042883
	397981,87	0,6	0,029750	0,903513	0,096487
	298486,40	0,8	0,079334	0,828468	0,171532
M9-M6	1564064,00	0,2	0,003785	0,991816	0,008184
	782032,00	0,4	0,010093	0,967265	0,032735
	521354,67	0,6	0,022710	0,926346	0,073654
	391016,00	0,8	0,060560	0,869059	0,130941

Продолжение таблицы 2.12

1	2	3	4	5	6
M9-M7	710873,60	0,2	0,008328	0,981994	0,018006
	355436,80	0,4	0,022207	0,927976	0,072024
	236957,87	0,6	0,049967	0,837946	0,162054
	177718,40	0,8	0,133245	0,711904	0,288096
M9-M8	1109171,20	0,2	0,005337	0,988460	0,011540
	554585,60	0,4	0,014233	0,953839	0,046161
	369723,73	0,6	0,032024	0,896139	0,103861
	277292,80	0,8	0,085397	0,815358	0,184642
M9-M10	1068204,80	0,2	0,005542	0,988017	0,011983
	534102,40	0,4	0,014779	0,952069	0,047931
	356068,27	0,6	0,033252	0,892156	0,107844
	267051,20	0,8	0,088672	0,808276	0,191724
M9-M11	1304057,60	0,2	0,004540	0,990184	0,009816
	652028,80	0,4	0,012106	0,960738	0,039262
	434685,87	0,6	0,027238	0,911660	0,088340
	326014,40	0,8	0,072635	0,842952	0,157048

M9-M12	1013977,60	0,2	0,005838	0,987376	0,012624
	506988,80	0,4	0,015569	0,949506	0,050494
	337992,53	0,6	0,035030	0,886388	0,113612
	253494,40	0,8	0,093414	0,798023	0,201977
M9-M13	819328,00	0,2	0,007225	0,984377	0,015623
	409664,00	0,4	0,019268	0,937510	0,062490
	273109,33	0,6	0,043353	0,859397	0,140603
	204832,00	0,8	0,115607	0,750039	0,249961
M9-M14	1507942,40	0,2	0,003926	0,991512	0,008488
	753971,20	0,4	0,010469	0,966046	0,033954
	502647,47	0,6	0,023555	0,923605	0,076395
	376985,60	0,8	0,062814	0,864186	0,135814
M9-M15	837561,60	0,2	0,007068	0,984718	0,015282
	418780,80	0,4	0,018848	0,938870	0,061130
	279187,20	0,6	0,042409	0,862458	0,137542
	209390,40	0,8	0,113090	0,755481	0,244519

Таблица 2.13 — Сетевые параметры для маршрутизатора M10 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M10-M1	382432,00	0,2	0,015480	0,966530	0,033470
	191216,00	0,4	0,041280	0,866120	0,133880
	127477,33	0,6	0,092879	0,698770	0,301230
	95608,00	0,8	0,247678	0,464480	0,535520
M10-M2	1288902,40	0,2	0,004593	0,990069	0,009931
	644451,20	0,4	0,012248	0,960276	0,039724
	429634,13	0,6	0,027558	0,910622	0,089378
	322225,60	0,8	0,073489	0,841105	0,158895
M10-M3	908601,60	0,2	0,006516	0,985912	0,014088
	454300,80	0,4	0,017375	0,943650	0,056350
	302867,20	0,6	0,039093	0,873212	0,126788
	227150,40	0,8	0,104248	0,774599	0,225401

M10-M4	901024,00	0,2	0,006570	0,985794	0,014206
	450512,00	0,4	0,017521	0,943176	0,056824
	300341,33	0,6	0,039422	0,872145	0,127855
	225256,00	0,8	0,105125	0,772703	0,227297
M10-M5	880896,00	0,2	0,006720	0,985469	0,014531
	440448,00	0,4	0,017921	0,941877	0,058123
	293632,00	0,6	0,040323	0,869224	0,130776
	220224,00	0,8	0,107527	0,767509	0,232491
M10-M6	1059206,40	0,2	0,005589	0,987915	0,012085
	529603,20	0,4	0,014904	0,951662	0,048338
	353068,80	0,6	0,033535	0,891239	0,108761
	264801,60	0,8	0,089425	0,806648	0,193352
M10-M7	524512,00	0,2	0,011287	0,975596	0,024404
	262256,00	0,4	0,030098	0,902385	0,097615
	174837,33	0,6	0,067720	0,780367	0,219633
	131128,00	0,8	0,180587	0,609542	0,390458
M10-M8	818380,80	0,2	0,007234	0,984359	0,015641
	409190,40	0,4	0,019290	0,937437	0,062563
	272793,60	0,6	0,043403	0,859234	0,140766
	204595,20	0,8	0,115741	0,749750	0,250250

Продолжение таблицы 2.13

1	2	3	4	5	6
M10-M9	1068204,80	0,2	0,005542	0,988017	0,011983
	534102,40	0,4	0,014779	0,952069	0,047931
	356068,27	0,6	0,033252	0,892156	0,107844
	267051,20	0,8	0,088672	0,808276	0,191724
M10-M11	962355,20	0,2	0,006152	0,986699	0,013301
	481177,60	0,4	0,016404	0,946797	0,053203
	320785,07	0,6	0,036909	0,880294	0,119706
	240588,80	0,8	0,098425	0,787189	0,212811
M10-M12	748288,00	0,2	0,007911	0,982894	0,017106
	374144,00	0,4	0,021097	0,931577	0,068423
	249429,33	0,6	0,047468	0,846049	0,153951
	187072,00	0,8	0,126582	0,726309	0,273691
M10-M13	604550,40	0,2	0,009792	0,978827	0,021173

	302275,20	0,4	0,026113	0,915309	0,084691
	201516,80	0,6	0,058754	0,809445	0,190555
	151137,60	0,8	0,156678	0,661236	0,338764
M10-M14	1112723,20	0,2	0,005320	0,988497	0,011503
	556361,60	0,4	0,014187	0,953987	0,046013
	370907,73	0,6	0,031922	0,896470	0,103530
	278180,80	0,8	0,085124	0,815947	0,184053
M10-M15	1142086,40	0,2	0,005183	0,988792	0,011208
	571043,20	0,4	0,013823	0,955170	0,044830
	380695,47	0,6	0,031101	0,899132	0,100868
	285521,60	0,8	0,082936	0,820679	0,179321

Таблица 2.14 — Сетевые параметры для маршрутизатора M11 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M11-M1	466969,60	0,2	0,012677	0,972589	0,027411
	233484,80	0,4	0,033807	0,890357	0,109643
	155656,53	0,6	0,076065	0,753303	0,246697
	116742,40	0,8	0,202840	0,561428	0,438572

Продолжение таблицы 2.14

1	2	3	4	5	6
M11-M2	1573772,80	0,2	0,003762	0,991867	0,008133
	786886,40	0,4	0,010031	0,967467	0,032533
	524590,93	0,6	0,022570	0,926800	0,073200
	393443,20	0,8	0,060187	0,869867	0,130133
M11-M3	1109408,00	0,2	0,005336	0,988462	0,011538
	554704,00	0,4	0,014230	0,953849	0,046151
	369802,67	0,6	0,032017	0,896161	0,103839
	277352,00	0,8	0,085379	0,815397	0,184603
M11-M4	1099936,00	0,2	0,005382	0,988363	0,011637
	549968,00	0,4	0,014352	0,953452	0,046548
	366645,33	0,6	0,032293	0,895267	0,104733
	274984,00	0,8	0,086114	0,813807	0,186193

M11-M5	1075545,60	0,2	0,005504	0,988099	0,011901
	537772,80	0,4	0,014678	0,952396	0,047604
	358515,20	0,6	0,033025	0,892892	0,107108
	268886,40	0,8	0,088067	0,809585	0,190415
M11-M6	1408960,00	0,2	0,004202	0,990915	0,009085
	704480,00	0,4	0,011204	0,963661	0,036339
	469653,33	0,6	0,025210	0,918238	0,081762
	352240,00	0,8	0,067227	0,854645	0,145355
M11-M7	640544,00	0,2	0,009242	0,980017	0,019983
	320272,00	0,4	0,024646	0,920068	0,079932
	213514,67	0,6	0,055453	0,820153	0,179847
	160136,00	0,8	0,147874	0,680272	0,319728
M11-M8	999296,00	0,2	0,005924	0,987191	0,012809
	499648,00	0,4	0,015798	0,948764	0,051236
	333098,67	0,6	0,035545	0,884719	0,115281
	249824,00	0,8	0,094787	0,795056	0,204944
M11-M9	1304057,60	0,2	0,004540	0,990184	0,009816
	652028,80	0,4	0,012106	0,960738	0,039262
	434685,87	0,6	0,027238	0,911660	0,088340
	326014,40	0,8	0,072635	0,842952	0,157048
M11-M10	1104435,20	0,2	0,005360	0,988410	0,011590
	552217,60	0,4	0,014294	0,953641	0,046359
	368145,07	0,6	0,032161	0,895693	0,104307
	276108,80	0,8	0,085763	0,814566	0,185434

Продолжение таблицы 2.14

1	2	3	4	5	6
M11-M12	913574,40	0,2	0,006480	0,985989	0,014011
	456787,20	0,4	0,017280	0,943956	0,056044
	304524,80	0,6	0,038880	0,873902	0,126098
	228393,60	0,8	0,103681	0,775826	0,224174
M11-M13	738105,60	0,2	0,008021	0,982658	0,017342
	369052,80	0,4	0,021388	0,930633	0,069367
	246035,20	0,6	0,048123	0,843925	0,156075
	184526,40	0,8	0,128329	0,722533	0,277467
M11-M14	1358521,60	0,2	0,004358	0,990578	0,009422
	679260,80	0,4	0,011620	0,962312	0,037688

	452840,53	0,6	0,026146	0,915202	0,084798
	339630,40	0,8	0,069723	0,849248	0,150752
M11-M15	920915,20	0,2	0,006428	0,986101	0,013899
	460457,60	0,4	0,017142	0,944403	0,055597
	306971,73	0,6	0,038570	0,874907	0,125093
	230228,80	0,8	0,102854	0,777613	0,222387

Таблица 2.15 — Сетевые параметры для маршрутизатора M12 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M12-M1	363251,20	0,2	0,016297	0,964763	0,035237
	181625,60	0,4	0,043459	0,859051	0,140949
	121083,73	0,6	0,097784	0,682864	0,317136
	90812,80	0,8	0,260756	0,436203	0,563797
M12-M2	1223782,40	0,2	0,004837	0,989541	0,010459
	611891,20	0,4	0,012900	0,958162	0,041838
	407927,47	0,6	0,029025	0,905866	0,094134
	305945,60	0,8	0,077399	0,832650	0,167350
M12-M3	862662,40	0,2	0,006862	0,985162	0,014838
	431331,20	0,4	0,018300	0,940649	0,059351
	287554,13	0,6	0,041175	0,866460	0,133540
	215665,60	0,8	0,109800	0,762595	0,237405
M12-M4	855321,60	0,2	0,006921	0,985035	0,014965
	427660,80	0,4	0,018457	0,940139	0,059861
	285107,20	0,6	0,041528	0,865314	0,134686
	213830,40	0,8	0,110742	0,760558	0,239442

Продолжение таблицы 2.15

1	2	3	4	5	6
M12-M5	836377,60	0,2	0,007078	0,984696	0,015304
	418188,80	0,4	0,018875	0,938784	0,061216
	278792,53	0,6	0,042469	0,862263	0,137737
	209094,40	0,8	0,113250	0,755135	0,244865
M12-M6	101113,60	0,2	0,058548	0,747000	0,253000
	50556,80	0,4	0,156128	0,498000	0,502000
	33704,53	0,6	0,351288	0,332000	0,668000
	25278,40	0,8	0,936768	0,166000	0,834000
M12-M7	497990,40	0,2	0,011888	0,974297	0,025703

	248995,20	0,4	0,031701	0,897187	0,102813
	165996,80	0,6	0,071327	0,768670	0,231330
	124497,60	0,8	0,190204	0,588747	0,411253
M12-M8	776940,80	0,2	0,007620	0,983525	0,016475
	388470,40	0,4	0,020319	0,934101	0,065899
	258980,27	0,6	0,045718	0,851726	0,148274
	194235,20	0,8	0,121914	0,736402	0,263598
M12-M9	1013977,60	0,2	0,005838	0,987376	0,012624
	506988,80	0,4	0,015569	0,949506	0,050494
	337992,53	0,6	0,035030	0,886388	0,113612
	253494,40	0,8	0,093414	0,798023	0,201977
M12-M10	748288,00	0,2	0,007911	0,982894	0,017106
	374144,00	0,4	0,021097	0,931577	0,068423
	249429,33	0,6	0,047468	0,846049	0,153951
	187072,00	0,8	0,126582	0,726309	0,273691
M12-M11	913574,40	0,2	0,006480	0,985989	0,014011
	456787,20	0,4	0,017280	0,943956	0,056044
	304524,80	0,6	0,038880	0,873902	0,126098
	228393,60	0,8	0,103681	0,775826	0,224174
M12-M13	574003,20	0,2	0,010314	0,977700	0,022300
	287001,60	0,4	0,027503	0,910802	0,089198
	191334,40	0,6	0,061881	0,799304	0,200696
	143500,80	0,8	0,165017	0,643208	0,356792
M12-M14	1056364,80	0,2	0,005604	0,987883	0,012117
	528182,40	0,4	0,014944	0,951532	0,048468
	352121,60	0,6	0,033625	0,890947	0,109053
	264091,20	0,8	0,089666	0,806128	0,193872

Продолжение таблицы 2.15

1	2	3	4	5	6
M12-M15	1084307,20	0,2	0,005460	0,988195	0,011805
	542153,60	0,4	0,014559	0,952781	0,047219
	361435,73	0,6	0,032758	0,893757	0,106243
	271076,80	0,8	0,087355	0,811124	0,188876

Таблица 2.16 — Сетевые параметры для маршрутизатора M13 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M13-M1	293395,20	0,2	0,020178	0,956373	0,043627
	146697,60	0,4	0,053807	0,825491	0,174509
	97798,40	0,6	0,121065	0,607356	0,392644
	73348,80	0,8	0,322841	0,301965	0,698035
M13-M2	988876,80	0,2	0,005987	0,987056	0,012944
	494438,40	0,4	0,015964	0,948224	0,051776
	329625,60	0,6	0,035920	0,883504	0,116496
	247219,20	0,8	0,095785	0,792896	0,207104
M13-M3	696902,40	0,2	0,008495	0,981633	0,018367
	348451,20	0,4	0,022653	0,926532	0,073468
	232300,80	0,6	0,050968	0,834697	0,165303
	174225,60	0,8	0,135916	0,706128	0,293872
M13-M4	691219,20	0,2	0,008565	0,981482	0,018518
	345609,60	0,4	0,022839	0,925928	0,074072
	230406,40	0,6	0,051387	0,833338	0,166662
	172804,80	0,8	0,137033	0,703712	0,296288
M13-M5	675827,20	0,2	0,008760	0,981060	0,018940
	337913,60	0,4	0,023359	0,924241	0,075759
	225275,73	0,6	0,052558	0,829542	0,170458
	168956,80	0,8	0,140154	0,696964	0,303036
M13-M6	885158,40	0,2	0,006688	0,985539	0,014461
	442579,20	0,4	0,017835	0,942157	0,057843
	295052,80	0,6	0,040128	0,869854	0,130146
	221289,60	0,8	0,107009	0,768629	0,231371
M13-M7	402323,20	0,2	0,014715	0,968185	0,031815
	201161,60	0,4	0,039239	0,872739	0,127261
	134107,73	0,6	0,088287	0,713663	0,286337
	100580,80	0,8	0,235433	0,490957	0,509043

Продолжение таблицы 2.16

1	2	3	4	5	6
M13-M8	627756,80	0,2	0,009430	0,979610	0,020390
	313878,40	0,4	0,025148	0,918440	0,081560
	209252,27	0,6	0,056582	0,816489	0,183511
	156939,20	0,8	0,150886	0,673759	0,326241
M13-M9	819328,00	0,2	0,007225	0,984377	0,015623

	409664,00	0,4	0,019268	0,937510	0,062490
	273109,33	0,6	0,043353	0,859397	0,140603
	204832,00	0,8	0,115607	0,750039	0,249961
M13-M10	604550,40	0,2	0,009792	0,978827	0,021173
	302275,20	0,4	0,026113	0,915309	0,084691
	201516,80	0,6	0,058754	0,809445	0,190555
	151137,60	0,8	0,156678	0,661236	0,338764
M13-M11	27705,60	0,2	0,213675	0,664000	0,336000
	13852,80	0,4	0,569801	0,498000	0,502000
	9235,20	0,6	1,282051	0,332000	0,668000
	6926,40	0,8	3,418803	0,166000	0,834000
M13-M12	574003,20	0,2	0,010314	0,977700	0,022300
	287001,60	0,4	0,027503	0,910802	0,089198
	191334,40	0,6	0,061881	0,799304	0,200696
	143500,80	0,8	0,165017	0,643208	0,356792
M13-M14	853664,00	0,2	0,006935	0,985006	0,014994
	426832,00	0,4	0,018493	0,940023	0,059977
	284554,67	0,6	0,041609	0,865052	0,134948
	213416,00	0,8	0,110957	0,760093	0,239907
M13-M15	876160,00	0,2	0,006757	0,985391	0,014609
	438080,00	0,4	0,018018	0,941563	0,058437
	292053,33	0,6	0,040541	0,868517	0,131483
	219040,00	0,8	0,108108	0,766253	0,233747

Таблица 2.17 — Сетевые параметры для маршрутизатора M14 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M14-M1	540140,80	0,2	0,010960	0,976302	0,023698
	270070,40	0,4	0,029227	0,905210	0,094790
	180046,93	0,6	0,065761	0,786722	0,213278
	135035,20	0,8	0,175362	0,620840	0,379160

Продолжение таблицы 2.17

1	2	3	4	5	6
M14-M2	1819808,00	0,2	0,003253	0,992966	0,007034
	909904,00	0,4	0,008675	0,971865	0,028135
	606602,67	0,6	0,019519	0,936697	0,063303

	454952,00	0,8	0,052049	0,887461	0,112539
M14-M3	1282745,60	0,2	0,004615	0,990021	0,009979
	641372,80	0,4	0,012307	0,960086	0,039914
	427581,87	0,6	0,027691	0,910193	0,089807
	320686,40	0,8	0,073842	0,840342	0,159658
M14-M4	1272089,60	0,2	0,004654	0,989938	0,010062
	636044,80	0,4	0,012410	0,959751	0,040249
	424029,87	0,6	0,027923	0,909440	0,090560
	318022,40	0,8	0,074460	0,839005	0,160995
M14-M5	1243910,40	0,2	0,004759	0,989710	0,010290
	621955,20	0,4	0,012691	0,958839	0,041161
	414636,80	0,6	0,028555	0,907389	0,092611
	310977,60	0,8	0,076147	0,835358	0,164642
M14-M6	1629420,80	0,2	0,003633	0,992144	0,007856
	814710,40	0,4	0,009689	0,968578	0,031422
	543140,27	0,6	0,021799	0,929300	0,070700
	407355,20	0,8	0,058131	0,874311	0,125689
M14-M7	740710,40	0,2	0,007992	0,982719	0,017281
	370355,20	0,4	0,021313	0,930877	0,069123
	246903,47	0,6	0,047954	0,844474	0,155526
	185177,60	0,8	0,127877	0,723509	0,276491
M14-M8	1155584,00	0,2	0,005123	0,988923	0,011077
	577792,00	0,4	0,013661	0,955693	0,044307
	385194,67	0,6	0,030738	0,900310	0,099690
	288896,00	0,8	0,081967	0,822774	0,177226
M14-M9	1507942,40	0,2	0,003926	0,991512	0,008488
	753971,20	0,4	0,010469	0,966046	0,033954
	502647,47	0,6	0,023555	0,923605	0,076395
	376985,60	0,8	0,062814	0,864186	0,135814
M14-M10	1112723,20	0,2	0,005320	0,988497	0,011503
	556361,60	0,4	0,014187	0,953987	0,046013
	370907,73	0,6	0,031922	0,896470	0,103530
	278180,80	0,8	0,085124	0,815947	0,184053

Продолжение таблицы 2.17

1	2	3	4	5	6
M14-M11	1358521,60	0,2	0,004358	0,990578	0,009422

	679260,80	0,4	0,011620	0,962312	0,037688
	452840,53	0,6	0,026146	0,915202	0,084798
	339630,40	0,8	0,069723	0,849248	0,150752
M14-M12	1056364,80	0,2	0,005604	0,987883	0,012117
	528182,40	0,4	0,014944	0,951532	0,048468
	352121,60	0,6	0,033625	0,890947	0,109053
	264091,20	0,8	0,089666	0,806128	0,193872
M14-M13	853664,00	0,2	0,006935	0,985006	0,014994
	426832,00	0,4	0,018493	0,940023	0,059977
	284554,67	0,6	0,041609	0,865052	0,134948
	213416,00	0,8	0,110957	0,760093	0,239907
M14-M15	1612608,00	0,2	0,003671	0,992063	0,007937
	806304,00	0,4	0,009790	0,968250	0,031750
	537536,00	0,6	0,022026	0,928563	0,071437
	403152,00	0,8	0,058737	0,873001	0,126999

Таблица 2.18 — Сетевые параметры для маршрутизатора M15 по всем направлениям связи

Направление связи	Пропускная способность, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
1	2	3	4	5	6
M15-M1	554348,80	0,2	0,010679	0,976910	0,023090
	277174,40	0,4	0,028478	0,907639	0,092361
	184782,93	0,6	0,064075	0,792189	0,207811
	138587,20	0,8	0,170867	0,630558	0,369442
M15-M2	1867878,40	0,2	0,003169	0,993147	0,006853
	933939,20	0,4	0,008452	0,972589	0,027411
	622626,13	0,6	0,019016	0,938326	0,061674
	466969,60	0,8	0,050710	0,890357	0,109643
M15-M3	532800,00	0,2	0,011111	0,975976	0,024024
	266400,00	0,4	0,029630	0,903904	0,096096
	177600,00	0,6	0,066667	0,783784	0,216216
	133200,00	0,8	0,177778	0,615616	0,384384
M15-M4	1305478,40	0,2	0,004535	0,990195	0,009805
	652739,20	0,4	0,012093	0,960781	0,039219
	435159,47	0,6	0,027208	0,911756	0,088244
	326369,60	0,8	0,072556	0,843123	0,156877

Продолжение таблицы 2.18

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

M15-M5	1276825,60	0,2	0,004636	0,989975	0,010025
	638412,80	0,4	0,012364	0,959901	0,040099
	425608,53	0,6	0,027819	0,909776	0,090224
	319206,40	0,8	0,074184	0,839602	0,160398
M15-M6	1672281,60	0,2	0,003540	0,992346	0,007654
	836140,80	0,4	0,009440	0,969383	0,030617
	557427,20	0,6	0,021240	0,931112	0,068888
	418070,40	0,8	0,056641	0,877533	0,122467
M15-M7	760128,00	0,2	0,007788	0,983161	0,016839
	380064,00	0,4	0,020768	0,932643	0,067357
	253376,00	0,6	0,046729	0,848447	0,151553
	190032,00	0,8	0,124611	0,730572	0,269428
M15-M8	1186131,20	0,2	0,004991	0,989209	0,010791
	593065,60	0,4	0,013309	0,956834	0,043166
	395377,07	0,6	0,029946	0,902878	0,097122
	296532,80	0,8	0,079856	0,827338	0,172662
M15-M9	1547724,80	0,2	0,003825	0,991730	0,008270
	773862,40	0,4	0,010200	0,966919	0,033081
	515908,27	0,6	0,022950	0,925568	0,074432
	386931,20	0,8	0,061200	0,867677	0,132323
M15-M10	1142086,40	0,2	0,005183	0,988792	0,011208
	571043,20	0,4	0,013823	0,955170	0,044830
	380695,47	0,6	0,031101	0,899132	0,100868
	285521,60	0,8	0,082936	0,820679	0,179321
M15-M11	1394515,20	0,2	0,004245	0,990821	0,009179
	697257,60	0,4	0,011321	0,963285	0,036715
	464838,40	0,6	0,025471	0,917391	0,082609
	348628,80	0,8	0,067923	0,853139	0,146861
M15-M12	1084307,20	0,2	0,005460	0,988195	0,011805
	542153,60	0,4	0,014559	0,952781	0,047219
	361435,73	0,6	0,032758	0,893757	0,106243
	271076,80	0,8	0,087355	0,811124	0,188876
M15-M13	876160,00	0,2	0,006757	0,985391	0,014609
	438080,00	0,4	0,018018	0,941563	0,058437
	292053,33	0,6	0,040541	0,868517	0,131483
	219040,00	0,8	0,108108	0,766253	0,233747

Продолжение таблицы 2.18

1	2	3	4	5	6
M15-M14	1612608,00	0,2	0,003671	0,992063	0,007937
	806304,00	0,4	0,009790	0,968250	0,031750
	537536,00	0,6	0,022026	0,928563	0,071437
	403152,00	0,8	0,058737	0,873001	0,126999

Рассчитаем сетевые параметры для суммарного внешнего трафика VoIP с помощью программы DimKP (вносим его значение и по результатам расчета построим график зависимости пропускной способности от вероятности потерь при разных значениях загрузки $\rho = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$).

Таблица 2.19 – Сетевые параметры для суммарного внешнего трафика VoIP

Скорость, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
229790720,00	0,2	0,000026	0,999944	0,000056
114895360,00	0,4	0,000069	0,999777	0,000223
76596906,67	0,6	0,000155	0,999499	0,000501
57447680,00	0,8	0,000412	0,999109	0,000891

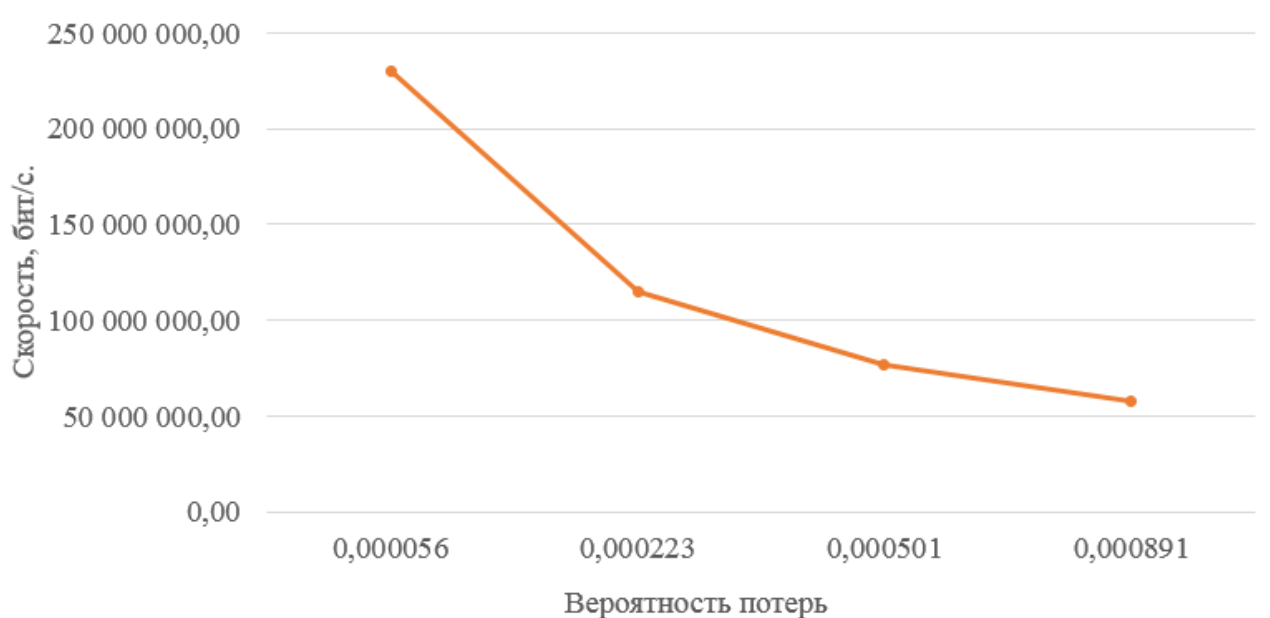


Рисунок 2.1 – Зависимость пропускной способности от вероятности потерь для суммарного внешнего трафика VoIP

Таблица 2.21 – Сводная таблица сетевых параметров для VoIP при $\rho = 0,8$

Маршрутизатор	Суммарная интенсивность нагрузки, пакет/с	Суммарная пропускная способность, бит/с	Время задержки, с	Вероятность потерь
M1	772,6	4573,7	0,37209	0,80453
M2	568,8	3367,3	0,15140	0,32735
M3	299,4	1772,4	0,21482	0,46448
M4	742,2	4393,4	0,21657	0,98952
M5	876,0	5185,9	0,22148	0,47888
M6	389,0	2302,8	0,12334	0,26669
M7	589,8	3491,6	0,37209	0,80453
M8	1024,9	6067,4	0,23711	0,51266
M9	518,5	3069,5	0,18273	0,39510
M10	480,7	2845,7	0,24768	0,53552
M11	488,4	2891,3	0,20284	0,43857
M12	497,1	2942,8	0,93677	0,83400
M13	805,4	4768,0	3,41880	0,83400
M14	539,0	3190,8	0,17536	0,37916
M15	482,0	2853,4	0,17778	0,38438

Рассчитаем сетевые параметры для пользователей IPTV.

В сети используется режим многоадресной рассылки. Т.к. используем MPEG-4, со скоростью 20 Мбит/с, то пропускная способность канала связи от сервера до маршрутизатора при трансляции одного IPTV-канала берем 20 Мбит/с. Рассчитаем интенсивность обслуживания пакетов:

$$\mu = \frac{C}{L_n} = \frac{20 \cdot 10^6}{531 \cdot 8} * 79 = 371940 \text{ пак/с}$$

где $L_n=531$ байт — размер пакета.

Рассчитаем интенсивность поступающей нагрузки для различных значений загрузки ρ :

$$\lambda_1 = \mu \cdot \rho_1 = 371940 \cdot 0,2 = 74388 \text{ пакет/с};$$

$$\lambda_2 = \mu \cdot \rho_2 = 371940 \cdot 0,4 = 148776 \text{ пакет/с};$$

$$\lambda_3 = \mu \cdot \rho_3 = 371940 \cdot 0,6 = 223164 \text{ пакет/с};$$

$$\lambda_4 = \mu \cdot \rho_4 = 371940 \cdot 0,8 = 297552 \text{ пакет/с}.$$

Данные значения заносим в программу расчета сетевых параметров и вычислим пропускную способность и другие сетевые параметры для трафика IPTV. Результаты сведены в таблицу 2.22.

Таблица 2.22 — Сетевые параметры для IPTV для всех направлений связи

λ , пак/с	Скорость, бит/с	Загрузка	Время задержки, с	Вероятность СД	Вероятность потерь
74388	1761507840,00	0,2	0,000003	0,999993	0,000007
	880753920,00	0,4	0,000009	0,999971	0,000029
	587169280,00	0,6	0,000020	0,999935	0,000065
	440376960,00	0,8	0,000054	0,999884	0,000116
148776	3523015680,00	0,2	0,000002	0,999996	0,000004
	1761507840,00	0,4	0,000004	0,999985	0,000015
	1174338560,00	0,6	0,000010	0,999967	0,000033
	880753920,00	0,8	0,000027	0,999942	0,000058
223164	5284523520,00	0,2	0,000001	0,999998	0,000002
	2642261760,00	0,4	0,000003	0,999990	0,000010
	1761507840,00	0,6	0,000007	0,999978	0,000022
	1321130880,00	0,8	0,000018	0,999961	0,000039
297552	7046031360,00	0,2	0,000001	0,999998	0,000002
	3523015680,00	0,4	0,000002	0,999993	0,000007
	2348677120,00	0,6	0,000005	0,999984	0,000016
	1761507840,00	0,8	0,000013	0,999971	0,000029

Таким образом, суммарное значение интенсивности поступающей нагрузки будет равно $\lambda = \text{пак/с. } 297552 + 9074 = 306626$

Далее сведем результаты расчета сетевых параметров для суммарного внешнего трафика VoIP и IPTV в таблицу и построим график зависимости пропускной способности от вероятности потерь при $\rho = 0,8$.

Таблица 2.22 -Сетевые параметры для суммарного внешнего трафика VoIP и IPTV

Скорость, бит/с	Загрузка	Задержка, с	Вероятность своевременной доставки	Вероятность потерь
7260903680,00	0,2	0,000001	0,999998	0,000002
3630451840,00	0,4	0,000002	0,999993	0,000007
2420301226,67	0,6	0,000005	0,999984	0,000016
1815225920,00	0,8	0,000013	0,999972	0,000028

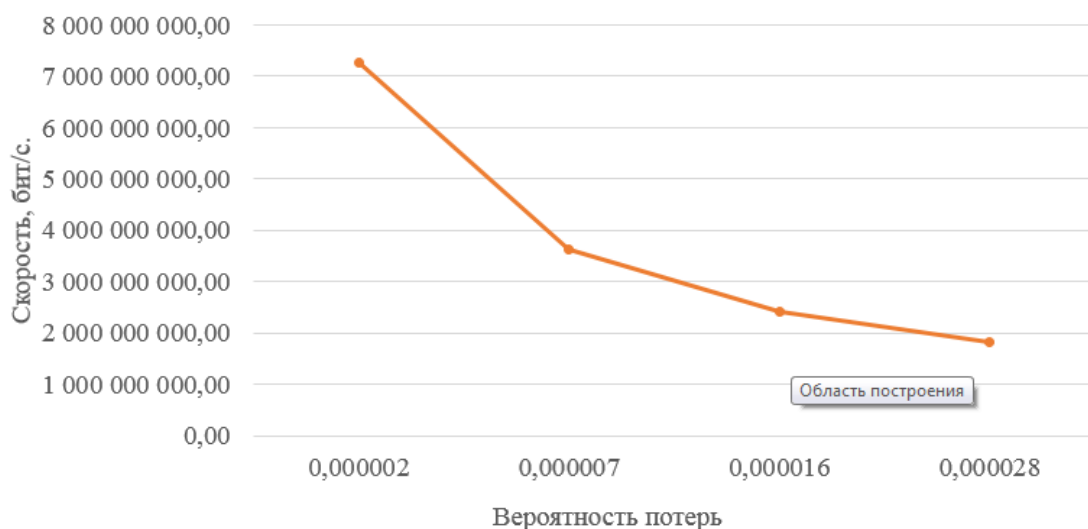


Рисунок 2.2 – Зависимость пропускной способности от вероятности потерь для суммарного внешнего трафика VoIP и IPTV

Для выбора производительности маршрутизаторов и канала связи между маршрутизаторами, вычислим суммарную интенсивность входящей нагрузки VoIP и IPTV на каждый маршрутизатор и суммарную пропускную способность, результаты сведем в таблицу. Данные для выбора канала связи в зависимости от пропускной способности сведены в таблицу (приложение В) курсового проекта:

Таблица 2.23 — Сводная таблица сетевых параметров для VoIP и IP-TV при $\rho = 0,8$

Маршрутизатор	Суммарная интенсивность нагрузки, пакет/с	Суммарная пропускная способность, Мбит/с	Время задержки, с	Вероятность потерь
1	2	3	4	5
M1	298324,6	1766,1	0,37209	0,80453
M2	298120,8	1764,9	0,15140	0,32735
M3	297851,4	1763,3	0,21482	0,46448
M4	298294,2	1765,9	0,21657	0,98952
M5	298428	1766,7	0,22148	0,47888
M6	297941	1763,8	0,12334	0,26669
M7	298141,8	1765,0	0,37209	0,80453
M8	298576,9	1767,6	0,23711	0,51266
M9	298070,5	1764,6	0,18273	0,39510
M10	298032,7	1764,4	0,24768	0,53552
M11	298040,4	1764,4	0,20284	0,43857

M12	298049,1	1764,5	0,93677	0,83400
-----	----------	--------	---------	---------

Продолжение таблицы 2.18

1	2	3	4	5
M13	298357,4	1766,1	3,41880	0,83400
M14	298091	1764,7	0,17536	0,37916
M15	298034	1764,4	0,17778	0,38438

Сводная таблица для выбора канала связи в каждом направлении представлена в Приложении В.

Качество услуги VoIP не соответствует заданным требованиям, так как поскольку на всех участках сети, имеется задержка пакетов VoIP, которая превышает 10 мс, также имеется задержка пакетов IPTV, превышающая 150 мс.

3 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ IP СЕТИ

3.1 Технология абонентского доступа в IP сети

DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) обозначает стандарт передачи данных по телевизионному кабелю, который был принят в 98 году. Данный стандарт в оригинале предполагает передачу данных до 42/38 Мбит/с в даунстриме (к пользователю) и до 10/9 Мбит/с в апстриме (от пользователя).

Стандарт подключения абонентов к сети по коаксиальному кабелю использует downstream-канал, то есть осуществляется сверху вниз. Общая схема имеет вид, показанный на рисунке 8, где CMTS – это оконечная система кабельного модема. Иными словами, это модем оператора, с которым соединяются пользовательские устройства. Он кодирует и модерирует потоки данных, переводя их в нужный диапазон частот.

Такая схема предполагает раздачу интернета через главный модем, CMTS, всем подключенным абонентам одновременно.

Версий DOCSIS существует несколько: DOCSIS 1.0; DOCSIS 1.1; DOCSIS 2.0; DOCSIS 3.0; DOCSIS 3.1; DOCSIS 3.1 FD; и EURODOCSIS [15].

Различия между видами определяются критериями качества обслуживания (QoS), емкостью потока, модуляциями, помехоустойчивостью. EuroDOCSIS – адаптация стандарта под европейскую сетку частот.

Самый первый стандарт предполагал передачу данных со скоростью не более 42 Мбит/с, а в обратном направлении – до 10 Мбит/с. Асимметричность канала существовала и в последующие годы, при выпуске обновлений. Только в последней версии спецификации удалось выровнять скорость потоков.

Начиная с DOCSIS 3,0 скорость передачи данных увеличили до 170 Мбит/с по прямому каналу и до 122 Мбит/с по обратному. В регламенте версии 3.1 прописана скорость прямого канала до 10 Гбит/с, а обратного – до 1 Гбит/с. Эти значения существенно превосходят предыдущие спецификации. Кроме того, стандарт предусматривает снижение энергоемкости при помощи средств управления энергопотреблением. Такой подход делает индустрию передачи данных по коаксиальным кабелям более экономичной.

Поправка спецификации 3.1 FD еще не внедрена в коммерческое использование. Считается, что она сделает кабельный интернет более привлекательным для пользователей за счет выравнивания скоростей прямого и обратного каналов передачи данных – на обоих направлениях 10 Гбит/с [16].

Проектируемая сеть должна обеспечивать хорошее качество услуг, т.е. должны соблюдаться следующие параметры: для VoIP – время задержки пакета между двумя соседними маршрутизаторами не более 10 мс, вероятность потерь не более 3 %, а для IPTV – время задержки пакета не более 150 мс, вероятность потерь не более 1 %.

3.2 Выбор протокола маршрутизации для IP сети

Протоколы динамической маршрутизации позволяют маршрутизаторам IP-сетей автоматически создавать таблицы оптимальных маршрутов и динамически модифицировать их в соответствии с изменениями, происходящими в топологии сети.

Для определения эффективного протокола маршрутизации, который бы удовлетворял требованиям нашей сети, необходимо провести сравнительный анализ наиболее известных протоколов динамической маршрутизации.

Протоколы маршрутизации делятся на два основных класса:

- протоколы внутренних шлюзов (Interior Gateway Protocols — IGP)
- протоколы внешних шлюзов (Exterior Gateway Protocols — EGP).

Протоколы класса IGP разрабатывались для обмена информацией о сетях и подсетях между внутренними маршрутизаторами одной автономной системы (Autonomous System — AS), т.е. между маршрутизаторами, находящимися под единым административным управлением, и использующими один протокол маршрутизации.

Протоколы EGP разрабатывались для обмена маршрутной информацией между пограничными маршрутизаторами различных автономных систем. Доминирующим EGP-протоколом сегодня является протокол граничной маршрутизации версии 4 (Border Gateway Protocol version 4 — BGP-4). Данный протокол применяется для обмена маршрутной информацией между AS сети Internet.

Рассмотрим наиболее распространенные протоколы:

1. RIP. Протокол RIP основан на дистанционно-векторном алгоритме и в большинстве реализаций использует самую простую метрику, а именно количество промежуточных маршрутизаторов до сети назначения.

Главное достоинство протокола – это легкость конфигурирования, не требующая высокой квалификации обслуживающего персонала. Протокол является открытым и поддерживается практически всеми производителями сетевого оборудования.

Основные недостатки протокола – это медленная сходимости и большой объем служебного трафика. Что в свою очередь ограничило область применения протокола сетями с количеством маршрутизаторов не более пятнадцати.

В протокол RIP версии 2 добавлена поддержка маски переменной длины, мультикастинговая рассылка вместо широковещательной и средства защиты при обмене маршрутной информацией в виде аутентификации по ключу MD5 и открытого текста. В новой версии протокола Ripping организована поддержка протокола IPv6.

2. EIGRP. Протокол EIGRP компании Cisco Systems – это улучшенная версия исходного протокола IGRP. Протокол является гибридным и основан на алгоритме обновления Diffusing-Update Algorithm (DUAL). Он совмещает в себе лучшие стороны дистанционно-векторных протоколов и протоколов состояния каналов связи. Все рассылки протокола являются мультикастными или индивидуальными.

Для повышения масштабируемости протокола в него добавлена поддержка масок подсетей переменной длины и возможность объединения маршрутов. Маршруты делятся на внутренние и внешние — полученные от других протоколов маршрутизации или записанные в таблицы статически.

В последних версиях EIGRP имеются средства защиты, не позволяющие злоумышленникам дописывать элементы в таблицу маршрутизации, и аутентификация по ключу MD5. Кроме того, в настоящее время для EIGRP разрабатывают средства поддержки IPv6, так что этот протокол будет развиваться в дальнейшем. Протокол хорошо совместим с IGRP, а также с RIP

Основным недостатком EIGRP, как и его предшественника, является закрытость и реализация только на оборудовании Cisco Systems.

3. OSPF. Наиболее универсальным и гибким в настройке протоколом динамической маршрутизации в корпоративных сетях на сегодняшний день является открытый протокол выбора первого кратчайшего пути (Open Shortest Path First Protocol – OSPF). Протокол изначально был направлен на работу в больших сетях (до 65536 маршрутизаторов) со сложной топологией. Он основан на алгоритме состояния каналов связи и обладает высокой устойчивостью к изменениям топологии сети и быстрой сходимостью. При выборе маршрута используется метрика пропускной способности составной сети. Протокол может поддерживать разные требования IP-пакетов на качество обслуживания посредством построения отдельной таблицы маршрутизации для каждого из этих показателей. Протокол обладает и другими достоинствами, полезными в крупных современных сетях. К ним относятся возможность балансировки нагрузки между каналами с равными метриками и

средства аутентификации как по нешифрованному паролю, так и по зашифрованному (путем добавления к пакету дайджеста ключа и тела пакета по алгоритму MD5). Нумерация пакетов исключает их повторяемость и таким образом возможность повторной атаки. Открытость протокола определяет его поддержку практически всеми производителями сетевого оборудования, реализации в ПО под все популярные ОС (например, для Unix-подобных ОС — пакеты Zebra, Quagga и др.), а также непосредственную интеграцию в ряд ОС (например, Windows 2000 Server и выше, OpenBSD, Cisco IOS, Solaris 10 и т.д.). Протокол совместим с RIP.

К недостаткам протокола следует отнести высокую вычислительную сложность и, следовательно, высокие требования, предъявляемые к ресурсам маршрутизатора. Вычислительная сложность OSPF растет с увеличением размеров сети. Поэтому для увеличения масштабируемости протокола применяется разделение сети на логические области, соединенные магистральной областью. Внутренняя топологическая информация между областями не передается. Сокращению размеров таблиц маршрутизации и снижению служебного трафика при обновлении топологической информации служит возможность объединения нескольких адресов сетей в один при обнаружении у них общего префикса, и замена широковещательных рассылок мультикастинговыми. С целью экономии IP-адресов в соединениях типа «точка – точка» между маршрутизаторами назначать конечным точкам адреса не обязательно. Платой за эти преимущества является сложность конфигурирования и необходимость тщательного предварительного планирования сети для ее оптимальной работы.

4. IS-IS. Протокол IS-IS основан на алгоритме состояния каналов связи и является предшественником OSPF. В настоящее время данный протокол редко применяется в корпоративных сетях, из-за полного превосходства над ним протокола OSPF, который, по сути, является усовершенствованным IS-IS. К недостаткам протокола относится его неспособность поддерживать маски подсетей переменной длины, объединять маршруты, а также широковещательный характер рассылок соседним маршрутизаторам. Все это отрицательно влияет на скорость сходимости, нагрузку маршрутизаторов и загруженность линий связи.

5. BGP-4. Протокол BGP создавался как внешний для организации маршрутизации между автономными системами в глобальной сети Internet. В настоящее время в Internet используется 4-я версия протокола BGP-4. Хотя протокол относится к внешним протоколам маршрутизации, его иногда применяют и для внутренней маршрутизации.

BGP является протоколом, ориентирующимся на вектор расстояния. Но, в отличие от RIP и IGRP протокол BGP не требует периодического обновления всей маршрутной таблицы. Обмен полными таблицами выполняется между маршрутизаторами только при их начальном подключении. В дальнейшем отсылаются только сообщения об обновлениях в таблицах, причем только тем маршрутизаторам, которые явно указаны в качестве соседних. В одном обновлении BGP-4 может быть объявлено об одном новом маршруте или аннулировании нескольких переставших существовать. Все это способствует снижению служебного трафика.

Метрика BGP представляет собой произвольное число единиц, характеризующее степень предпочтения конкретного маршрута, и устанавливаются администратором сети, в основном исходя из соображений договорных и финансовых предпочтений, возможно, из учета других факторов.

Протокол совместим с RIP и OSPF.

Сравнение рассмотренных протоколов представлено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнительная таблица основных характеристик протоколов динамической маршрутизации

Критерии/ протоколы	RIP v.2	IS-IS	OSPF	EIGRP	BGP v.4
1	2	3	4	5	6
Безопасность	Открытый пароль или аутентификация по ключу MD5	-	Открытый пароль или аутентификация по ключу MD5	Аутентификация по ключу MD5	Разные методы аутентификации
Тип алгоритма	Вектор расстояния	Состояние каналов связи	Состояние каналов связи	Комбини- рованный	Вектор расстояния
Балансировка нагрузки	-	Одинаковые метрики	Одинаковые метрики	Разные метрики	Разные метрики
Объединение маршрутов	-	-	+	+	+
Маски подсетей переем длины	+	-	+	+	+
Максимальное число маршрутизаторов в сети	15	1024	65534	255	65534

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
Учет в метрике различных характеристик пути	Одна основная	Одна основная и три дополнительные	Одна основная и три дополнительные	Комбинированная	Произвольная
Поддержка QoS	-	+	+	+	-
Обновление маршрутной информации	Вся таблица	Только изменения	Только изменения	Только изменения	Только изменения
Доступность реализации	Открытый	Открытый	Открытый	Только на оборудовании Cisco System	Открытый
Поддержка IPv6	-	-	+	+	+

Сравнительная характеристика показывает, что наиболее совершенными внутренними протоколами динамической маршрутизации являются OSPF и EIGRP. Однако предпочтение отдается протоколу OSPF, поскольку протокол EIGRP работает только на оборудовании Cisco System.

3.3 Расчет графа сети ПСС

Предлагается использовать полносвязную топологию, в которой каждый узел сети связан со всеми остальными. Каждый узел в сети должен иметь большое количество коммуникационных портов, достаточное для связи с каждым из остальных узлов сети. Для каждой пары узлов должна быть выделена отдельная электрическая линия связи. Основным недостатком полносвязной является то, что требуется большое количество кабеля для соединения всех узлов между собой.

Преимуществами ПСС является то, что в случае отказа одного из узлов в сети ПСС, все остальные узлы не остаются без соединения и продолжают дальше нормально взаимодействовать, а скорость обмена информацией в такой сети достаточно высокая по

сравнению с РШ структурой сети. ПСС является структурой, обеспечивающей высокую надежность за счет того, что каждый узел физически соединен со всеми остальными, что обеспечивает высокую степень избыточности.

Поскольку у нас используется полносвязная структура (ПСС), то используется небольшое число маршрутизаторов, то число ребер:

$$m = n(n-1)/2 = 15(15-1)/2=105$$

где m – число ребер

$n=15$ – число вершин (маршрутизаторов).

3.4 Выбор сетевого оборудования

В проектируемой сети будут использованы следующие виды оборудования: маршрутизатор; шлюз; IPTV-сервер.

Для выбора оборудования необходимо учитывать следующие требования: основанием для выбора производительности является суммарное значение интенсивности поступающей нагрузки; выбираемое оборудование должно поддерживать требуемую пропускную способность.

Необходимо определить каналы связи для каждого маршрутизатора. Для этого воспользуемся расчетами сетевых параметров для VoIP и IP-TV. Таблица выбранных каналов связи для каждого маршрутизатора приведена в ПРИЛОЖЕНИИ В.

С учетом всех требований для проектируемой сети мною было выбрано следующее оборудование:

- Маршрутизатор Cisco 7505;
- Шлюз Cisco MGX 8880;
- Сервер Cisco IP/TV 3427-C3.

Маршрутизатор Cisco 7505.

Маршрутизаторы Cisco серии 7500 имеют несколько шасси. Данный маршрутизатор представляет собой наиболее современное устройство верхнего уровня для локальных сетей с вырожденными магистралями и для промышленных приложений распределенных сетей.

Модель 7500 является наиболее современной платформой Cisco в семействе многопротокольных маршрутизаторов. Рассматриваемое семейство маршрутизаторов

обладает большой гибкостью и предлагает целый ряд интерфейсов и служб, в том числе и поддержку голосовых данных.

Технические характеристики маршрутизатора приведены в таблице Г.1.

Шлюз Cisco SPA8800.

VoIP шлюзы серии Cisco MGX 8000 отвечают стандартам устройства операторского класса большой емкости, обеспечивают поддержку услуг Voice over IP (VoIP) и Voice over ATM (VoATM).

Голосовые шлюзы серии Cisco MGX 8000 сочетают в себе лучшие в индустрии показатели с точки зрения качества голосовой связи, а также масштабируемость и проверенную надежность модельного ряда мультисервисных ATM-коммутаторов Cisco MGX 8000 (AAMP).

Технические характеристики шлюза приведены в таблице Г.2.

Сервер Cisco IP/TV 3427.

Cisco IP/TV представляет собой комбинацию уникального программного обеспечения, предназначенного для организации передачи и приема высококачественного видео на неограниченное количество компьютеров по сети IP.

Линейка продуктов Cisco IP/TV – это полнофункциональное решение для передачи видеoinформации по сетям IP. В нее входят как специализированный аппаратно-программный комплекс Cisco IP/TV 3400, снабженный специальным ПО IP/TV, так и программное обеспечение Cisco IP/TV для компьютеров пользователей. Cisco IP/TV - идеальное средство для организации дистанционного обучения, трансляций в Интернет, корпоративного телевидения и передачи любых других телепрограмм из различных источников всем пользователям в сети. Это три решения в одном продукте - поддержка прямой трансляции видеoinформации, трансляции по расписанию и видеoinформации по запросу (video on demand).

Технические характеристики сервера приведены в таблице Г.3.

Таким образом, для построения сети выбирается оборудование компании Cisco, которое соответствует стандартам качества и поддерживает наиболее современные технологии в области построения сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения курсового проекта была спроектирована сеть провайдера IP услуг, состоящая из 15 маршрутизаторов и предоставляющая услуги VoIP и IPTV для 86816 абонентов.

Осуществлен расчет сетевых параметров для пользователей IPTV и VoIP, а именно: пропускная способность, загрузка, задержка, вероятность своевременной доставки и вероятность потерь для каждого маршрутизатора, и интенсивность поступающей нагрузки.

Для хорошего качества услуг, согласно данным курсового проекта, должны выполняться следующие требования:

- вероятность потерь (РП) не должна превышать 3% для VoIP и 1% для IPTV;
- задержка пакета не должна превышать 10 мс для VoIP и 150мс для IPTV.

Качество услуги VoIP не соответствует заданным требованиям, так как поскольку на всех участках сети, имеется задержка пакетов VoIP, которая превышает 10 мс, и IPTV, превышающая 150 мс. Значит, провайдеру можно дать такие рекомендации:

- использовать маршрутизаторы с большей производительностью;
- использовать для соединения маршрутизаторов высокоскоростные каналы;
- для сглаживания вариации задержки использовать такие эффективные методы, как, например, механизмы резервирования сетевых ресурсов и др.

Был осуществлен расчет суммарной пропускной способности (VoIP+IPTV), на основе чего был выбран канал связи для каждого маршрутизатора – STM-16.

Осуществив сравнение основных протоколов маршрутизации, было решено, что лучшим для проектируемой сети будет протокол OSPF.

Для обеспечения надежности и реализации всех возможностей было подобрано следующее сетевое оборудование, параметры которого удовлетворяют спроектированной сети провайдера IP-услуг:

- маршрутизатор Cisco 7505;
- VoIP- шлюз Cisco MGX 8880;
- IPTV-сервер Cisco IP/TV 3427-C3.

Выбранное оборудование и протокол маршрутизации обеспечивают гибкое управление сетью и возможность дальнейшего расширения сети провайдера без потери качества предоставляемых IP-услуг. Рекомендуемая технология абонентского доступа – DOCSIS.

Таким образом, задача курсового проекта выполнена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экспорт компьютерных, телекоммуникационных и информационных услуг в январе-сентябре вырос на 21,7% [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/eksport-kompjjuternyh-telekommunikatsionnyh-i-informatsionnyh-uslug-v-janvare-sentjabre-vyros-na-217-367859-2019/>. – Дата доступа : 20.11.2021.
2. В Беларуси насчитали 3,237 миллиона абонентов стационарного ШПД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tech.onliner.by/2019/11/01/internet-75>. – Дата доступа : 20.11.2021.
3. Количество абонентов РУП «Белтелеком» превысило 2,1 млн. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kv.by/content/337098-kolichestvo-abonentov-rup-beltelekom-prevysilo-21-mln>. – Дата доступа : 20.11.2021.
4. PTV (мировой рынок) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IPTV_\(мировой_рынок\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IPTV_(мировой_рынок)). – Дата доступа : 20.11.2021.
5. Основные сведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.byfly.by/intro/main>. – Дата доступа : 20.11.2021.
6. Общие принципы IP-телефонии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zvmpt.ru/IP_NGN/lekcii_IP/IP_tel_4.htm. – Дата доступа : 20.11.2021.
7. Казиева, Г.С. IP-телефония и видеосвязь / Г.С. Казиева. – Алматы: АИЭС, 2007. – 58с.
8. Классификация сетей IP-телефонии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megalektsii.ru/s64368t3.html>. – Дата доступа : 20.11.2021.
9. Требования к программному обеспечению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net//informatika/trebovaniya_po_. – Дата доступа : 20.11.2021.
10. Методы кодирования речевой информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/comm/ip-aspects.html>. – Дата доступа : 20.11.2021.
11. VOIP КОДЕКИ – ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.merionet.ru/ip-telephoniya/5/voip-codecs/>. – Дата доступа : 20.11.2021.
12. Кодеки, используемые в IPTV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s6870t2.html>. – Дата доступа : 20.11.2021.

13. Качество обслуживания в операторских сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.opennet.ru/docs/RUS/qos_oper/#mozTocId936478. – Дата доступа : 20.01.2020.

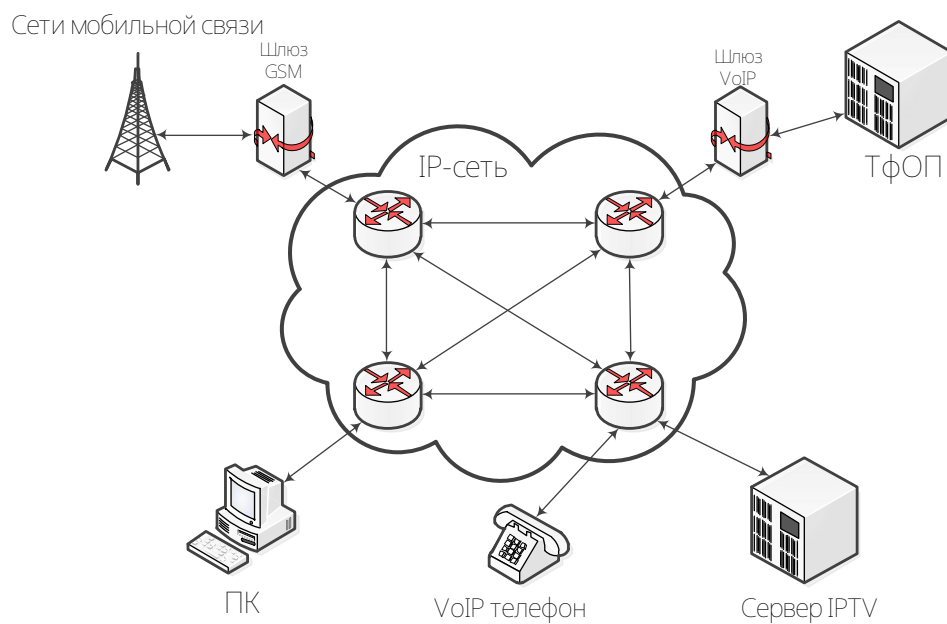
14. Качество восприятия (Quality of Experience, QoE) мультимедийных потоков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itmultimedia.ru/kachestvo-voSPIriatiya-quality-of-experience-qoe-multimedijnyx-potokov/>. – Дата доступа : 20.11.2021.

15. Кратко о DOCSIS или есть ли жизнь в КТВ? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/102429/>. – Дата доступа : 20.11.2021.

16. Технология VDSL — соединяем сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/comm/vdsl1.shtml> . – Дата доступа : 20.11.2021.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Обобщенная структурная схема IP-сети



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Распределение канального ресурса сети

Маршрутизатор	Суммарная пропускная способность, Мбит	Канал связи
M1	1766,1	STM-16
M2	1764,9	STM-16
M3	1763,3	STM-16
M4	1765,9	STM-16
M5	1766,7	STM-16
M6	1763,8	STM-16
M7	1765,0	STM-16
M8	1767,6	STM-16
M9	1764,6	STM-16
M10	1764,4	STM-16
M11	1764,4	STM-16
M12	1764,5	STM-16
M13	1766,1	STM-16
M14	1764,7	STM-16
M15	1764,4	STM-16

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Технические характеристики сетевого оборудования

Таблица Г.1 - Технические характеристики маршрутизатора Cisco 7505

Размеры (ширина x глубина x высота), см:	42.67 x 43.18 x 13.34
Вес, кг:	22.7
Параметры питания:	Максимальная мощность: 370 Вт AC: 100 - 240 В, 50 / 60 Гц, 5 - 2.5 А DC: -24 и -60 В, 13 - 18 А
Процессор:	MIPS RISC
Пропускная способность	1 Gbps
Память процессора:	По умолчанию: 256 МБ Максимум: 512 МБ
Флеш-память PCMCIA (опционально, доступно 2 слота):	16MB (расширяется до128MB)
Системная память DRAM	32MB (расширяется до 1GB)
Процессорные модули RSP	RSP-4+ 345 000 пакетов/с, 200 МГц MIPS RISC процессор RSP-8 470 000 пакетов/с, 250 МГц MIPS RISC процессор RSP-16 530 000 пакетов/с, 400 МГц MIPS RISC процессор
Интерфейсные порты:	2 x RJ-45 FE/E
Слоты карт расширения:	1
Слоты PA (Порт-адаптер):	4
Поддерживаемые сетевые интерфейсы	ATM (T1, E1, T3, E3, OC3, OC12) Multichannel T3, E3, T1, E1 и STM-1 Digital Voice Dynamic Packet Transport (OC12/STM4) Packet Over SONET (OC-3) Gigabit Ethernet Fast Ethernet (100BaseT и MII) Ethernet 10BaseT, AUI IBM channel Token Ring FDDI (half and full duplex) HSSI ISDN PRI Синхронные последовательные
Поддерживаемые кодеки:	G.728, G.723.1, G729a/b, G.726 и G.711.
Поддержка голосовых функций:	VoIP, VoFR, VoATM.

Поддерживаемые протоколы:	<p>ARP, IPCP, IP forwarding, IP host, IP Multicast, PPP-over-ATM, TCP, Telnet, TFTP, UDP, transparent bridging, VLAN, MPLS, IPv6</p> <p>GRE, L2TP, UTI, L2TPv3, 6to4, ACLs, NAT, NetFlow, Firewall, Flexible Packet Matching, IPsec VPN, Secure Multicast</p> <p>AAA, CHAP, FTP, RADIUS, SNMP, PAP, TACACS</p> <p>RARP</p> <p>SLIP</p> <p>SNMP</p> <p>DHCP</p> <p>HSRP</p>
Протоколы маршрутизации:	EIGRP, IGRP, IS-IS, OSPF, BGP, PIM, RIP
QoS:	<p>Low-Latency Queuing (LLQ)</p> <p>Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ)</p> <p>Class-Based Weighted Random Early Detection (CBWRED)</p> <p>Policing</p> <p>Marking</p> <p>Shaping</p> <p>Committed Access Rate (CAR)</p> <p>Generic Traffic Shaping (GTS)</p> <p>Frame Relay Traffic Shaping (FRTS)</p> <p>Modular QoS command-line interface (MQC) support</p> <p>Network-Based Application Recognition</p>
Управление:	<p>Element Manager Software (EMS) for the Cisco 7200 VXR Series</p> <p>Cisco Secure Policy Manager</p> <p>Cisco VPN Device Manager (VDM)</p> <p>Cisco QoS Device Manager (QDM)</p> <p>Cisco Info Center</p> <p>CiscoWorks</p> <p>Security Device Manager</p> <p>MPLS Diagnostics Expert</p> <p>Безопасный интерфейс командной строки с использованием протокола Secure Shell (SSH) Protocol</p> <p>Веб-интерфейс</p>
Минимальная версия Cisco IOS	11.3

Таблица Г.2 — Технические характеристики VoIP шлюза Cisco MGX 8880

Features	Description
System	<ul style="list-style-type: none"> • 45-Gbps nonblocking switching capacity • 12 double-height (24 single-height) slots for service modules and 2 processor switch module slots
Node Synchronization	<ul style="list-style-type: none"> • Internal Stratum Level 3 clock source • Building Integrated Timing Supply (BITS) source • External source received in band over the network • Synchronization to software-programmable primary and secondary sources, with automatic switchover
Network Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • VoIP-Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, POS OC-12/STM-4, T1/E1, T3/E3, OC-3c/STM-1, OC-12c/STM-4, OC-48c/STM-16 • VoATM-T1/E1, T3/E3, OC-3c/STM-1, OC-12c/STM-4, OC-48c/STM-16
TDM Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • T1/E1, T3, OC-3/STM-1
Network Protocols	<ul style="list-style-type: none"> • IPv4, MPLS, Border Gateway Protocol Version 4 (BGPv4), Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS), Open Shortest Path First Version 2 (OSPFv2), Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP), Routing Information Protocol Version 2 (RIPv2), and Internet Group Management Protocol (IGMP) • ATM User-Network Interface Version 3 (UNIV3), UNIV3.1, and UNIV4; ITU-T I.361; ITU-T I.432; Integrated Local Management Interface Version 4 (ILMIV4); Private Network-Network Interface Version 1 (PNNIV1); permanent virtual circuit (PVC); switched virtual circuit (SVC); and soft permanent virtual connection (SPVC)
Signaling and Call Control	<ul style="list-style-type: none"> • MGCP, TGCP, H.248, H.323, and SIP • ISDN Primary Rate Interface (PRI) • Channel associated signaling (CAS) • Feature group D multi frequency support for E911 and operator services
QoS	<ul style="list-style-type: none"> • Connection Admission Control • IP Differentiated Services (DiffServ) using IP type of service (ToS) and DiffServ code point (DSCP) • MPLS DiffServ • DiffServ-aware traffic engineering • Low-latency queuing (LLQ), Weighted Random Early Detection (WRED), Class-Based Weighted Fair Queuing (CB-WFQ) • Constant bit rate (CBR), real-time variable bit rate (VBR-rt), and non-real-time variable bit rate (VBR-nrt) classes of service for ATM
Bearer Services	<ul style="list-style-type: none"> • VoIP and VoATM (ATM Adaption Layer 1 [AAL1], AAL2) • G.168 programmable echo cancellation up to 128 ms on all channels • G.711, G.723.1, G.726, G.729a/b, and Clear Channel codecs • Silence suppression and Comfort Noise Generation • T.38 Fax Relay

	<ul style="list-style-type: none"> • Standards-based AAL2 subcell multiplexing • Standards-based AAL2 type 3 cells for Dual Tone Multi Frequency (DTMF) relay • DTMF detection and generation • Onboard announcements and tones • Lawful intercept (Communications Assistance for Law Enforcement ACT [CALEA]) support for call content • Onboard conferencing • RFC 2833 DTMF relay • Fax and modem tone detection • DTMF relay to softswitch for application control
Management Interfaces	Simple Network Management Protocol (SNMP), command-line interface (CLI), Telnet, Secure Shell (SSH) Protocol
Physical Specifications	
Dimensions	Height: 24.5 in. (62.2 cm) Width: 17.7 in. (45 cm) Depth: 21.5 in. (54.6 cm)
Mounting Options	Rack-mountable in 19- and 23-in. (48.2 x 58.4 cm) EIA/RETMA and ETSI racks
Electrical Specifications	
Power	Input power required: -42 to -56 VDC Optional 110/220 AC power Typical power consumption: 1000W
Electrical and Safety Compliance	
EMI/ESD Compliance	FCC Part 15 Bellcore GR1089-CORE IEC 801-2 EN55022 (CISPR22) CFR 47 Part 15 (FCC) AS/NZS 3548 (Australia/New Zealand) ETS 300 386-2 (EN300 386-2) EN 61000-4-2 (IEC-61000-4-2) EN 61000-4-3 (IEC-61000-4-3) EN 61000-4-4 (IEC-61000-4-4) EN 61000-4-5 (IEC-61000-4-5)
Safety Compliance	UL 1950, CSA C22.2 No. 950, EN60950, AS/NZS 3260, IEC 60950 IEC 60825-1, EN60825-1 Bellcore NEBS: Level 3 Optical safety: IEC 825-1 (Class 1)

Таблица Г.3 – Технические характеристики сервера Cisco IP/TV 3427-C3

	Cisco IP/TV 3427-C3 Broadcast Server
Форматы видео	MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4
Накопитель	144 Гб SCSI
Сетевые интерфейсы	10/100-Mbps Ethernet
Периферийные порты	VGA graphics, клавиатура, мышь
Высота	85.4 мм
Ширина	443.5 мм
Длина	698.0 мм
Вес	28.1 кг
Питание	350Вт max резервирование, "горячая" замена
Частота	50/60 Гц
Температура эксплуатации	10-35°C
Температура хранения	-40-60°C