

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С СЕРВИСОМ VoIP НА
ПРЕДПРИЯТИИ С РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СТРУКТУРОЙ**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки
11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи,
магистерская программа «Системы и устройства радиотехники и связи»
заочной формы обучения, группы 07001532
Исхаковой Ксении Дмитриевны

Научный руководитель
К.т.н., старший преподаватель кафедры
Информационно-телекоммуникационных
систем и технологий НИУ «БелГУ»
НИУ «БелГУ» Научный
Ушаков Д.И.

Рецензент
Начальник службы управления сетями,
сервисами и информационными системами
Белгородского филиала ПАО
«Ростелеком»
Нагорный Павел Викторович

БЕЛГОРОД 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ IP-КОММУНИКАЦИЙ	5
1.1 Анализ протоколов VoIP	6
1.1.1 Сигнальная и пользовательская информация.....	6
1.1.2 Протоколы передачи пользовательской информации	7
1.1.3 Протоколы передачи сигнальной информации	9
1.2 Сравнительный анализ протоколов H.323 и SIP	11
1.3 Интеграция SIP с IP сетями	19
1.4 VOIP кодеки-подробное описание и характеристики	21
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЙ VoIP ТЕЛЕФОНИИ.....	25
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕТИ НА ОСНОВАНИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	32
3.1 Расчет пропускной способности в IP-сетях.....	36
3.2 Анализ влияния полосы пропускания на качество установленного телефонного соединения по технологии VoIP ...	50
3.2.1 Установление соединения в SIP протоколе	51
3.2.2 Зависимость качества связи от полосы пропускания	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63

ВВЕДЕНИЕ

Множество современных компаний имеют структуру, распределенную по всей территории страны, а иногда и нескольких стран. В таких организациях невозможно обойтись без переговоров с филиалами. Конечно же, это вызывает необходимость создания телекоммуникационной системы в такой корпоративной сети для передачи данных и обмена телефонным трафиком между филиалами компании. Но высокие затраты телефонных компаний приводят к дорогим междугородним разговорам.

Корпоративные сети – это сети масштаба одной компании. Сети масштаба компании объединяют большое количество компьютеров и других телекоммуникационных устройств на всех филиалах предприятия. Количество пользователей и компьютеров может измеряться тысячами, а количество серверов – сотнями, расстояния между сетями отдельных филиалов требуют использования высокоскоростных транспортных каналов.

В настоящий момент VoIP-телефония — одно из наиболее активно развивающихся бизнес направлений в мире. Телекоммуникационные услуги, которые предоставляют VoIP-провайдеры, значительно лучше по качеству и имеющимся возможностям, чем у традиционных телефонных компаний, что делает их конкурентоспособными не только на локальных, но и на международных рынках телекоммуникаций.

VoIP – это технология, заключающаяся в том, что телефонные вызовы обрабатываются IP-сетью передачи данных; ей может быть Интернет или собственная внутренняя сеть организации. Одно из главных достоинств VoIP – возможность снижения расходов, так как вызовы обрабатываются сетью передачи данных быстрее, чем телефонной сетью компании.

Именно это, для массового пользователя, является основным преимуществом рассматриваемой технологии. На сегодня современный офис не мыслим без доступа в Интернет и благодаря стремительному развитию технологий передачи данных в системах сотовой связи и снижению

стоимости трафика, VoIP выглядит гораздо более привлекательным способом предоставления услуги «телефония», чем существующие системы с коммутацией каналов.

Поэтому актуальность развития решений IP-телефонии обусловлена возможностью снижения затрат на телефонные переговоры и техническое обслуживание инфраструктуры.

Одновременно с развитием технологий менялись и основные проблемы при проектировании и эксплуатации сетей связи. Одной из первых проблем был расчет необходимой полосы пропускания в сети для пропуска заданной нагрузки. Однако в связи с бурным развитием IP-сетей и ростом пропускной способности каналов связи выделение достаточной полосы пропускания перестало быть насущной проблемой. Другой немаловажной проблемой стало обеспечение должного качества обслуживания QoS (Quality of Service) в гетерогенной среде передачи критичной к параметрам QoS медиа информации и менее критичного, но более непредсказуемого, трафика данных.

Основой целью данной работы является исследование протоколов VoIP в различных сетевых конфигурациях для приобретения навыков работы с протоколами VoIP, а также для решения проблем, возникающих в процессе эксплуатации конкретных сетевых конфигураций.

ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ IP-КОММУНИКАЦИЙ

Начало новой эпохи в телекоммуникациях многие связывают с появлением IP-телефонии. Со второй половины 90-х годов XX века эта технология приобретает все большую популярность, постепенно расширяет свои границы и сейчас это уже не просто услуга для голосового соединения двух абонентов. IP-телефония (или VoIP - Voice over Internet protocol) - технология, которая использует сеть с пакетной коммутацией сообщений на базе протокола IP для передачи голоса в режиме реального времени. Она включает в себя видео вызовы, многоточечные конференции разного типа (видео, аудио, web), передачу сообщений, документов, контроль доступности абонентов, роуминг, а также интегрируется со средствами связи, не работающими в режиме реального времени (электронная почта, SMS, факс).

На данный момент основным назначением IP-телефонии являются дешевые или бесплатные междугородние и международные звонки. Для совершения этих звонков вам нужно воспользоваться услугами одного из провайдеров IP-телефонии и вы сможете звонить с компьютера, IP-телефона или обычного телефона.

Однако, основная выгода VoIP для бизнеса - это возможность построения более эффективных систем корпоративных коммуникаций с различными голосовыми сервисами. Эффективность таких систем (по сравнению с традиционными) заключается в следующем:

- Более простое и дешевое внедрение (т.к. VoIP системы строятся на базе существующей интранет-сети)
- бесплатная голосовая связь внутри компании (даже при географически распределенной структуре бизнеса)
- возможность доступа ко всем коммуникационным возможностям дома и в командировке (через интернет)

- возможность интеграции голосовых сервисов в бизнес-приложения и бизнес-процессы
- продвинутые возможности по записи разговоров и ведению статистики

1.1 Анализ протоколов VoIP

В данном разделе рассматриваются возможности для реализации передачи голоса по IP-сети. На сегодняшний день существует несколько различных протоколов сигнализации (SIP, SCCP, H.323, MGCP) и кодеков для кодирования речевой информации (G.711 A-law, G.711 μ -law, G.726, G.729, iLBC, SpeeX, GSM). Выбор конкретного протокола и кодека осуществляется исходя из предъявляемых требований к VoIP-сети, технических возможностей IP-сети, на базе которой строится телефонная сеть, а также выделенного бюджета

1.1.1 Сигнальная и пользовательская информация

При оказании абоненту той или иной услуги в сетях IP-коммуникаций информация, передаваемая в сети и служащая для организации предоставления услуги, называется сигнальной. В случае голосового соединения двух абонентов сигнальная информация - это набор сообщений, которыми обмениваются узлы сети для установления, поддержания и разрушения соединения. Непосредственно речевые сообщения в процессе разговора двух абонентов представляют собой пример пользовательской информации. Также пользовательской информацией может являться сканированное изображение (например, при передаче факса), текстовое

сообщение (например, при предоставлении услуг мгновенных сообщений IM, передаче коротких сообщений SMS) или видео изображение (например, в случае видеотелефонного звонка или видеоконференции). Кроме приведенных выше явных отличий трафика сигнальной и пользовательской информации, можно выделить еще несколько особенностей, которые делают эти два типа трафика отличными друг от друга: - требования к качеству обслуживания (QoS - Quality Of Service); - маршрут распространения трафика по IP-сети; - объем передаваемого трафика; - влияние изменений параметров QoS на качество, воспринимаемое пользователями. К тому же для передачи сигнальной и пользовательской информации по IP-сети используются различные протоколы верхних уровней модели OSI, многие из которых обладают своими специфическими характеристиками.

1.1.2 Протоколы передачи пользовательской информации

Среди протоколов передачи пользовательской информации для передачи голосовой и видеоинформации основным, используемым на данный день, является протокол реального времени RTP (Real-Time Protocol). Как следует из его названия, данный протокол используется для передачи пользовательской информации в реальном масштабе времени. В качестве транспортного протокола обычно используется протокол передачи пользовательских датаграмм UDP (User Datagram Protocol) без установления соединения. Протокол RTP маркирует все последовательно передаваемые пакеты порядковым номером и временным штампом. Таким образом, приемная сторона может точно определить количество потерянных пакетов, а так задержку и дисперсию. Многие особенности данного протокола основаны на специфических требованиях QoS.

Так голосовой трафик очень чувствителен к задержке, джиттеру (колебаниям задержек) и потерям пакетов в IP-сети. Максимально

допустимая задержка определяется задержкой передачи по IP-сети, а также величиной задержки в буферах транзитных и конечных устройств и не должна превышать 150 мс для лучшего класса качества.

Джиттер в трафике протокола RTP появляется, когда пакеты одного голосового соединения передаются по различным маршрутам. В случае, если промежуточные звенья в IP-сети вносят различную задержку в передаваемые RTP пакеты, приемная сторона должна иметь возможность ее компенсировать. Для этого организуется джиттер-буфер, размер которого больше или равен размеру одного RTP пакета. Размер джиттер-буфера определяет размер дисперсии, которую он сможет компенсировать. Однако слишком большой размер буфера может привести к дополнительной задержке и ухудшению восприятия принимаемой информации. Поэтому джиттер, вносимый транспортной IP-сетью, стараются поддержать на максимально низком уровне.

Другой параметр качества обслуживания речевых сообщений - потери пакетов. В зависимости от используемого алгоритма кодирования речи, RTP трафик не очень чувствителен к небольшим потерям. Так в случае использования кодека 0.711 потерянный пакет можно спокойно подменить принятым до этого. Поскольку обычно размер речевого пакета (кадра) составляет 20 мс, абонент, скорее всего, не заметит подмены. Однако в случае использования алгоритмов с нелинейным кодированием 0.729, 0.723, 0.726 и другие возможности такого маскирования нет и любые потери пакетов негативно сказываются на качестве воспринимаемой речевой информации.

Маршрут передачи RTP пакетов по IP-сети обычно выбирается как можно короче. Это делается для минимизации задержки передачи и появления джиттера. В простейшем случае весь RTP трафик будет передаваться напрямую между двумя абонентами.

Объем передаваемого пользовательского трафика определяется типом используемого речевого кодека. Например, для кодека 0.711 интенсивность

одностороннего потока с учетом всех заголовков составляет порядка 85 кбит/с.

Таким образом, на примере голосовой связи через IP-сети, видно, что трафик протокола RTP является чувствительным к различным параметрам QoS. Любые ухудшения этих параметров сразу же отразятся на качестве предоставляемых услуг. Поэтому поддержание этих параметров на приемлемом уровне является самой популярной задачей для теории и практики.

1.1.3 Протоколы передачи сигнальной информации

В настоящее время широкое распространение получили следующие VoIP-протоколы: SIP, H.323, MGCP, IAX2, SCTP, Unistim, Skinny/SCCP и т.д. Протоколы SIP или H.323 являются открытыми, а Skinny/SCCP и Unistim являются закрытыми протоколами передачи сигнального трафика.

Протоколы сигнализации в современных сетях связи эволюционировали наряду с технологиями построения этих сетей. Самым первым протоколом (а точнее стеком протоколов), нашедшим свое применение на коммерческих сетях операторов связи, является H.323. Первая спецификация протокола увидела свет в 1996 году. Популярность протокола обусловлена по большей части тем, что часть его базируется на протоколе традиционных сетей ISDN - Q.931. Таким образом, H.323 легко интегрируется с существующими сетями. К тому же в первые несколько лет, когда технология передачи голоса по IP-сетям набирала популярность, данный протокол являлся, по сути, единственным зрелым протоколом, удовлетворяющим условиям надежности и стабильности, предъявляемым операторами связи.

В 1999 году организация IETF выпустила стандарт, описывающий первую версию протокола инициации сеансов связи SIP. При разработке данного протокола за основу был взят протокол HTTP. Таким образом, SIP

меньше походил на традиционные протоколы установления соединения. Однако отличительная гибкость и масштабируемость, присущая протоколу SIP, а также широкая поддержка производителей и стандартизирующих организаций привели к его повсеместному внедрению.

В основу протокола были заложены следующие принципы:

- Простота: включает в себя только шесть методов (функций)
- Независимость от транспортного уровня, может использовать UDP, TCP, ATM и т. д.
- Персональная мобильность пользователей. Пользователи могут перемещаться в пределах сети без ограничений. Это достигается путём присвоения пользователю уникального идентификатора. При этом набор предоставляемых услуг остается неизменным. О своих перемещениях пользователь сообщает с помощью сообщения REGISTER своему серверу.
- Масштабируемость сети. Структура сети на базе протокола SIP позволяет легко её расширять и увеличивать число элементов.
- Расширяемость протокола. Протокол характеризуется возможностью дополнять его новыми функциями при появлении новых услуг.
- Интеграция в стек существующих протоколов Интернет. Протокол SIP является частью глобальной архитектуры мультимедиа, разработанной комитетом IETF. Кроме SIP, эта архитектура включает в себя протоколы RSVP, RTP, RTSP, SDP.
- Взаимодействие с другими протоколами сигнализации. Протокол SIP может быть использован совместно с другими протоколами IP-телефонии, протоколами ТфОП, и для связи с интеллектуальными сетями.

Протокол MGCP третий из рассматриваемых протоколов появился в октябре 1999 года в результате объединения двух протоколов – SGCP (Simple Gateway Control Protocol) и IPDC (Internet Protocol for Device Control), за созданием которых стояли компании Bellcore, Cisco Systems и Level 3.

Интересно отметить, что IETF и ITU, развивающие свои протоколы - H.323 и SIP, плодотворно сотрудничая в работе над MGCP, создали протоколы MEGACO (в рамках IETF) и H.248 (в рамках ITU). У Cisco Systems так же есть своя реализации MGCP-подобного протокола – SSCP (Skinny Station Control Protocol). Протокол управления шлюзами MGCP (Media Gateway Control Protocol) и родственные спецификации - SGCP, IPDC, MEGACO, H.248 основаны на жесткой иерархии, подразумевающей всего два функциональных компонента и полное отделение управления сигнализацией от медиа-потоков. Управление сигнализацией осуществляется центральным управляющим устройством – контроллером сигнализаций, а медиа-потоки обрабатываются шлюзами или абонентскими терминалами – IP-телефонами. Функциональное назначение конечных исполнительных устройств – шлюзов (или абонентских терминалов) определяется набором понятных им команд, поступающих в простом текстовом формате от контроллера сигнализаций. Он же задает и ориентацию соединений между конечными устройствами на передачу голоса, факсимильных сообщений или цифровых данных.

1.2 Сравнительный анализ протоколов H.323 и SIP

Прежде чем начать сравнение функциональных возможностей протоколов SIP и H.323, напомним, что протокол SIP значительно моложе своего соперника, и опыт его использования в сетях связи несопоставим с опытом использования протокола H.323. Существует еще один момент, на который следует обратить внимание. Интенсивное внедрение технологии передачи речевой информации по IP-сетям потребовало постоянного наращивания функциональных возможностей как протокола H.323, так и протокола SIP. Этот процесс приводит к тому, что достоинства одного из протоколов перенимаются другим.

И последнее. Оба протокола являются результатом решения одних и тех же задач специалистами ITU-T и комитета IETF. Естественно, что решение ITU-T оказалось ближе к традиционным телефонным сетям, а решение комитета IETF базируется на принципах, составляющих основу сети Internet.

Перейдем непосредственно к сравнению протоколов, которое будем проводить по нескольким критериям.

Дополнительные услуги. Набор услуг, поддерживаемых обоими протоколами, примерно одинаков.

Дополнительные услуги, предоставляемые протоколом 'H.323, стандартизированы в серии рекомендаций ITU-T H.450.X. Протоколом SIP правила предоставления дополнительных услуг не определены, что является его серьезным недостатком, так как вызывает проблемы при организации взаимодействия оборудования разных фирм-производителей. Некоторые специалисты предлагают решения названных проблем, но эти решения пока не стандартизированы.

Примеры услуг, предоставляемых обоими протоколами:

- Перевод соединения в режим удержания (Call hold);
- Переключение связи (Call Transfer);
- Переадресация (Call Forwarding);
- Уведомление о новом вызове во время связи (Call Waiting);
- Конференция.

Рассмотрим последнюю услугу несколько более подробно. Протокол SIP предусматривает три способа организации конференции: с использованием устройства управления конференциями MCU, режима многоадресной рассылки и соединений участников друг с другом. В последних двух случаях функции управления конференциями могут быть распределены между терминалами, т.е. центральный контроллер конференций не нужен. Это позволяет организовывать конференции с

Рекомендация Н.323 предусматривает те же три способа, но управление конференцией во всех случаях производится централизованно контроллером конференций МС (Multipoint Controller), который обрабатывает все сигнальные сообщения. Поэтому для организации конференции, во-первых, необходимо наличие контроллера МС у одного из терминалов, во-вторых, участник с активным контроллером МС не может выйти из конференции. Кроме того, при большом числе участников конференции МС может стать «узким местом». Правда, в третьей версии рекомендации ITU-T Н.323 принято положение о каскадном соединении контроллеров, однако производители эту версию в своем оборудовании пока не реализовали. Преимуществом протокола Н.323 в части организации конференций являются более мощные средства контроля конференций.

Протокол SIP изначально ориентирован на использование в IP-сетях с поддержкой режима многоадресной рассылки информации (примером может служить сеть Mbone, имеющая тысячи постоянных пользователей). Этот механизм используется в протоколе SIP не только для доставки речевой информации (как в протоколе Н.323), но и для переноса сигнальных сообщений. Например, в режиме многоадресной рассылки может передаваться сообщение INVITE, что облегчает определение местоположения пользователя и является очень удобным для центров обслуживания вызовов (Call-center) при организации групповых оповещений.

В то же время, протокол Н.323 предоставляет больше возможностей управления услугами, как в части аутентификации и учета, так и в части контроля использования сетевых ресурсов. Возможности протокола SIP в этой части беднее, и выбор оператором этого протокола может служить признаком того, что для оператора важнее техническая интеграция услуг, чем возможности управления услугами.

Протокол SIP предусматривает возможность организации связи третьей стороной (third-party call control). Эта функция позволяет реализовать такие услуги, как набор номера секретарем для менеджера и сопровождение вызова

оператором центра обслуживания вызовов. Подобные услуги предусмотрены и протоколом H.323, но реализация их несколько сложнее.

В протоколе SIP есть возможность указывать приоритеты в обслуживании вызовов, поскольку во многих странах существуют требования предоставлять преимущества некоторым пользователям. В протоколе H.323 такой возможности нет. Кроме того, пользователь SIP-сети может регистрировать несколько своих адресов и указывать приоритетность каждого из них.

Персональная мобильность пользователей. Протокол SIP имеет хороший набор средств поддержки персональной мобильности пользователей, в число которых входит переадресация вызова к новому местоположению пользователя, одновременный поиск по не-

скольким направлениям (с обнаружением заикливания маршрутов) и т.д. В протоколе SIP это организуется путем регистрации на сервере определения местоположения, взаимодействие с которым может поддерживаться любым протоколом. Персональная мобильность поддерживается и протоколом H.323, но менее гибко. Так, например, одновременный поиск пользователя по нескольким направлениям ограничен тем, что привратник, получив запрос определения местоположения пользователя LRQ, не транслирует его к другим привратникам.

Расширяемость протокола. Необходимой и важной в условиях эволюционирующего рынка является возможность введения новых версий протоколов и обеспечение совместимости различных версий одного протокола. Расширяемость (extensibility) протокола обеспечивается:

- согласованием параметров;
- стандартизацией кодеков;
- модульностью архитектуры.

Протокол SIP достаточно просто обеспечивает совместимость разных версий. Поля, которые не понятны оборудованию, просто игнорируются. Это уменьшает сложность протокола, а также облегчает обработку сообщений и

внедрение новых услуг. Клиент может запросить какую-либо услугу с помощью заголовка Require. Сервер, получивший запрос с таким заголовком, проверяет, поддерживает ли он эту услугу, и если не поддерживает, то сообщает об этом в своем ответе, содержащем список поддерживаемых услуг.

В случае необходимости, в организации IANA (Internet Assigned Numbers Authority) могут быть зарегистрированы новые заголовки. Для регистрации в IANA отправляется запрос с именем заголовка и его назначением. Название заголовка выбирается таким образом, чтобы оно говорило об его назначении. Указанным образом разработчик может внедрять новые услуги.

Для обеспечения совместимости версий протокола SIP определено шесть основных видов запросов и 6 классов ответов на запросы. Так как определяющей в кодах ответов является первая цифра, то оборудование может указывать и интерпретировать только ее, а остальные цифры кода только дополняют смысл и их анализ не является обязательным.

Более поздние версии протокола H.323 должны поддерживать более ранние версии. Но возможна ситуация, когда производители поддерживают только одну версию, чтобы уменьшить размер сообщений и облегчить их декодирование.

Новые функциональные возможности вводятся в протокол H.323 с помощью поля NonStandardParameter. Оно содержит код производителя и, следом за ним, код услуги, который действителен только для этого производителя. Это позволяет производителю расширять услуги, но сопряжено с некоторыми ограничениями. Во-первых, невозможно запросить у вызываемой стороны информацию о поддерживаемых ею услугах, во-вторых, невозможно добавить новое значение уже существующего параметра. Существуют также проблемы, связанные с обеспечением взаимодействия оборудования разных производителей.

На расширение возможностей протокола, как и на совместимость оборудования, его реализующего, оказывает влияние и набор кодеков, поддерживаемый протоколом. В протоколе SIP для передачи информации о функциональных возможностях терминала используется протокол SDP. Если производитель поддерживает какой-то особенный алгоритм кодирования, то этот алгоритм просто регистрируется в организации IANA, неоднократно упоминавшейся в этой главе.

В протоколе H.323 все кодеки должны быть стандартизированы. Поэтому приложения с нестандартными алгоритмами кодирования могут столкнуться с проблемами при реализации их на базе протокола H.323.

Протокол SIP состоит из набора законченных компонентов (модулей), которые могут заменяться в зависимости от требований и могут работать независимо друг от друга. Этот набор включает в себя модули поддержки сигнализации для базового соединения, для регистрации и для определения местоположения пользователя, которые не зависят от модулей поддержки качества обслуживания (QoS), работы с директориями, описания сеансов связи, развертывания услуг (service discovery) и управления конфигурацией.

Архитектура протокола H.323 монолитна и представляет собой интегрированный набор протоколов для одного применения. Протокол состоит из трех основных составляющих, и для создания новой услуги может потребоваться модификация каждой из этих составляющих.

Масштабируемость сети (scalability). Сервер SIP, по умолчанию, не хранит сведений о текущих сеансах связи и поэтому может обработать больше вызовов, чем привратник H.323, который хранит эти сведения (statefull). Вместе с тем, отсутствие таких сведений, по мнению некоторых специалистов, может вызвать трудности при организации взаимодействия сети IP-телефонии с ТФОП.

Необходимо также иметь в виду зонную архитектуру сети H.323, позволяющую обеспечить расширяемость сети путем увеличения количества зон.

Время установления соединения. Следующей существенной характеристикой протоколов является время, которое требуется, чтобы установить соединение. В запросе INVITE протокола SIP содержится вся необходимая для установления соединения информация, включая описание функциональных возможностей терминала. Таким образом, в протоколе SIP для установления соединения требуется одна транзакция, а в протоколе H.323 необходимо производить обмен сообщениями несколько раз. По этим причинам затраты времени на установление соединения в протоколе SIP значительно меньше затрат времени в протоколе H.323. Правда, при использовании инкапсуляции сообщений H.245 в сообщения H.225 или процедуры Fast Connect время установления соединения значительно уменьшается.

Кроме того, на время установления соединения влияет также и нижележащий транспортный протокол, переносящий сигнальную информацию. Ранние версии протокола H.323 предусматривали использование для переноса сигнальных сообщений H.225 и H.245 только протокол TCP, и лишь третья версия протокола предусматривает возможность использования протокола UDP. Протоколом SIP использование протоколов TCP и UDP предусматривалось с самого начала.

Оценка времени установления соединения производится в условных единицах - RTT (round trip time) - и составляет для протокола SIP $1,5+2,5$ RTT, а для протокола H.323 $6-7$ RTT

Адресация. К числу системных характеристик, несомненно, относится и предусматриваемая протоколами адресация. Использование URL является сильной стороной протокола SIP и позволяет легко интегрировать его в существующую систему DNS-серверов и внедрять в оборудование, работающее в IP-сетях. Пользователь получает возможность переправлять вызовы на Web-страницы или использовать электронную почту. Адресом в SIP может также служить телефонный номер с адресом используемого шлюза.

В протоколе H.323 используются транспортные адреса и alias-адреса. В качестве последнего может использоваться телефонный номер, имя пользователя или адрес электронной почты. Для преобразования alias-адреса в транспортный адрес обязательно участие привратника.

Сложность протокола. Протокол H.323, несомненно, сложнее протокола SIP. Общий объем спецификаций протокола H.323 составляет примерно 700 страниц. Объем спецификаций протокола SIP составляет 150 страниц. Протокол H.323 использует большое количество информационных полей в сообщениях (до 100), при нескольких десятках таких же полей в протоколе SIP. При этом для организации базового соединения в протоколе SIP достаточно использовать всего три типа запросов (INVITE, BYE и ACK) и несколько полей (To, From, Call-ID, CSeq).

Протокол SIP использует текстовый формат сообщений, подобно протоколу HTTP. Это облегчает синтаксический анализ и генерацию кода, позволяет реализовать протокол на базе любого языка программирования, облегчает эксплуатационное управление, дает возможность ручного ввода некоторых полей, облегчает анализ сообщений. Название заголовков SIP-сообщений ясно указывает их назначение.

Протокол H.323 использует двоичное представление своих сообщений на базе языка ASN.1, поэтому их непосредственное чтение затруднительно. Для кодирования и декодирования сообщений необходимо использовать компилятор ASN. 1. Но, в то же время, обработка сообщений, представленных в двоичном виде, производится быстрее.

Довольно сложным представляется взаимодействие протокола H.323 с межсетевым экраном (firewall). Кроме того, в протоколе H.323 существует дублирование функций. Так, например, оба протокола H.245 и RTP/RTCP имеют средства управления конференцией и осуществления обратной связи.

Выводы. На основе проведенного выше сравнения можно сделать вывод о том, что протокол SIP больше подходит для использования Internet-

поставщиками, поскольку они рассматривают услуги IP-телефонии лишь как часть набора своих услуг.

Операторы телефонной связи, для которых услуги Internet не являются первостепенными, скорее всего, будут ориентироваться на протокол H.323, поскольку сеть, построенная на базе рекомендации H.323, представляется им хорошо знакомой сетью ISDN, наложенной на IP-сеть.

Не стоит также забывать, что к настоящему времени многие фирмы-производители и поставщики услуг уже вложили значительные средства в оборудование H.323, которое успешно функционирует в сетях.

Таким образом, ответ на вопрос, какой из протоколов предпочтительнее использовать, будет зависеть от целей бизнеса и требуемых функциональных возможностей. Скорее всего, эти варианты не следует рассматривать как конкурирующие, а как предназначенные для разных областей рынка услуг, поскольку они могут работать параллельно и взаимодействовать через специальный шлюз. Проиллюстрируем это утверждение следующим примером. В настоящее время рынок услуг все больше нацеливается на услуги с доплатой за дополнительные возможности (value added), и простота их предоставления дает реальные преимущества. Так, использование SIP в каком-либо частном домене дает возможность более гибкого предоставления услуг, а наличие средств, обеспечивающих переход от протокола SIP к протоколу H.323, гарантирует взаимодействие с областями, использующими другие решения.

1.3 Интеграция SIP с IP сетями

Одной из важнейших особенностей протокола SIP является его независимость от транспортных технологий. В качестве транспорта могут использоваться протоколы X.25, Frame Relay, AAL5/ATM, IPX и др. Структура сообщений SIP не зависит от выбранной транспортной

технологии. Но, в то же время, предпочтение отдается технологии маршрутизации пакетов IP и протоколу UDP. При этом, правда, необходимо создать дополнительные механизмы для надежной доставки сигнальной информации. К таким механизмам относятся повторная передача информации при ее потере, подтверждение приема и др.

Здесь же следует отметить то, что сигнальные сообщения могут переноситься не только протоколом транспортного уровня UDP, но и протоколом TCP. Протокол UDP позволяет быстрее, чем TCP, доставлять сигнальную информацию (даже с учетом повторной передачи неподтвержденных сообщений), а также вести параллельный поиск местоположения пользователей и передавать приглашения к участию в сеансе связи в режиме многоадресной рассылки. В свою очередь, протокол TCP упрощает работу с межсетевыми экранами (firewall), а также гарантирует надежную доставку данных. При использовании протокола TCP разные сообщения, относящиеся к одному вызову, либо могут передаваться по одному TCP-соединению, либо для каждого запроса и ответа на него может открываться отдельное TCP-соединение.

По сети с маршрутизацией пакетов IP может передаваться пользовательская информация практически любого вида: речь, видео и данные, а также любая их комбинация, называемая мультимедийной информацией. При организации связи между терминалами пользователей необходимо известить встречную сторону, какого рода информация может приниматься (передаваться), алгоритм ее кодирования и адрес, на который следует передавать информацию. Таким образом, одним из обязательных условий организации связи при помощи протокола SIP является обмен между сторонами данными об их функциональных возможностях. Для этой цели чаще всего используется протокол описания сеансов связи - SDP (Session Description Protocol). Поскольку в течение сеанса связи может производиться его модификация, предусмотрена передача сообщений SIP с новыми описаниями сеанса средствами SDP.

Для передачи речевой информации комитет IETF предлагает использовать протокол RTP, но сам протокол SIP не исключает возможность применения для этих целей других протоколов.

Протокол SIP предусматривает организацию конференций трех видов:

- в режиме многоадресной рассылки (multicasting), когда информация передается на один multicast-адрес, а затем доставляется сетью конечным адресатам;
- при помощи устройства управления конференции (MCU), к которому участники конференции передают информацию в режиме точка-точка, а оно, в свою очередь, обрабатывает ее (т.е. смешивает или коммутирует) и рассылает участникам конференции;
- путем соединения каждого пользователя с каждым в режиме точка-точка.
- Протокол SIP дает возможность присоединения новых участников к уже существующему сеансу связи, т.е. двусторонний сеанс может перейти в конференцию.

Следует отметить то, что разработаны методы совместной работы этого протокола с преобразователем сетевых адресов - Network Address Translator (NAT).

1.4 VOIP кодеки-подробное описание и характеристики

Под телефонными (VoIP) кодеками понимаются различные математические модели, используемые для цифрового кодирования и компрессирования (сжатия) аудио информации. Многие из современных кодеков используют особенности восприятия человеческим мозгом неполной информации: алгоритмы голосового сжатия пользуются этими особенностями, вследствие чего не полностью услышанная информация полностью интерпретируется головным мозгом. Основным смыслом таких кодеков является сохранение баланса между эффективностью передачи

данных и их качеством. Изначально, термин кодек происходил от сочетания слов КОДирование/ДЕКОдирование, то есть устройств, которые преобразовывали аналог в цифровую форму. В современном мире телекоммуникаций, слово кодек скорее берет начало от сочетания КОмпрессия/ДЕКОмпрессия.

Таблица 1. Характеристики кодеков

Кодек	Скорость передачи, Кб/сек.	Лицензирование
G.711	64 Кб/сек	нет
G.726	16, 24, 32 или 40 Кб/сек.	нет
G.729A	8 Кб/сек.	да
GSM	13 Кб/сек.	нет
iLBC	13.3 Кб/сек. (30 мс фрейма); 15.2 Кб/сек. (20 мс фрейма)	нет
Speex	Диапазон от 2.15 до 22.4 Кб/сек.	нет
G.722	64 Кб/сек.	нет

G.711. Кодек G.711 это самый базовый кодек ТфОП (PSTN). В рамках данного кодека используется импульсно-кодовая модуляция РСМ. Всего в мире используется 2 метода компандирования (усиления сигнала) G.711: μ – закон в Северной Америке и А – закон в остальной части мира. Данный кодек передает 8 – битное слово 8 000 раз в секунду. Если умножить 8 на 8 000, то получим 64 000 бит – то есть 64 Кб/с, скорость потока, создаваемого G.711. Многие люди скажут, что G.711 это кодек, в котором отсутствует компрессирование (сжатие), но это не совсем так: сам по себе процесс компандирования является одной из форм компрессирования. Все мировые

кодеки «выросли» на базе G.711. Важная особенность G.711 в том, что он минимально загружает процессор машины, на которой он запущен.

G.726. Этот кодек использовался некоторое время, став заменой для G.721, который на тот момент устарел, и является одним из первых кодеков с алгоритмом компрессии. Он так же известен как кодек с адаптивной импульсно-кодовой модуляции (Adaptive Differential Pulse-Code Modulation, ADPCM) и может использовать несколько скоростей потока передачи. Наиболее распространенные скорости передачи это 16, 24 и 32 Кб/сек. Кодек G.726 почти идентичен G.711 – единственным отличием является то, что он использует половину полосы пропускания. Это достигается путем того, что вместо отправки полного результата квантования, он отправляет только разницу между двумя последними измерениями. В 1990 году от кодека практически отказались, так как он не мог работать с факсимильными сигналами и модемами. Но в наше время, из – за своей экономии полосы пропускания и ресурсов центрального процессора у него есть все шансы вновь стать популярным кодеком в современных сетях.

G.729A. Учитывая то, какую малую полосу пропускания использует G.729A, всего 8 Кб/сек., он обеспечивает превосходное качество связи. Это достигается за счет использования сопряженной структуры с управляемым алгебраическим кодом и линейным предсказанием (Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear Prediction, CS-ACELP). По причине патента, использование данного кодека является коммерческим; однако это не мешает кодеку G.729A быть популярным в различных корпоративных сетях и телефонных системах. Для достижения такой высокой степени сжатия, G.729A активно задействует мощности процессора (CPU).

GSM. Кодек для глобального стандарта цифровой мобильной сотовой связи (Global System for Mobile Communications, GSM) не обременен лицензированием, как его аналог G.729A, но предлагает высокое качество и умеренную нагрузку на процессор при использовании 13 Кб/сек. полосы

пропускания. Эксперты считают, что качество GSM несколько ниже чем G.729A.

iLBC. Кодек iLBC (Internet Low Bitrate Codec) сочетает в себе низкое использование полосы пропускания и высокого качества. Данный кодек идеально подходит для поддержания высокого качества связи в сетях с потерями пакетов. iLBC не так популярен, как кодеки стандартов ITU и поэтому, может быть не совместим с популярными IP – телефонами и IP – АТС. Инженерный совет Интернета (IETF) выпустил RFC 3951 и 3952 в поддержку кодека iLBC. Internet Low Bitrate кодек использует сложные алгоритмы для достижения высокого показателя сжатия, поэтому, весьма ощутимо загружает процессор. В настоящий момент iLBC используется бесплатно, но владелец этого кодека, Global IP Sound (GIPS), обязует уведомлять пользователей о намерении коммерческого использования этого кодека. Кодек iLBC работает на скорости в 13.3 Кб/сек. с фреймами в 30 мс, и на скорости 15.2 кб/сек. с фреймами в 20 мс.

Speex. Кодек Speex относится к семейству кодеков переменной скорости (variable-bitrate, VBR), что означает возможность кодека динамически менять скорость передачи битов в зависимости от статуса производительности сети передачи. Этот кодек предлагается в широкополосных и узкополосных модификациях, в зависимости от требования к качеству. Speex полностью бесплатный и распространяется под программной лицензией университета Беркли (Berkeley Software Distribution license, BSD). Кодек работает на диапазонах от 2.15 до 22.4 Кб/сек. в рамках переменного битрейта.

G.722. Кодек G.722 является стандартом ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication sector) и впервые опубликован в 1988 году. Кодек G.722 позволяет обеспечить качество, не ниже G.711 что делает его привлекательным для современных VoIP разработчиков. В настоящий момент патент на G.722 не действителен, и этот кодек является полностью бесплатным.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЙ VoIP ТЕЛЕФОНИИ

Как оказалось, мудрым советом знаменитого бизнесмена Аристотеля Онассиса «Не гонись за деньгами - иди им навстречу» воспользовался целый ряд компаний, преуспевших в разработке программных средств и оборудования IP-телефонии, среди которых - VocalTec, Dialogic, Cisco, Ascend, 3Com, Nortel, Lucent, IBM, Motorola, RAD, Rock-well, Digitcom и др.

Выбор протоколов канального уровня обычно не составляет проблемы, но вот выбор подходящего оборудования даже у опытного инженера может вызвать затруднения.

Развитие сетевых технологий одновременно с растущими потребностями приложений в пропускной способности сетей вынуждает производителей сетевого оборудования разрабатывать все новые программно-аппаратные архитектуры. Часто у отдельно взятого производителя встречаются на первый взгляд схожие модели оборудования, но предназначенные для решения разных сетевых задач. Взять, к примеру, коммутаторы Ethernet: у большинства производителей наряду с обычными коммутаторами, используемыми на предприятиях, есть коммутаторы для построения сетей хранения данных, для организации операторских сервисов и т.д. Модели одной ценовой категории различаются своей архитектурой, "заточенной" под определенные задачи.

Кроме общей производительности, выбор оборудования также должен быть обусловлен поддерживаемыми технологиями. В зависимости от типа оборудования определенный набор функций и виды трафика могут обрабатываться на аппаратном уровне, не используя ресурсы центрального процессора и памяти. При этом трафик других приложений будет обрабатываться на программном уровне, что сильно снижает общую производительность и, как следствие, максимальную пропускную

способность. Например, многоуровневые коммутаторы, благодаря сложной аппаратной архитектуре, способны осуществлять передачу IP-пакетов без снижения производительности при максимальной загрузке всех портов. При этом если мы захотим использовать более сложную инкапсуляцию (GRE, MPLS), то такие коммутаторы вряд ли нам подойдут, поскольку их архитектура не поддерживает соответствующие протоколы, и в лучшем случае такая инкапсуляция будет происходить за счет центрального процессора малой производительности.

В данной главе затронуты технические решения, поддерживающие самый распространенный на сегодняшний день протокол SIP.

Шлюз выхода на ССОП

DVG-2024S представляет собой идеальное решение Интернет-телефонии для бизнеса. Этот шлюз преобразует голосовые данные в пакеты для передачи через Интернет и полностью совместим с сервисами Интернет-телефонии SIP. Шлюзы с высокой плотностью портов и низкой себестоимостью, обеспечивают удобство в работе и гарантируют экономию средств компаний, нуждающихся в частых междугородних и международных деловых звонках.

Снижение затрат и защита инвестиций. Шлюз DVG-2024S обеспечивает легкую и недорогую модернизацию для Интернет-телефонии, позволяя пользователям сохранить ранее приобретенные телефоны и факсимильные аппараты. Защита инвестиций компании достигается благодаря использованию существующей инфраструктуры и возможности ее поэтапной модернизации.

Гарантированное качество голоса. Шлюз DVG-2024S передает голос и факсимильные сообщения в соответствии с общепринятыми международными стандартами передачи голоса и данных. Поддержка функции качества обслуживания (QoS) обеспечивает качество связи, сравнимое с аналоговой телефонией.

Характеристики:

Интерфейсы устройства

- 24 порта FXS с 1 разъемом RJ-21
- Порт 10/100BASE-TX RJ-45 WAN
- Порт 10/100BASE-TX RJ-45 LAN

Основные функции

- Перевод вызова на фиксированный номер
- Повторный вызов занятого аппарата
- Digit Map (план нумерации)
- Прямой звонок IP-to-IP без SIP Proxy
- Эхоподавление
- Hot Line, Warm Line
- Встроенная телефонная книга с возможностью скоростного набора номера
- Фоновая музыка при удержании
- MWI (Индикатор голосовых сообщений)
- Имя звонившего и время звонка (FSK)
- Основные функции звонков:
 - Блокировка анонимных звонков
 - Блокировка и фильтрация звонков
 - Переадресация звонков (Всегда, занято, нет ответа, на указанный номер, безусловная, недоступная)
 - История звонков (статус звонков)
 - Удержание звонка
 - Caller ID (поддержка Proxy)
 - Блокировка звонков по IP-адресу звонящего
 - Перехват звонка
 - Набор последнего набранного номера
 - Переадресация вызова (поддержка Proxy)
 - Время разговора

- Перевод вызова на фиксированный номер (Call park) и снятие вызова с удержания (Call Retrieve)

- Ожидание вызова

- Функция «Не беспокоить» (Do Not Disturb)

Голосовые функции

- Кодеки: G.711 a/u law, G.726, G.729A, G.723.1

- Обнаружение голосовой активности (VAD) для G.711/723/729

- Генерация комфортного шума (CNG) для G.711/723/729

- Out of band DTMF event

- Gain Control (incoming/outgoing)

- Автоматическое обнаружение и переключение голоса/факса/данных (до 33.6 Кбит/с)

- Регулируемый jitter-буфер

- Обнаружение и генерация DTFM

- Обнаружение и генерация идентификатора звонящего (Caller ID):

BellCore типа 1 и 2, ETSI

- Обнаружение тона/мультифона: 300-2 кГц

- T.38 real time FAX/T.30 FAX bypass through G.711

- СРТ: непрерывная модуляция пошаговая модуляция, 16 шагов (опционально)

- Поддержка FXS 12/16 кГц (опционально)

Телефонная станция Cisco IP ATC 3945E-CME-SRST

Телефонная станция Cisco IP ATC 3945E-CME-SRST – высокопроизводительная, универсальная платформа для организации телефонной связи как для малого, так и для крупного бизнеса на базе технологий IP телефонии. IP ATC Cisco 3945E-CME-SRST поддерживает большинство протоколов традиционной телефонной связи, сигнализации VoIP SIP/H.323/MGCP/SCCP, все возможные типы интерфейсов для стыка с ТФОП, такие как E1, FXO и BRI.

Телефонная станция Cisco IP ATC 3945E-CME-SRST может функционировать как самостоятельная телефонная станция, так и в составе Unified Cisco Call Manager, позволяет одновременно обслуживать максимальное количество абонентов (до 450). Она тесно интегрирована с IP телефонами, конференц-телефонами, голосовыми шлюзами Cisco и совместно реализует весь потенциал и широкие возможности аппаратов, тем самым помогает организовать высококачественную систему для ведения телефонных переговоров. Помимо традиционных телефонных услуг IP ATC поддерживает совершение видео звонков между IP телефонами, оборудованными встроенными камерами, или при помощи внешней камеры Cisco Video Advantage. Установленные DSP ресурсы обеспечивают возможность реализации конференц-связи и голосового меню, а внутренний сервисный слот AIM позволит в дальнейшем расширить возможности телефонной станции Cisco IP ATC 3945E-CME-SRST. Установка дополнительного блока питания позволит организовать резервное питание устройства, либо увеличить максимальную мощность на портах встраиваемых модулей дополнительных LAN портов, использующих технологию PoE.

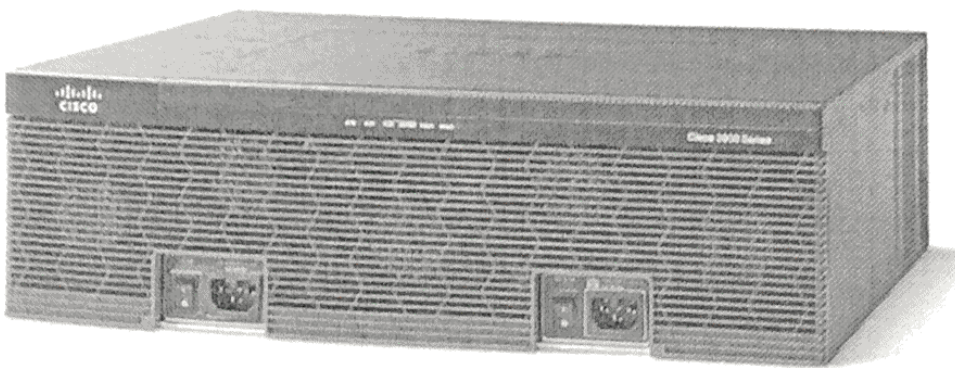


Рисунок 1. IP ATC Cisco 3945E-CME-SRST

Таблица 2 – характеристики IP АТС Cisco 3945E-CME-SRST

Универсальные порты Ethernet	2 порта SFP (mini-GBIC)
WAN порты Ethernet	4 x GE
LAN порты Ethernet	Совмещаются с WAN
Слоты интерфейсных карт	3 слота
Память FLASH	256 Мб
Память FLASH максимум	4 Гб
Объем ОЗУ	1024 МБ
Память ОЗУ максимум	2 Гб
Потребляемая мощность номинальная/максимальная	158/540 Ватт
Тип питания	AC 100-240В
Типы поддерживаемых карт	3 слота EHWIC (1 Doublewide)
Протоколы VoIP	SIP/H.323
Предустановленные модули DSP	PVDM3-64
Максимальная ёмкость IP АТС	450 IP телефонов
Слоты DSP ресурсов	3 слота PVDM
Высота RM UNIT	3U
Тип установки	Стойное/настольное
Порты консольные	RJ-45 (RS232), AUX RJ-45(RS232), USB, mini- USB
Сетевой слот	NM/SM 4 слота SM (1 Doublewide)
Порты USB	2 x USB 2.0

SIP телефоны стационарные

Panasonic KX-HDV230

SIP телефон - это современное устройство, внешне похожее на обычный телефон, которое подключается к сети Интернет и обеспечивает удобную и экономичную связь по Интернет- протоколу SIP. При этом SIP телефон работает автономно, не требуя наличия компьютера, шлюза или

роутера, и позволяет совершать звонки как абонентам SIP телефонии, так абонентам с обычными аналоговыми телефонами.

Модуль цифровой обработки сигналов для маршрутизаторов

PVDM3-256 поддерживается всеми платформами маршрутизаторов Cisco 2900 и 3900 серий. Модули PVDM3 обеспечивают более высокую плотность и большую вычислительную мощность по сравнению с PVDM2, позволяя использовать мультимедийные приложения. Расширенная архитектура DSP имеет новый процессор обработки пакетов, оптимизированный для голосовых и видео приложений, при этом поддерживающий голосовой framework временного разделения мультиплексирования IP (TDM-IP), используемый модулями PVDM2.

Технические характеристики PVDM3-256:

Интерфейс: 240-контактный DIMM интерфейс

Характеристики процессора и памяти:

Процессор: Многоядерный DSP процессор Оперативная память: 512-мегабитная DDR SDRAM для каждого DSP

Голосовые функции:

Поддерживаемые кодеки: • Кодеки низкой сложности: G.711, ClearChannel, сквозная передача факсового и модемного соединения

• Кодеки средней сложности: G.729a, G.729ab, G.726, G.722 и передача факсового соединения

• Кодеки высокой сложности: G.728, G.729, G.729b, Internet Low Bitrate Codec (iLBC) и передача модемного соединения Максимальное количество

каналов: • Кодеки низкой сложности: 256

• Кодеки высокой сложности: 192

• Кодеки средней сложности: 120

Прочее: Программное эхоподавление, совместимое с ITU-T G.168, охват конечных 128 мс

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕТИ НА ОСНОВАНИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование процессов передачи данных в корпоративных сетях и исследование их производительности невозможно без создания моделей этих сетей. При имитационном моделировании сети не требуется приобретать дорогостоящее оборудование, так как его работа имитируется программами, достаточно точно воспроизводящими параметры такого оборудования. Результатом работы имитационной модели являются собранные в ходе прогона модели статистические данные о наиболее важных характеристиках сети.

В настоящее время существует больше количество сетевых симуляторов: NS-3, OPNET (Riverbed Modeler), OMNET++, NETSIM и другие. При этом симуляторы, как правило, не совместимы друг с другом – имеют различную программную архитектуру, используют различные наборы параметров моделируемой технологии и условий ее использования. Это затрудняет портирование моделей из одного сетевого симулятора в другой и сравнение результатов экспериментов для оценки эффективности различных технологий в идентичных условиях эксплуатации или для решения обратной задачи – определения наиболее эффективной работы сети в некоторых условиях.

Неотъемлемой частью анализа любой компьютерной сети является сбор и анализ циркулирующего в ней сетевого трафика. Необходимость анализа сетевого трафика может возникнуть по нескольким причинам. Кроме показателей производительности это и аспекты безопасности, поиска узких мест для оптимизации структуры сети, отладки работы сети, контроля входящего/исходящего трафика для оптимизации работы разделяемого подключения к сети Интернет и др.

В работе для исследования компьютерных сетей использована программная система Riverbed Modeler Academic Edition. Под технологией Riverbed Modeler подразумевают совокупность действий для создания модели сети и проведение на ней имитационных экспериментов. Программный пакет Riverbed Modeler предоставляет широкие возможности для построения моделей сети, позволяющие уделять внимание вплоть до мелочей в создании какого-либо проекта сетевой инфраструктуры. Выбор требуемой статистики, собираемая с каждого объекта сети или со всей сети, запуская процесс моделирования на задаваемые время симуляции работы сети и затем осуществляться просмотр результатов – все эти возможности, предоставляемые данным продуктом, несут огромный потенциал в решении различных вопросов по организации ИВС (информационно-вычислительных сетей).

Использование высокоуровневого моделирования позволяет гарантировать полноту и правильность выполнения информационной системой функций, определённых заказчиком.



Рисунок 2 . Алгоритм работы с программной системой Riverbed Modeler

Программная система Riverbed Modeler предоставляет широкие возможности моделирования вычислительной сети, представленной в графическом виде, что является одним из основных преимуществ, так как пользователь имеет возможность видеть как всю сеть в целом, так и при необходимости отдельные ее участки. Также можно учитывать размеры модели сети, создавая проекты на шаблоне глобального масштаба, районного, кампусного или размером офиса, учитывая расстояния между узлами. Или использовать схему здания, где размещается или планируется разместить вычислительную сеть, получая готовый план-проект, который можно изменять только в рамках ограниченной средой размещения сети.

Riverbed Modeler Academic Edition является бесплатной утилитой предназначенная абсолютно в образовательных целях для студентов учебных заведений.

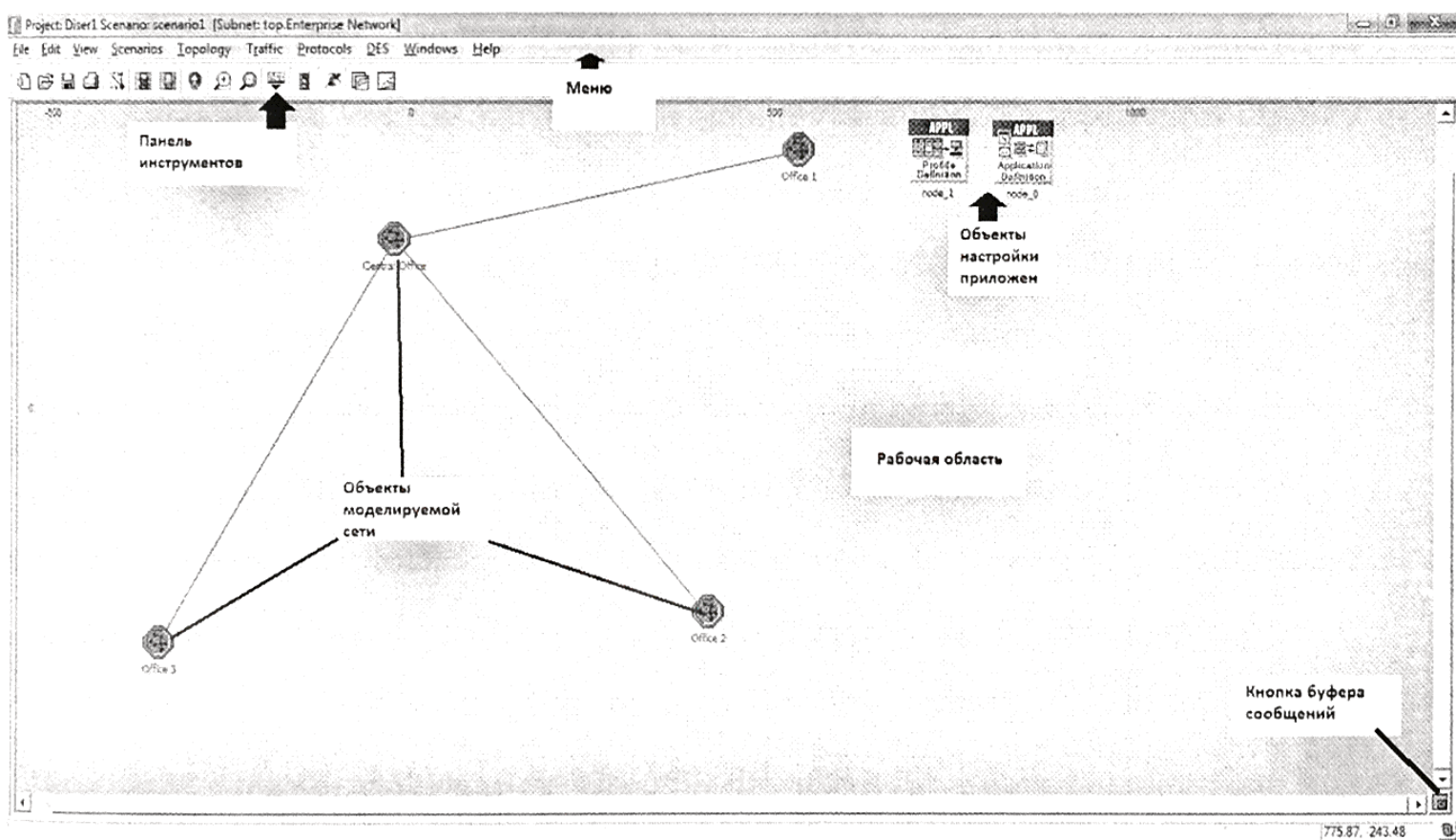


Рисунок 3. Интерфейс программы Riverbed Modeler

Riverbed Modeler предоставляет собой виртуальную сетевую среду, которая моделирует поведение сетей, включая маршрутизаторы,

коммутаторы, рабочие станции, серверы, протоколы и конкретные приложения. Дружественный интерфейс Modeler с технологией «перетаскивания» дает возможность эффективно моделировать, управлять, искать и устранять неполадки в реальных сетевых структурах. Эта среда позволяет IT менеджерам, проектировщикам сетей, систем и штату операторов более эффективно решать трудные проблемы, моделировать изменения прежде, чем они осуществляются, и планировать будущие сценарии, такие как рост трафика и выход из строя сегментов сети. Создание самостоятельно уникальных всевозможных сетевых устройств, которых нет в большой базе Modeler, предоставляет возможность наиболее точно спроектировать сеть, добиваясь необходимых результатов.

Можно проводить моделирование сценариев (отдельных схем и планов действий) при проектировании сетей. Программа позволяет анализировать воздействия приложений типа клиент-сервер и новых технологий на работу сети; моделировать иерархические сети, многопротокольные локальные и глобальные сети с учетом алгоритмов маршрутизации; осуществлять оценку и анализ производительности смоделированных сетей. Также с помощью пакета можно осуществить проверку протокола связи, анализ взаимодействий протокола, оптимизацию и планирование сети. В процессе моделирования можно проследить, как будут изменяться время запаздывания отклика и другие сетевые характеристики при различных подходах к конструированию сети. В результате моделирования пользователю предоставляется информация о узких местах сети (по пропускной способности, загрузке устройства или линии связи), трафике между заданными узлами, задержки между узлами сети и др.

3.1 Расчет пропускной способности в IP-сетях

При проектировании IP-сетей пропускная способность является ключевым параметром, от которого будет зависеть архитектура сети в целом.

Со времени возникновения теории телетрафика было разработано множество методов расчета пропускных способностей каналов. Однако в отличие от методов расчета, применяемых к сетям с коммутацией каналов, расчет требуемой пропускной способности в пакетных сетях довольно сложен и вряд ли позволит получить точные результаты. В первую очередь это связано с огромным количеством факторов (в особенности присущих современным мультисервисным сетям), которые довольно сложно предугадать. В IP-сетях общая инфраструктура, как правило, используется множеством приложений, каждое из которых может использовать собственную, отличную от других модель трафика. Причем в рамках одного сеанса трафик, передаваемый в прямом направлении, может отличаться от трафика, проходящего в обратном направлении. Вдобавок к этому расчеты осложняются тем, что скорость трафика между отдельно взятыми узлами сети может изменяться. Поэтому в большинстве случаев при построении сетей оценка пропускной способности фактически обусловлена общими рекомендациями производителей, статистическими исследованиями и опытом других организаций.

Чтобы более или менее точно определить, какая пропускная способность требуется для проектируемой сети, необходимо в первую очередь знать, какие приложения будут использоваться. Далее для каждого приложения следует проанализировать, каким образом будет происходить передача данных в течение выбранных промежутков времени, какие протоколы для этого применяются.

В каждом региональном офисе компании в сети расположено по 300 рабочих компьютеров и столько же IP-телефонов. Планируется использовать такие сервисы: электронная почта, IP-телефония,

видеонаблюдение (рис. 1). Для видеонаблюдения применяются 20 камер, с которых видеопотоки после преобразования кодеком H.264 передаются на сервер. Попробуем оценить, какая максимальная пропускная способность потребуется для всех сервисов на каналах между коммутаторами ядра сети и на стыках с каждым из серверов.

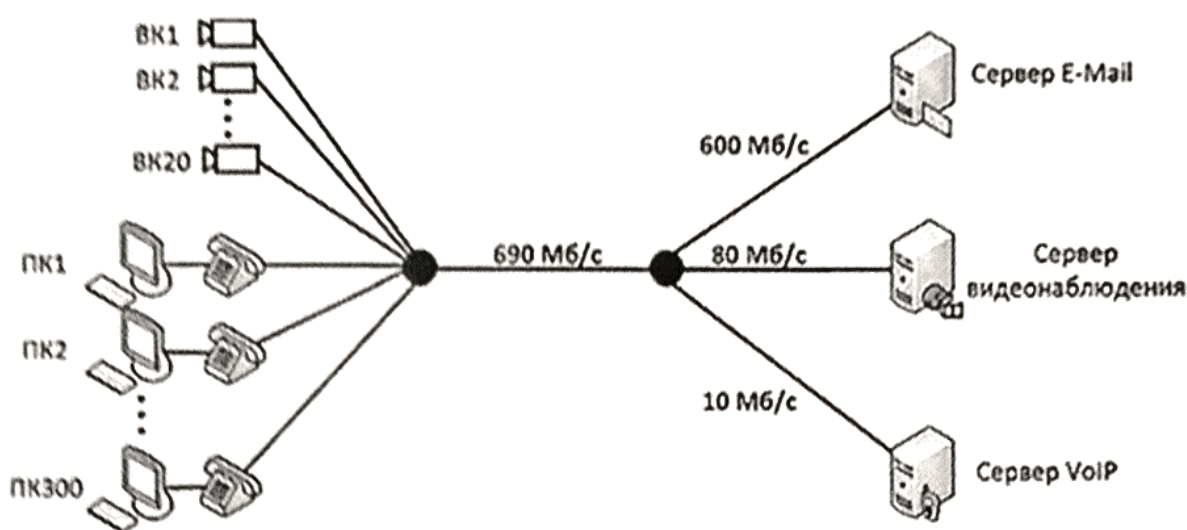


Рисунок 4. Расчет пропускной способности

Следует сразу отметить, что все расчеты нужно проводить для времени наибольшей сетевой активности пользователей (в теории телетрафика – ЧНН, часы наибольшей нагрузки), поскольку обычно в такие периоды работоспособность сети наиболее важна и возникающие задержки и отказы в работе приложений, связанные с нехваткой пропускной способности, неприемлемы. В организациях наибольшая нагрузка на сеть может возникать, например, в конце отчетного периода или в сезонный наплыв клиентов, когда совершается наибольшее количество телефонных вызовов и отправляется большая часть почтовых сообщений.

Электронная почта.

Рассмотрим сервис электронной почты. В нем используются протоколы, работающие поверх TCP, то есть скорость передачи данных постоянно корректируется, стремясь занять всю доступную пропускную способность. Таким образом, будем отталкиваться от максимального значения задержки отправки сообщения – предположим, 1 секунды будет достаточно, чтобы пользователю было комфортно. Далее нужно оценить средний объем отправляемого сообщения. Предположим, что в пиках

активности почтовые сообщения часто будут содержать различные вложения (копии счетов, отчеты и т.д.), поэтому для нашего примера средний размер сообщения возьмем 500 кбайт. И наконец, последний параметр, который нам необходимо выбрать, – максимальное число сотрудников, которые одновременно отправляют сообщения. Предположим, во время авралов половина сотрудников одновременно нажмут кнопку "Отправить" в почтовом клиенте. Тогда требуемая максимальная пропускная способность для трафика электронной почты составит $(500 \text{ кбайт} \times 150 \text{ хостов})/1 \text{ с} = 75\,000 \text{ кбайт/с}$ или 600 Мбит/с.

Телефония и видеонаблюдение.

Другие приложения – телефония и видеонаблюдение – в своей структуре передачи потоков схожи: оба вида трафика передаются с использованием протокола UDP и имеют более или менее фиксированную скорость передачи. Главные отличия в том, что у телефонии потоки являются двунаправленными и ограничены временем вызова, у видеонаблюдения потоки передаются в одном направлении и, как правило, являются непрерывными.

Чтобы оценить требуемую пропускную способность для трафика телефонии, предположим, что в пики активности количество одновременных соединений, проходящих через шлюз, может достигать 100. При использовании кодека G.711 в сетях Ethernet скорость одного потока с учетом заголовков и служебных пакетов составляет примерно 100 кбит/с. Таким образом, в периоды наибольшей активности пользователей требуемая пропускная способность в ядре сети составит 10 Мбит/с.

Трафик видеонаблюдения рассчитывается довольно просто и точно. Допустим, в нашем случае видеокамеры передают потоки по 4 Мбит/с

каждая. Требуемая пропускная способность будет равна сумме скоростей всех видеопотоков: $4 \text{ Мбит/с} \times 20 \text{ камер} = 80 \text{ Мбит/с}$.

В итоге осталось сложить полученные пиковые значения для каждого из сетевых сервисов: $600 + 10 + 80 = 690 \text{ Мбит/с}$. Это и будет требуемая пропускная способность в ядре сети. При проектировании следует также предусмотреть и возможность масштабирования, чтобы каналы связи могли как можно дольше обслуживать трафик разрастающейся сети. В нашем примере будет достаточно использования Gigabit Ethernet, чтобы удовлетворить требованиям сервисов и одновременно иметь возможность беспрепятственно развивать сеть, подключая большее количество узлов.

Также нужно учитывать, что VoIP-трафик распространяется не только от телефонов к серверу, но и между телефонами напрямую. Кроме того, в разных отделах организации сетевая активность может различаться: служба техподдержки совершает больше телефонных вызовов, отдел проектов активнее других пользуется электронной почтой, инженерный отдел больше других потребляет интернет-трафик и т.д. В результате некоторые участки сети могут требовать большей пропускной способности по сравнению с остальными.

Полезная и полная пропускная способность.

В нашем примере при расчете скорости потока IP-телефонии я учитывала используемый кодек и размеры заголовка пакета. Это немаловажная деталь, которую нужно иметь в виду. В зависимости от способа кодирования (используемые кодеки), объема данных, передаваемых в каждом пакете, и применяемых протоколов канального уровня формируется полная пропускная способность потока. Именно полная пропускная способность должна учитываться при оценке требуемой пропускной способности сети. Это наиболее актуально для IP-телефонии и других приложений, использующих передачу

низкоскоростных потоков в реальном времени, в которых размер заголовков пакета составляет существенную часть от размера пакета целиком. Для наглядности сравним два потока VoIP (см. таблица 3). Эти потоки используют одинаковое сжатие, но разные размеры полезной нагрузки (собственно, цифровой аудиопоток) и разные протоколы канального уровня.

Скорость передачи данных в чистом виде, без учета заголовков сетевых протоколов (в нашем случае – цифрового аудиопотока), есть полезная пропускная способность. Как видно из таблицы, при одинаковой полезной пропускной способности потоков их полная пропускная способность может сильно различаться. Таким образом, при расчете требуемой пропускной способности сети для телефонных вызовов в пиковые нагрузки, особенно у операторов связи, выбор канальных протоколов и параметров потоков играет значительную роль.

Таблица 3. Сравнение двух протоколов VoIP

Параметр	Поток 1	Поток 2
Используемый кодек	G.729 (8 кбит/с)	G.729(8 кбит/с)
Размер полезной нагрузки	20 байт	60 байт
Протокол канального уровня	Ethernet	PPP
Суммарный размер пакета с учетом заголовка канального уровня	78 байт	106 байт
Полная пропускная способность потока	31,2 кбит/с	14,3 кбит/с

В результате при проектировании IP-сетей пропускная способность является ключевым параметром, от которого будет зависеть архитектура сети

в целом. Для более точной оценки пропускной способности, можно руководствоваться следующими рекомендациями:

- Изучайте приложения, которые планируется использовать в сети, применяемые ими технологии и объемы передаваемого трафика. Пользуйтесь советами разработчиков и опытом коллег, чтобы учесть все нюансы работы этих приложений при построении сетей.
- Детально изучайте сетевые протоколы и технологии, которые используются этими приложениями.
- Внимательно читайте документацию при выборе оборудования. Чтобы иметь некоторый запас готовых решений, ознакомьтесь с продуктовыми линейками разных производителей.

При правильном выборе технологий и оборудования можно быть уверенным, что сеть в полной мере удовлетворит требованиям всех приложений и, будучи достаточно гибкой и масштабируемой, прослужит долгое время.

Полученный результат смоделируем в программной системе Riverbed Modeler Academic Edition.

Описание процесса создания и настройки проекта Riverbed Modeler

Перед созданием новой модели сети необходимо добавить новый проект (project) и сценарий (scenario). Проект - это группа зависимых сценариев, каждый из которых описывает различные детали сети. Проект может содержать множество сценариев.

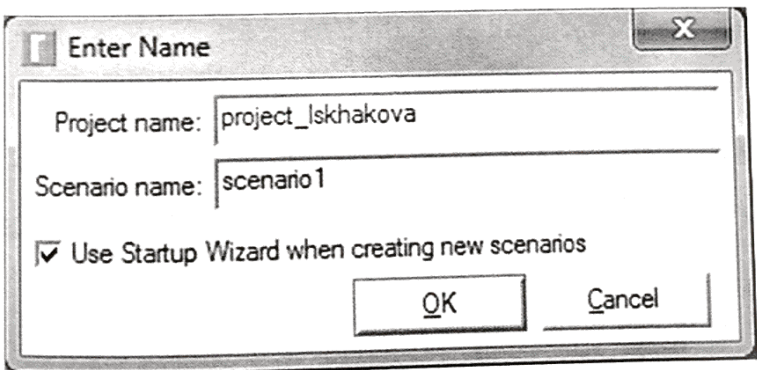


Рисунок 5. Окно создания проекта

Создаем пустой проект «Create empty scenario» и далее программа предлагает выбрать масштаб сети

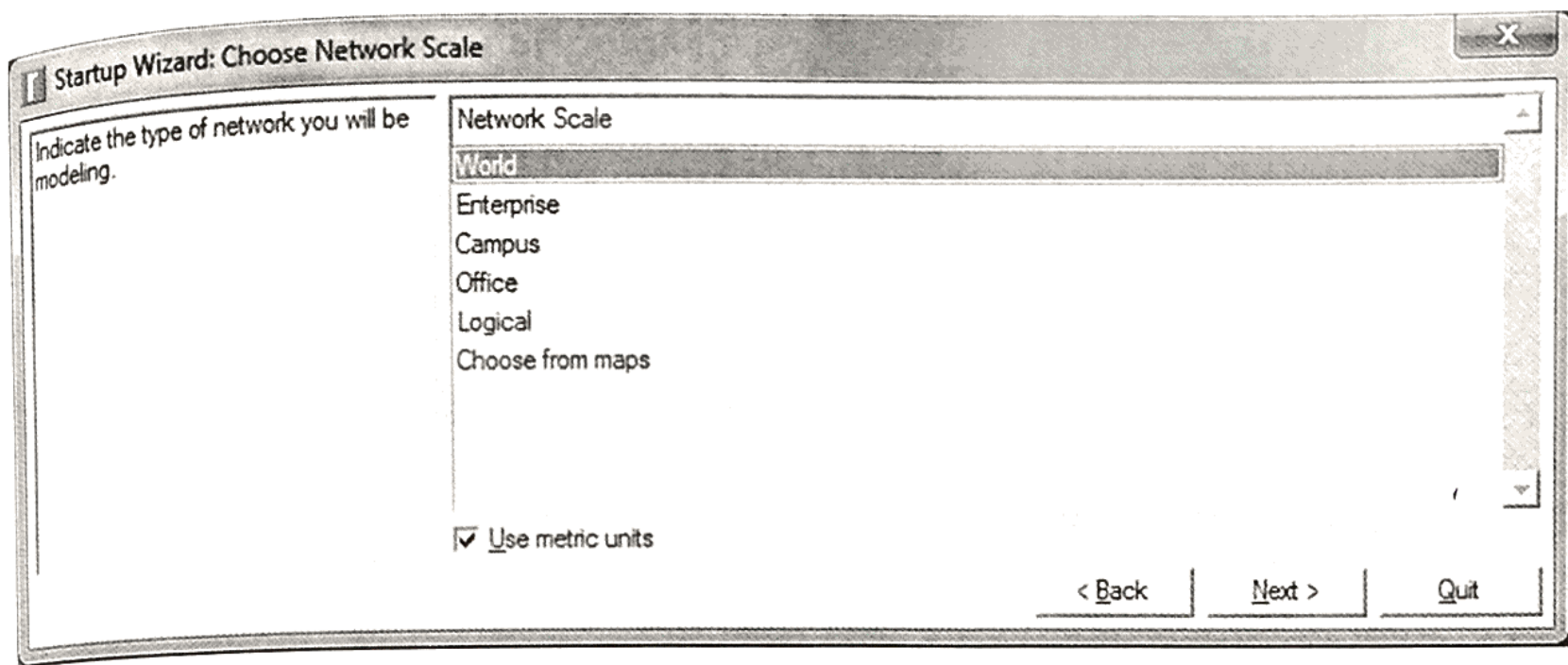


Рисунок 6. Выбор масштаба сети

При моделировании сети рабочих станций пользователей, воспользовались методом шаблонного построения сети

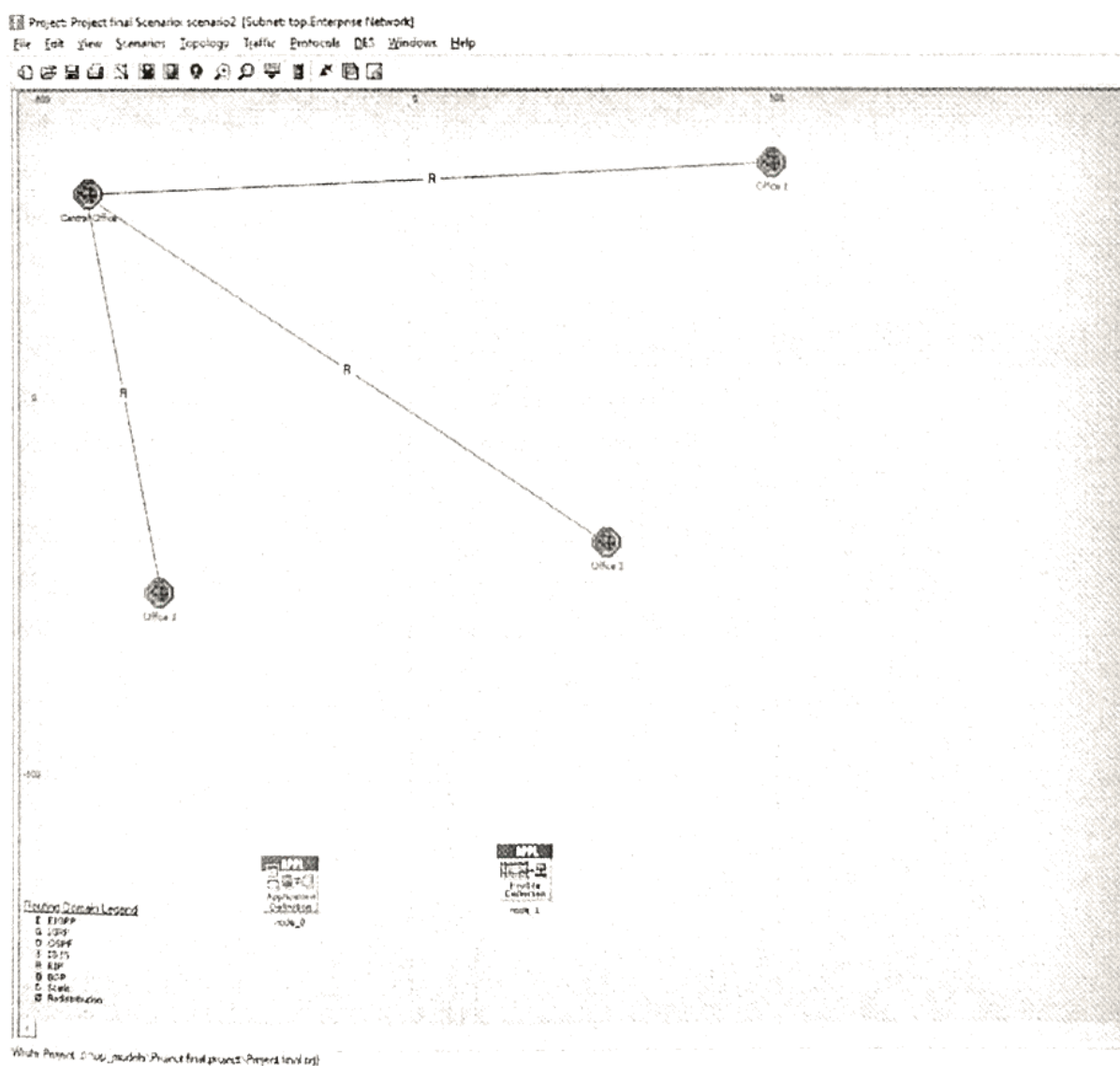


Рисунок 7. Полученная сеть

Также на текущем этапе необходимо обозначить общедоступные сервисы для всех рабочих станций корпоративной сети и создать профили пользователей, которые будут использовать данные сервисы, поэтому добавляем к проектным объектам Application Config, Profile Config

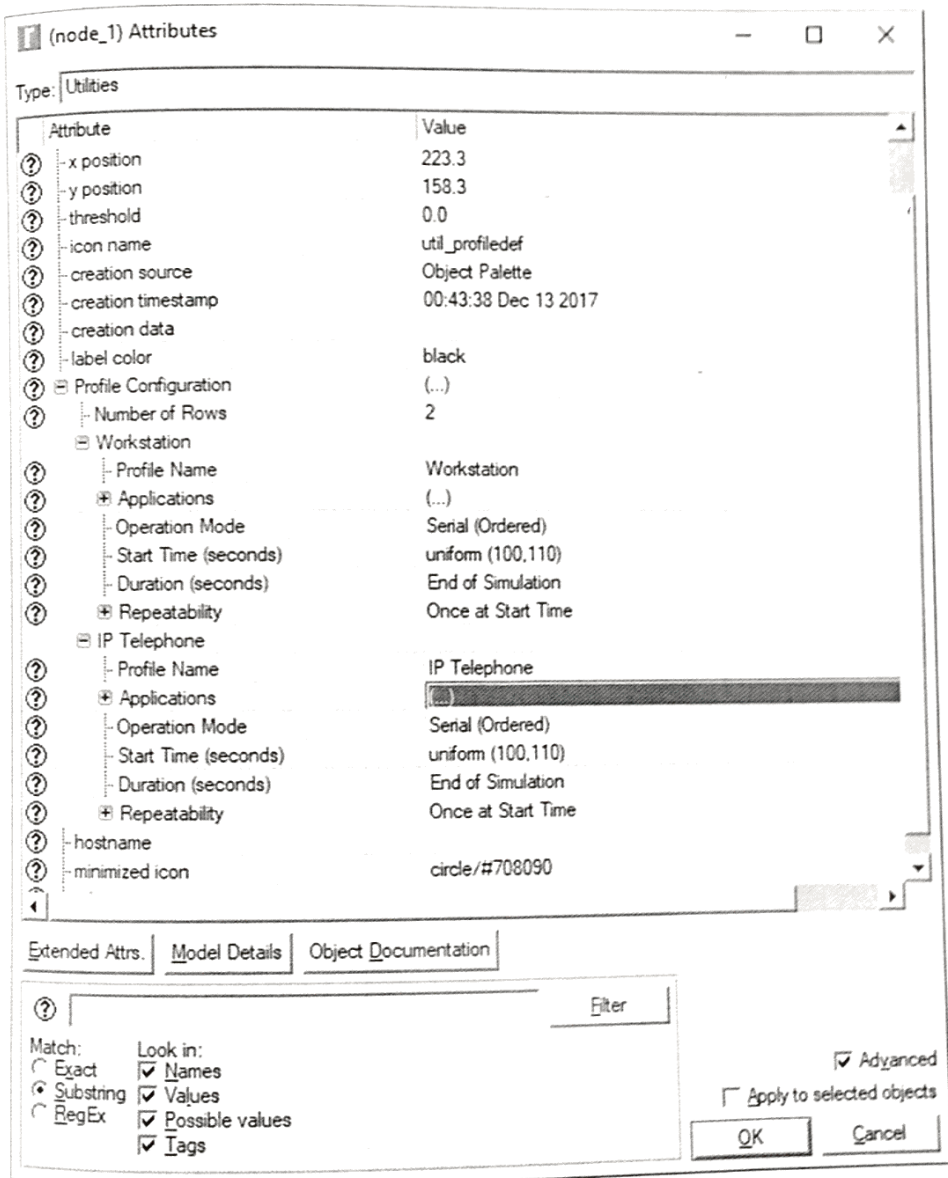


Рисунок 8. Настройка Profile Config

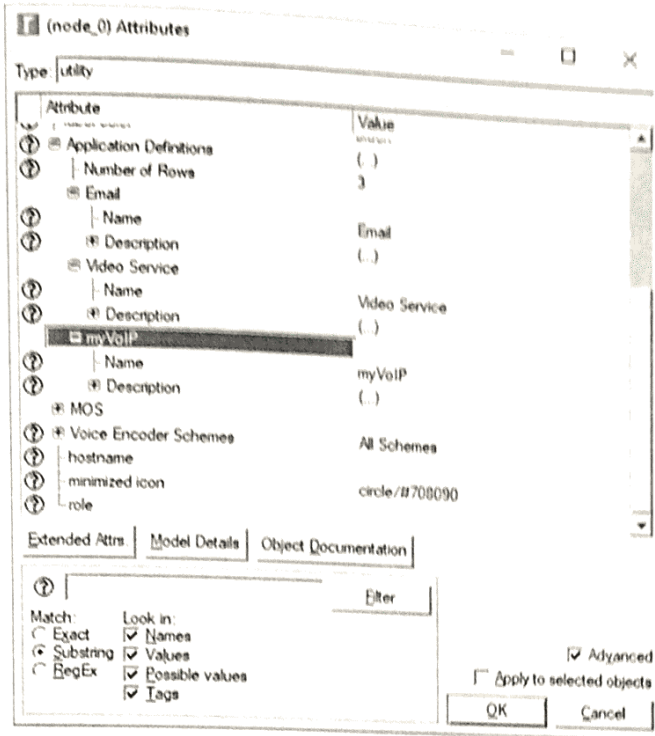


Рисунок 9. Настройка Application Config

Внутри каждого филиала в сети располагается 300 рабочих компьютеров и столько же IP-телефонов, главного коммутатора, сервера и маршрутизатора, показанных.

Добавили компонент 1000BaseX, который имитирует работу нескольких пользовательских рабочих станций. В свойствах «Attribute» в параметрах «LAN» устанавливаем количество активных устройств в размере 300 шт.

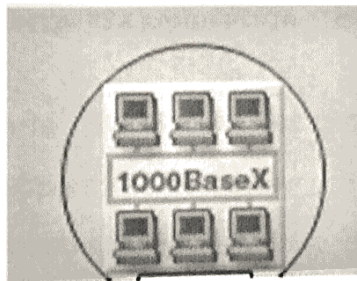


Рисунок 10. Компонент «1000BaseX»

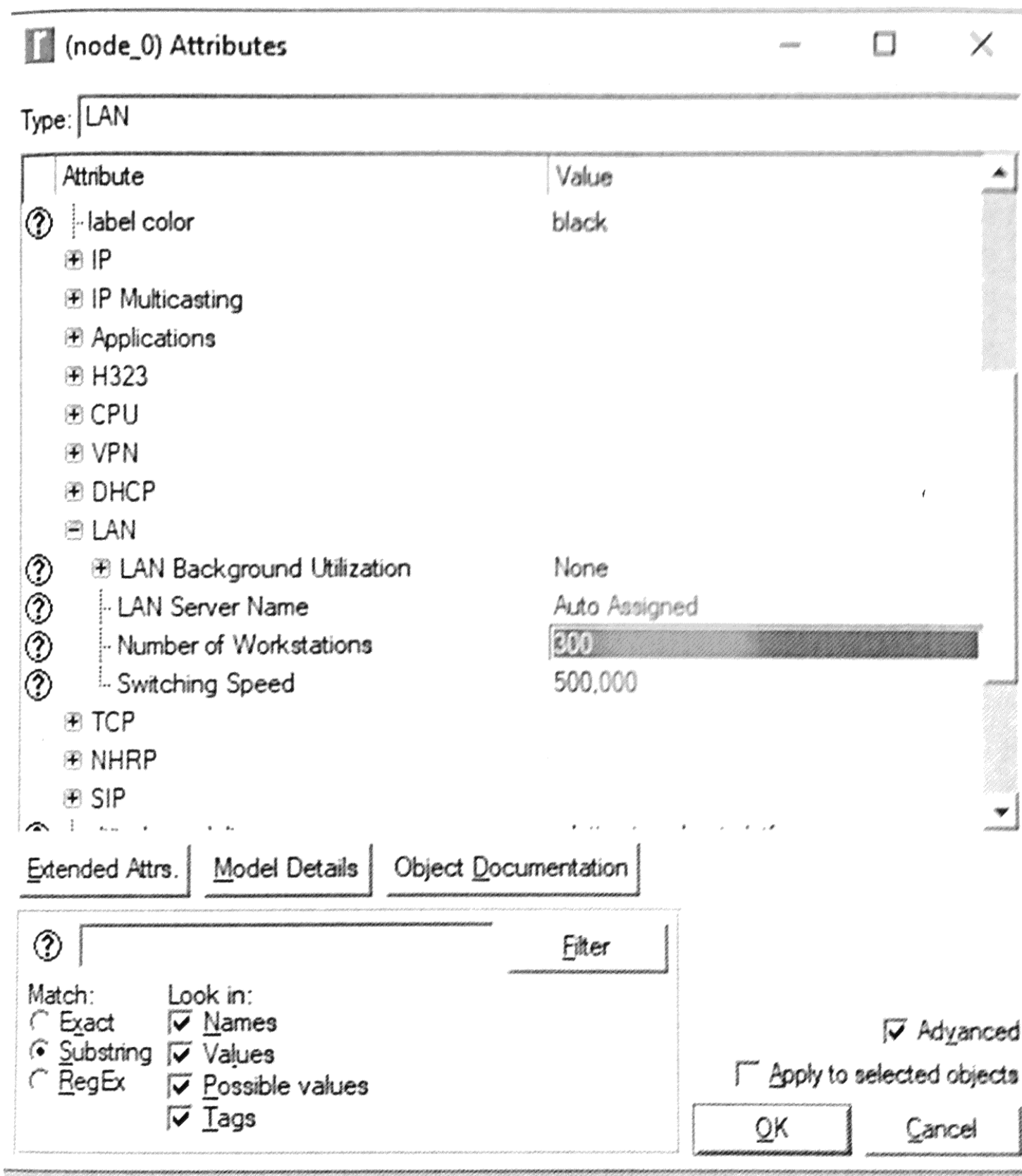


Рисунок 11. Настройка компонента «1000BaseX»

Для каждого компонента 1000BaseX настраиваем пользовательский профиль «Application: Supportes Profiles», в котором указываем предполагаемые к использованию сервисы.

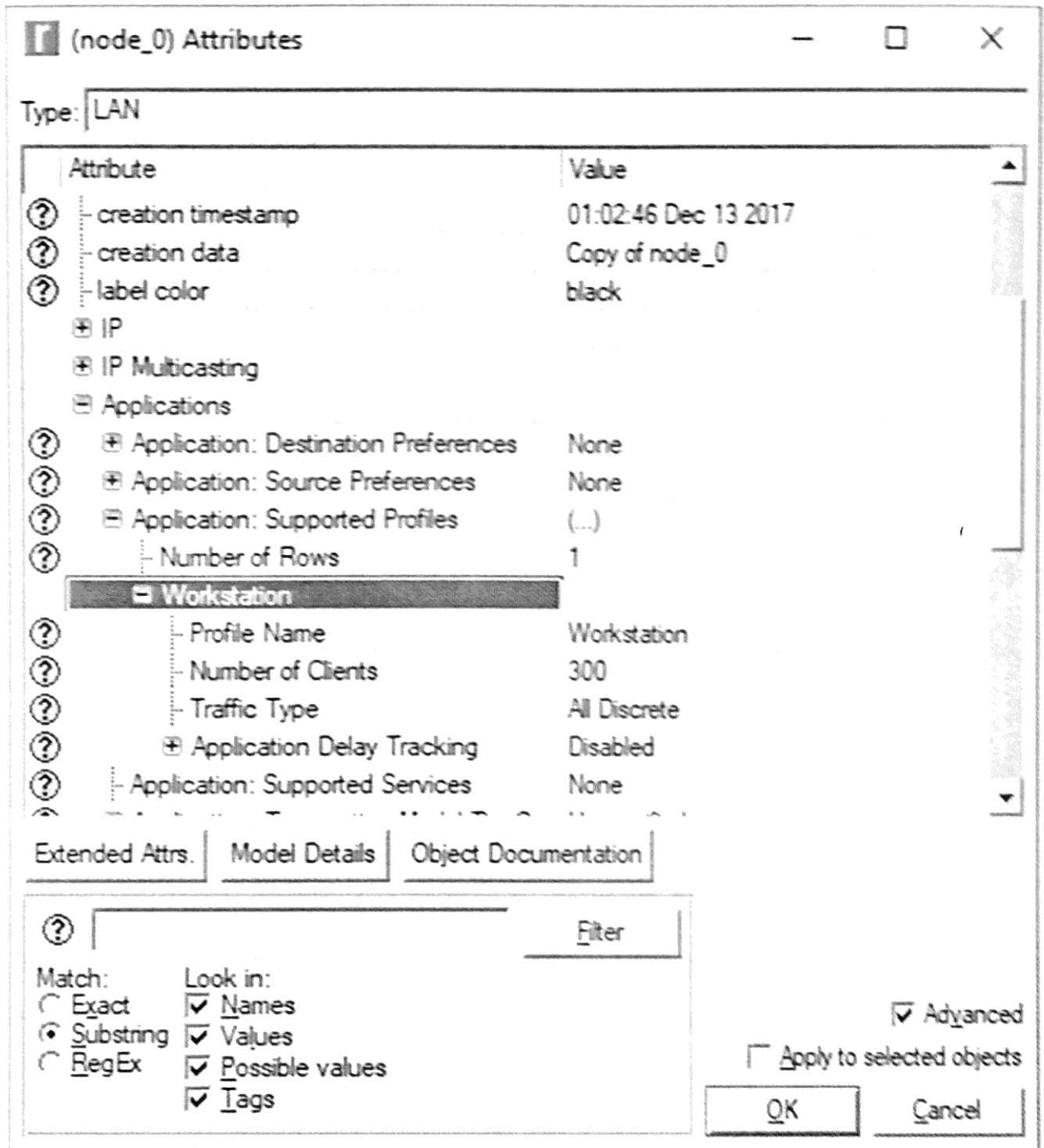


Рисунок 12. Настройка пользовательского профиля «1000BaseX»

Аналогичные настройки производим для модифицированного компонента «1000BaseX», имитирующий работу заданного количества телефонов. В свойствах «Attribute» в параметрах «LAN» устанавливаем количество активных устройств в размере 300 шт.

Type: LAN

Attribute	Value
IP Multicasting	
Applications	
Application: Destination Preferences	None
Application: Source Preferences	None
Application: Supported Profiles	(...)
Number of Rows	1
IP Telephone	
Profile Name	IP Telephone
Number of Clients	300
Traffic Type	All Discrete
Application Delay Tracking	Disabled
Application: Supported Services	None
Application: Transaction Model Tier C...	Unspecified
H323	
CPU	
VPN	

Extended Attrs. | **Model Details** | Object Documentation

Filter

Match: Exact Substring RegEx

Look in: Names Values Possible values Tags

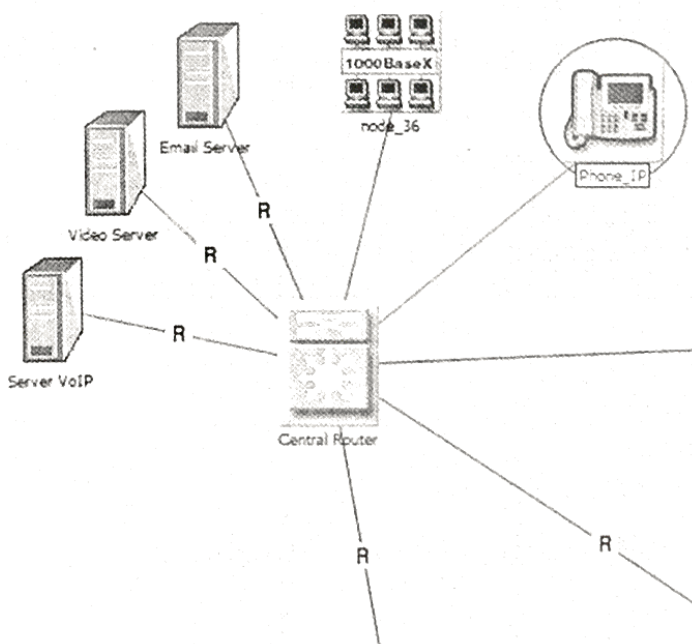
Advanced

Apply to selected objects

OK Cancel

Рисунок 13. Настройка компонента

получаем рабочую область, которая выглядит как на рис. 1.



Начало прогона модели

Выбрать пункт -> (DES -> Configure/Run Discrete Event Simulation). Это же окно можно открыть нажатием кнопки (Configure/Run Discrete Event Simulation DES). И ввести 0.5 в поле (Duration) для моделирования получаса сетевой активности.

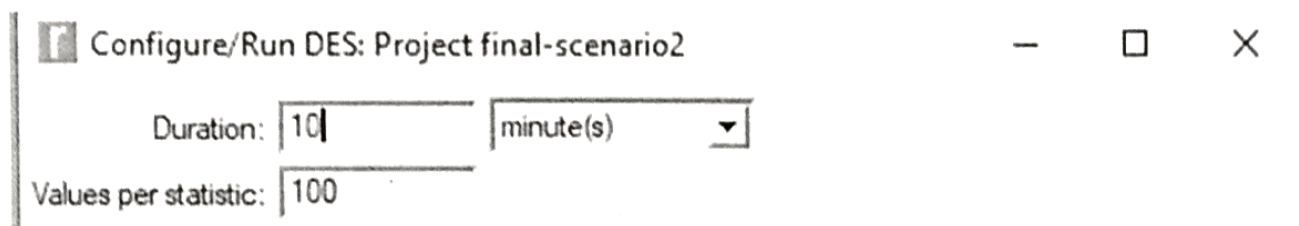


Рисунок 15. Задание длительности прогона

Во время прогона появится окно, показывающее ход его выполнения. Из этого рисунка видно, что 20 секунд реального времени было промоделировано за 2 минут модельного сетевого времени. Время моделирования всегда зависит от скорости компьютера.

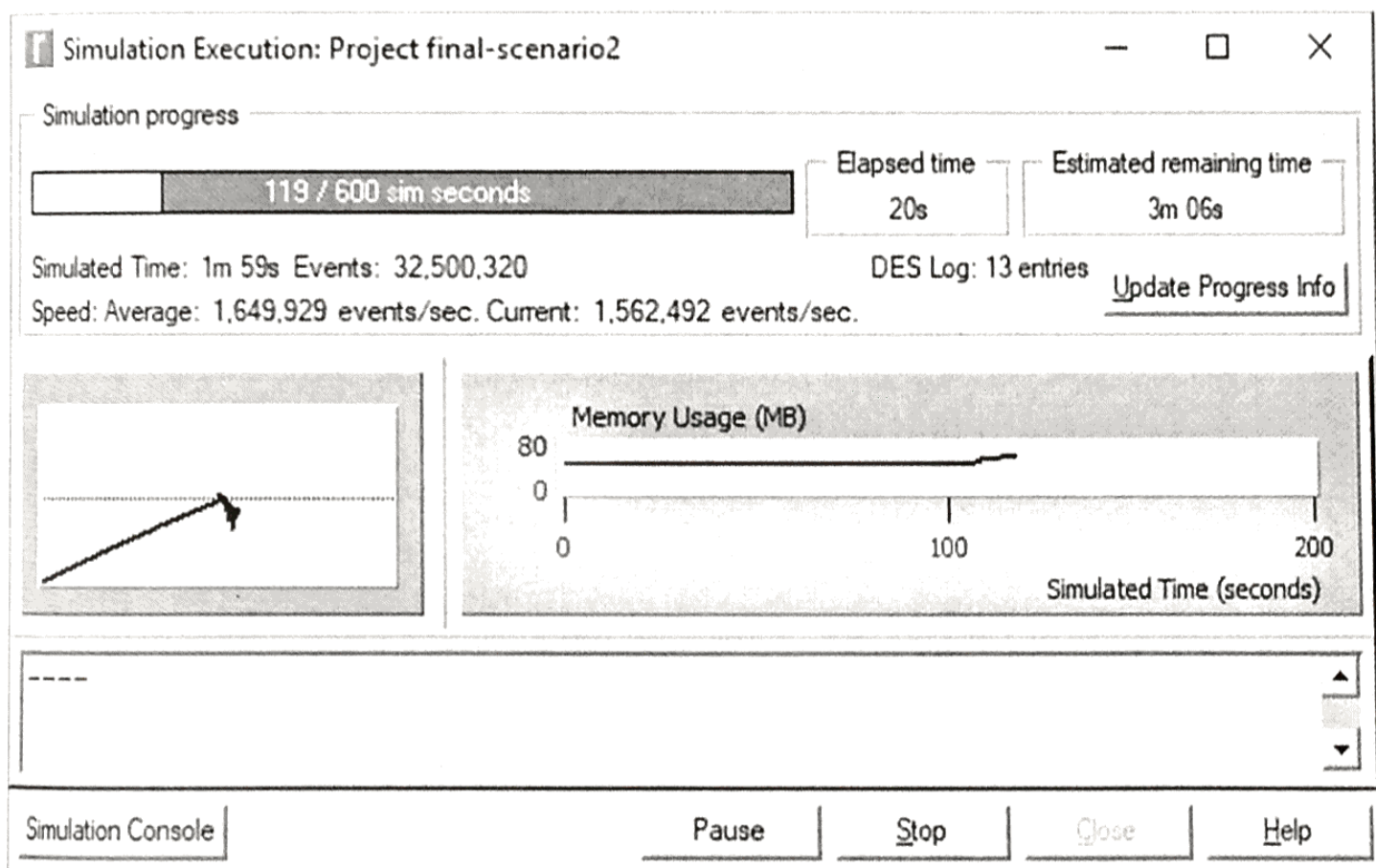


Рисунок 16. Окно выполнения прогона

Произведем анализ работы сервера «Video Service» установленного в серверной центральной офиса компании.

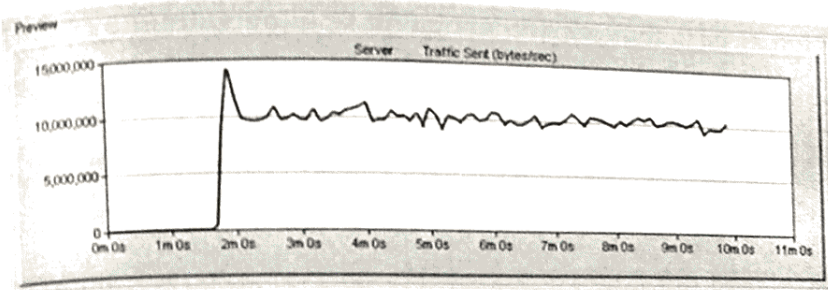


Рисунок 17. Окно результата эмуляции работы сервера «Video Service»

В результате эмуляции работы сервера видно, что исходящий трафик приблизительно равен 80 Мбит/с.

Еще одним из основных показателей качества VoIP, который при выходе из-под контроля может повлиять на качество передаваемого звука является джиттер.

Когда речь или данные разбиваются на пакеты для передачи через IP-сеть, пакеты часто прибывают в пункт назначения в различное время и в разной последовательности. В телекоммуникациях под джиттером часто понимается разброс минимального и максимального времени прохождения пакета IP от среднего времени прохождения.

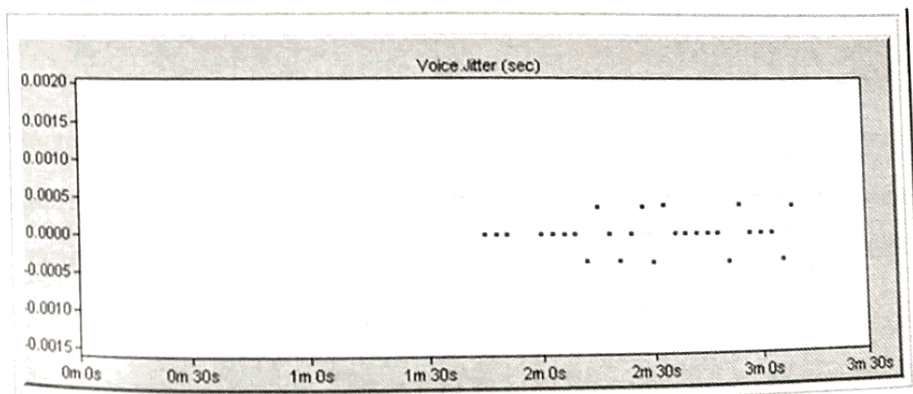


Рисунок 18. Окно результата параметра джиттера

В результате видим, разброс не превышает и держится в рамках 150 мс, что соответствует норме.

3.2 Анализ влияния полосы пропускания на качество установленного телефонного соединения по технологии VoIP

Для реализации возможности передачи голоса по IP - сети на сегодняшний день существует несколько различных протоколов сигнализации (SIP, SCCP, H.323, MGCP) и кодеков для кодирования речевой информации (G.711 A-law, G.711 μ -law, G.726, G.729, iLBC, SpeeX, GSM). Выбор конкретного протокола и кодека осуществляется исходя из предъявляемых требований к VoIP сети, технических возможностей IP – сети, на базе которой строится телефонная сеть, а также выделенного бюджета.

От протокола сигнализации зависит скорость и возможность установления соединения, переадресации вызова, создание конференций и т.д., а от параметров сети качество передачи голосовой информации. На качество передачи речевых данных также имеет непосредственное влияние выбранный кодек. Это связано с тем, что каждый кодек имеет свою требуемую полосу пропускания и соответственно, чем меньше эта полоса пропускания, тем хуже качество передаваемых голосовых сообщений.

В качестве параметров IP-сети, влияющих на качество передачи голосовых сообщений, выделяются такие как [18]: задержка пакетов, джиттер, потеря пакетов. Джиттер зависит от выбранного кодека, а задержки и потери возникают, как правило, вследствие недостаточности полосы пропускания.

Существует ряд работ [17, 18], в которых исследуется влияние параметров IP-сети на качество передачи голоса по IP-сети. Однако данные исследования имели общий характер и не конкретизировались под конкретный голосовой кодек. В работе [18] проанализирован протокол SIP, однако проведенный анализ не подкрепляется практическими исследованиями.

Поэтому актуальной является задача исследования влияния полосы пропускания на качество передачи голосовых сообщений в зависимости от выбранного кодека и практического исследования протокола сигнализации SIP.

3.2.1 Установление соединения в SIP протоколе

Протокол SIP (протокол установления сессии) начал разрабатываться в 1996 году организацией IETF MMUSIC Working Group [17] и в ноябре 2000 года SIP был утверждён как основной протокол архитектуры IMS (IP Multimedia Subsystem). Клиенты SIP традиционно используют порт 5060 TCP и UDP для соединения серверов и других элементов SIP. В основном SIP используется для установления и разъединения голосовых и видео - звонков.

Для осуществления исследований, связанных с установлением, проведением и окончанием SIP звонка использовалось специальное программное обеспечение для перехвата VoIP трафика и анализа протоколов сигнализации - Hammer Call Analyzer v1.11 компании Empirix [19]. Схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Она состоит из сервера IP-телефонии Asterisk, двух компьютеров, на которых установлены программные продукты 3CX Phone (программный телефон) и Hammer Call Analyzer. Программные телефоны подключались к серверу Asterisk для возможности осуществления звонков. При проведении звонка между компьютерами программа перехвата VoIP трафика анализировала все входящие и исходящие запросы с сервера, а также запросы между компьютерами.

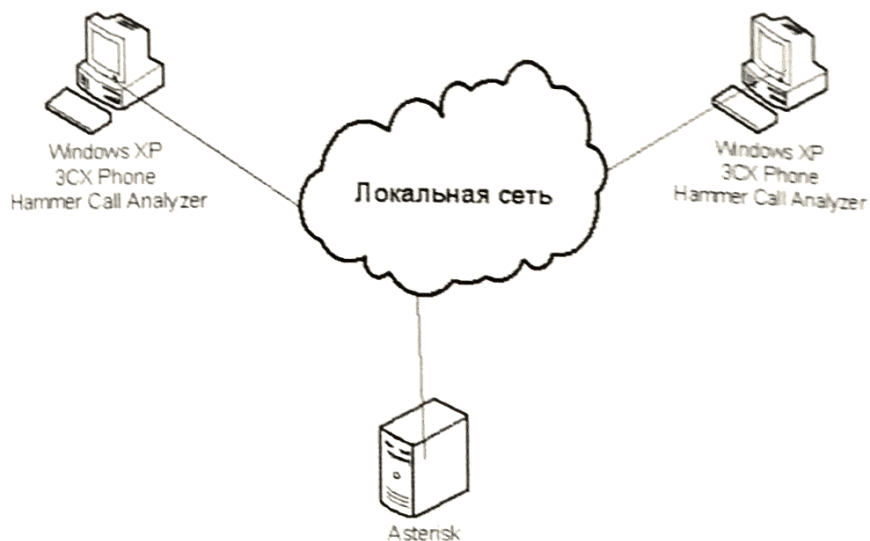


Рисунок 19. Схема экспериментальной установки

Как видно из рис. 2 и рис. 3 сеанс связи начинается с обработки запросов сигнального протокола. Так абонент с IP адресом 10.10.130.111 для связи с абонентом с IP адресом 10.10.130.105 должен сначала отправить запрос на установление сеанса на сервер IP телефонии 10.10.90.9 (SIP->INVITE), потом обменяются еще несколькими служебными запросами (SIP->407, SIP-> ACK, SIP->100, SIP->180, SIP->183) и только после этого будет установлено телефонное соединение.

Если сравнить рис.20 и рис.21, то можно увидеть, что количество запросов сигнального протокола в случае исходящего вызова больше, чем в случае входящего. Это объясняется тем, что вызываемый терминал выступает в роли пассивного элемента сеанса связи, т.к. получает только сообщение о входящем вызове.

Вызывающий терминал при инициации сеанса связи постоянно обменивается служебной информацией с сервером, например, такой как:

- INVITE - приглашение пользователя к сеансу связи;
- ACK - подтверждение приема окончательного ответа на запрос INVITE;

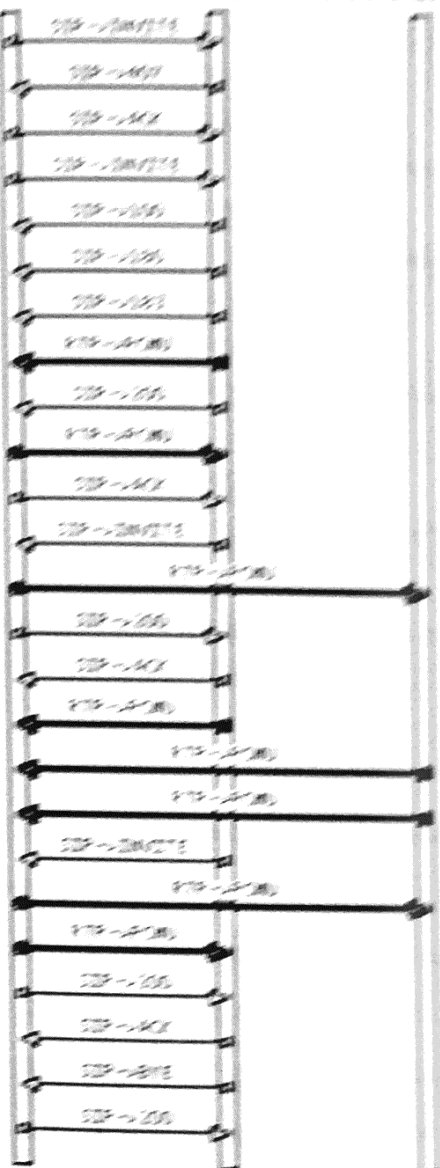
аутентификация на сервере - сервер,

адреса,

на базе программного обеспечения сервера,

2.

1. 201.222. 201.201.201.201
 2. 201.222. 201.201.201.201
 3. 201.222. 201.201.201.201



се установления сеанса связи в случае

долящего вызова

- 407 - необходимость аутентификации на прокси – сервере;
- 100 - запрос обрабатывается;
- 180 - местоположение вызываемого пользователя определено,

ВЫДАН СИГНАЛ О ВХОДЯЩЕМ ВЫЗОВЕ.

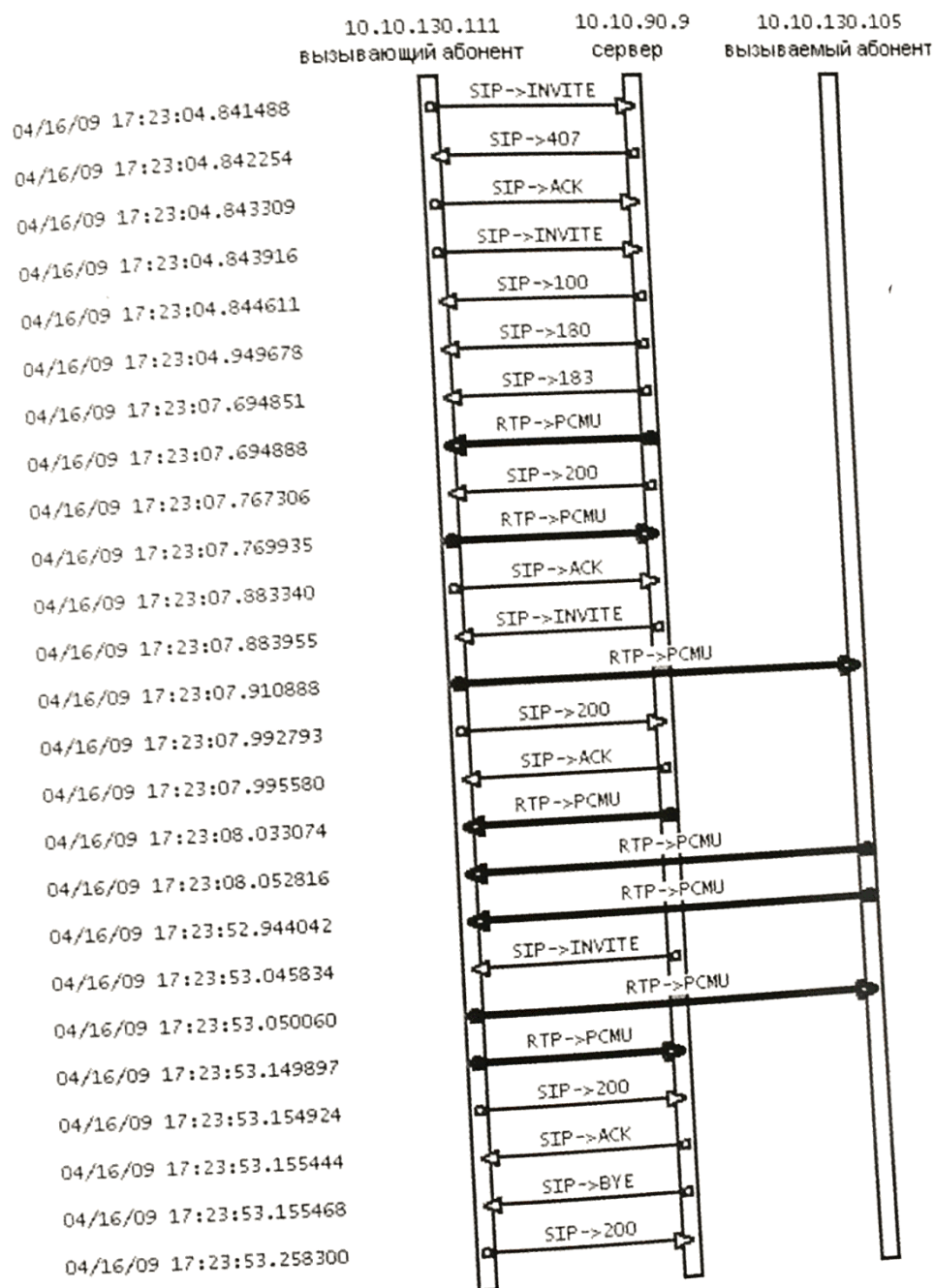


Рисунок 20. Процесс установления сеанса связи в случае исходящего вызова

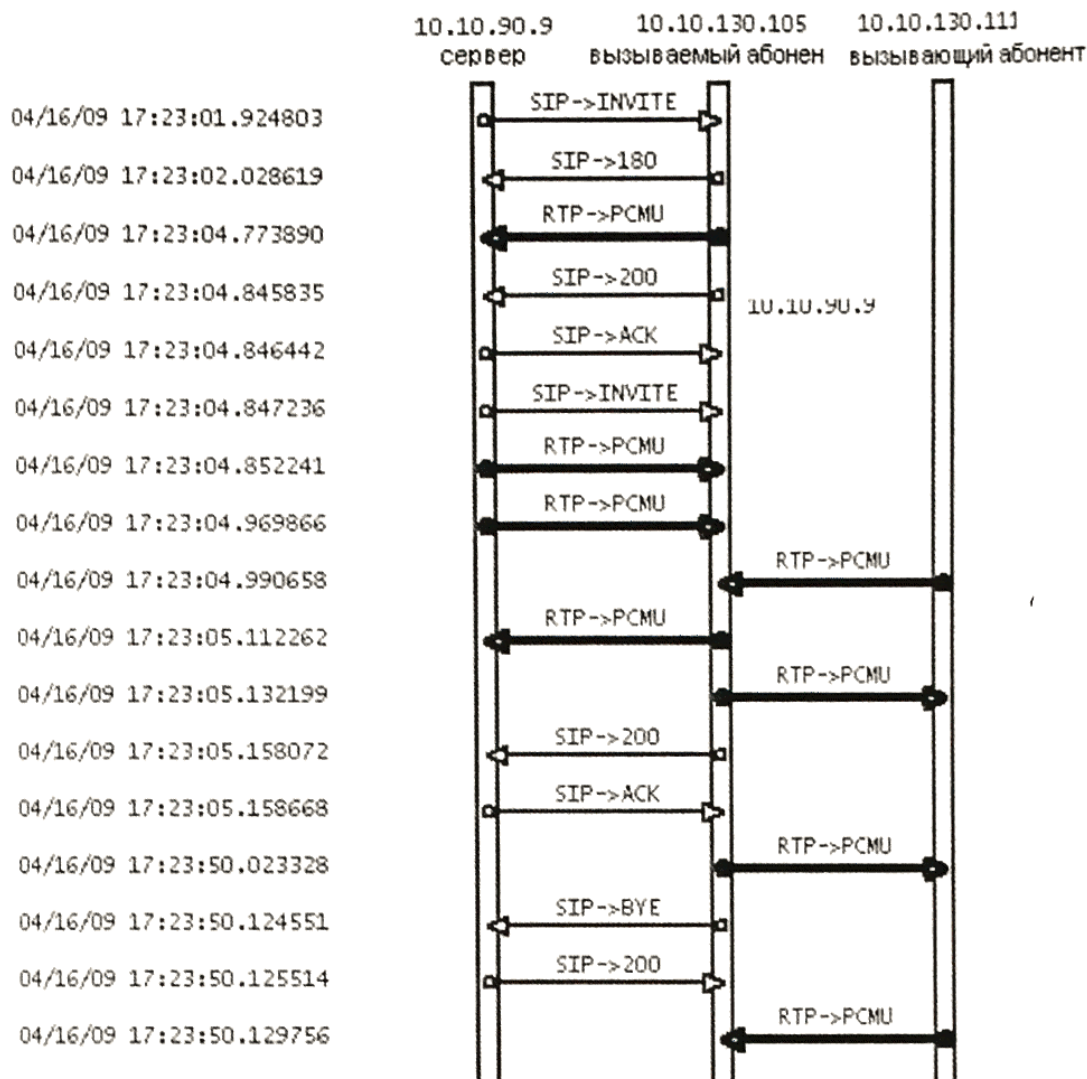


Рисунок 21. Процесс установления сеанса связи в случае входящего вызова

Таким образом, скорость установления соединения в первую очередь зависит от скорости взаимодействия вызывающего терминала и сервера, а во вторую - вызываемого терминала и сервера. Это можно подтвердить путем подсчета времени от первого запроса вызывающего абонента к серверу до отправки вызова к вызываемому абоненту (рисунок 21). Это время составляет 0,108 мс. Подсчитывать время взаимодействия между вызываемым терминалом и сервером нет смысла, т.к. к вызываемому терминалу приходит только сообщение о входящем вызове. Данное утверждение справедливо в том случае, когда каналы связи «вызывающий абонент – сервер» и «сервер – вызываемый абонент» одинаковы по своим показателям качества.

Таким образом, время установления соединения зависит от следующих параметров:

$$T = f(t_1; t_2; t_3; t_4), \quad (1)$$

где

1 t - время передачи информации от вызывающего абонента к серверу,

2 t - время передачи информации от вызываемого абонента к серверу,

3 t - время обработки запроса сервером от вызывающего абонента,

4 t - время обработки запроса сервером от вызываемого абонента.

Можно сделать вывод о том, что время установления соединения не является постоянной величиной, а зависит от канала связи и вычислительных возможностей терминала и сервера.

После установления связи между вызываемым и вызывающим терминалами происходит кодирование передаваемой голосовой информации.

Это осуществляется с помощью специальных голосовых кодеков. Именно качество кодирования голоса и его передача определяет качество всей сети IP - телефонии в целом.

3.2.2 Зависимость качества связи от полосы пропускания

Качество передаваемого голоса оценивается двумя взаимосвязанными факторами MOS (Mean Opinion Score) и R [17]. MOS включает в себя показатель воспринимаемого качества звука по балльной шкале от 1 до 5.

Изначально MOS представлял собой среднее арифметическое всех оценок качества, данных людьми, которые прослушивали тестовый звонок и давали ему свою оценку. На сегодняшний день для оценки качества звукового потока человеческого участия не требуется. Современный инструментарий оценки качества VoIP включает в себя искусственные программные модели для расчета MOS. Расчет фактора R осуществляется

согласно E-model стандарта ITU G 107 [5]. Значение MOS фактора рассчитывается исходя из значений R фактора.

В таблице 4 [2] приведена удовлетворенность пользователей качеством телефонной связью в зависимости от значений MOS и R факторов.

Таблица 4. Удовлетворенность пользователей качеством телефонной связи

	R – фактор	MOS
Очень удовлетворен	90 - 100	4,34-5,00
Удовлетворен	80 - 90	4,03 – 4,34
Некоторые пользователи не удовлетворены	70 – 80	3,60 – 4,03
Большинство пользователей не удовлетворены	60 – 70	3,10 – 3,60
Почти все пользователи не удовлетворены	50 - 60	2,58 – 3,10
Неприемлемо	0 – 50	1,00 – 2,58

Ниже приведен план эксперимента для исследования влияния полосы пропускания на качество передаваемого голоса для наиболее часто используемых кодеков, таких как: G.711, SpeeX, GSM, iLBC.

Отличием является установленное дополнительное оборудование на компьютере В – это Net Limiter 2 Pro, для ограничения полосы пропускания конкретного приложения (программы) и Media Player для проигрывания заранее записанной речи.

Эксперимент осуществляется следующим образом:

1. На сервере устанавливается требуемый кодек для анализа.
2. На компьютере В включается программа Net Limiter 2 Pro для просмотра и ограничения сетевого трафика для конкретного приложения.

3. Устанавливается телефонная связь между компьютерами.
4. На компьютере А включается Hammer Call Analyzer.
5. С компьютера В на компьютер А начинает передаваться голосовой трафик длительностью 1 минута.
6. По истечении 1 минуты получаем показатели качества передачи голоса от программы Hammer Call Analyzer.

Повторяются п.2 – 6, однако полоса пропускания уменьшается на 5% от той, что была в п.2. В каждом последующем повторении эксперимента полоса пропускания уменьшается на 5% от предыдущего значения и это происходит до тех пор, пока передача голоса становится невозможной.

Первый эксперимент был поставлен для кодека G.711, который имеет два алгоритма кодирования: A-law и μ -law [17]. В табл. 5 приведены результаты проведения эксперимента, а на рис. 21 показана зависимость MOS фактора от полосы пропускания.

Таблица 5. Результаты эксперимента для кодека G.711

Первоначальная полоса пропускания (кбит/с)	Процент уменьшения (%)	Полученная полоса пропускания (кбит/с)	MOS - фактор		R - фактор	
			A-law	μ -law	A-law	μ -law
84	0	84	4,17	4,17	92	92
	5	79,8	3,52	3,01	72	61
	15	75,6	3,06	2,21	62	45
	20	71,4	2,11	2,03	43	43
	25	67,2	1,75	1,97	35	40
	30	63	1,5	1,29	32	23
	35	58,8	1,35	1,2	25	21
	40	54,6	1,17	1,17	19	19
	45	50,4	1,027	1,01	11	10

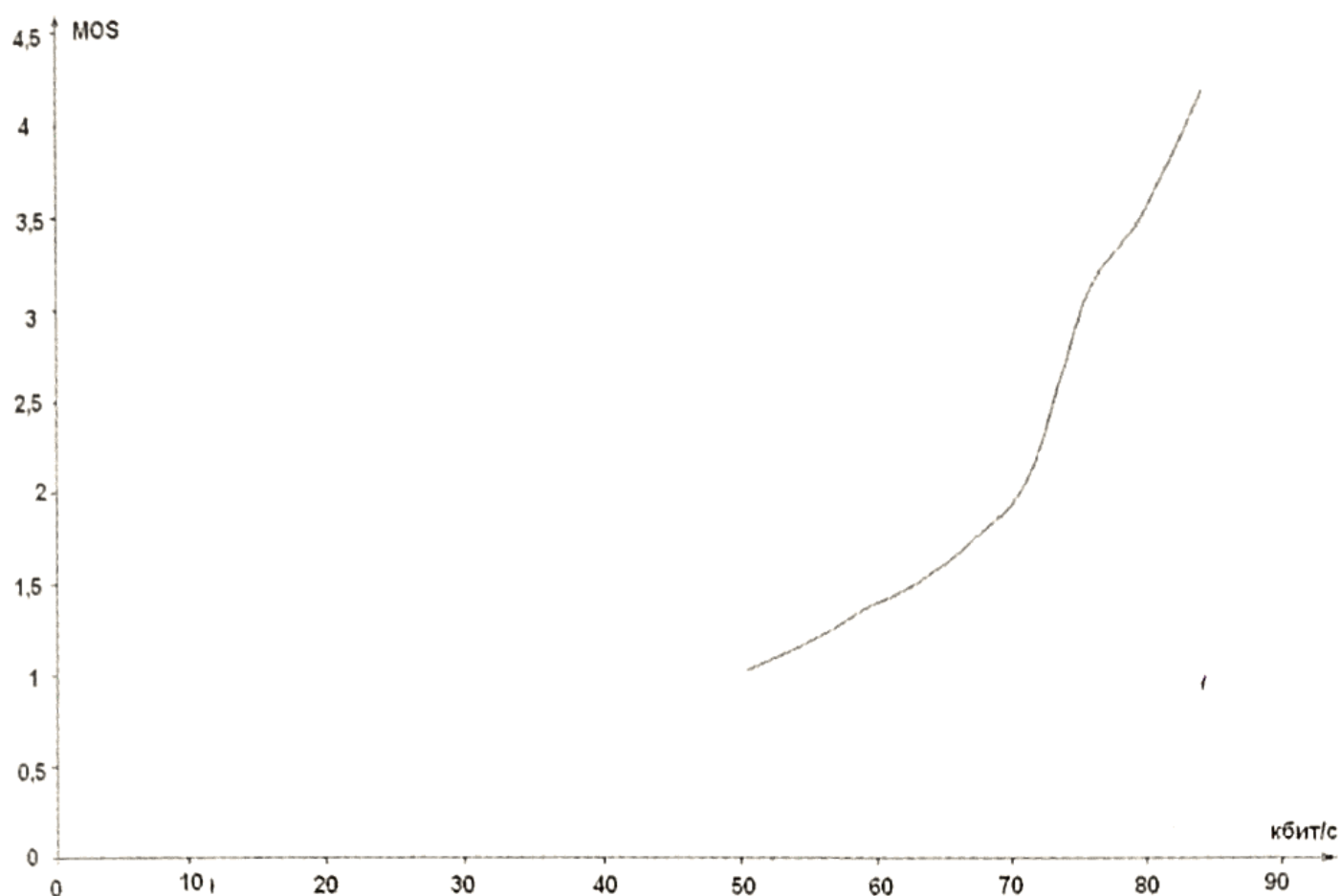


Рисунок 21. График зависимости A-law кодека G.711

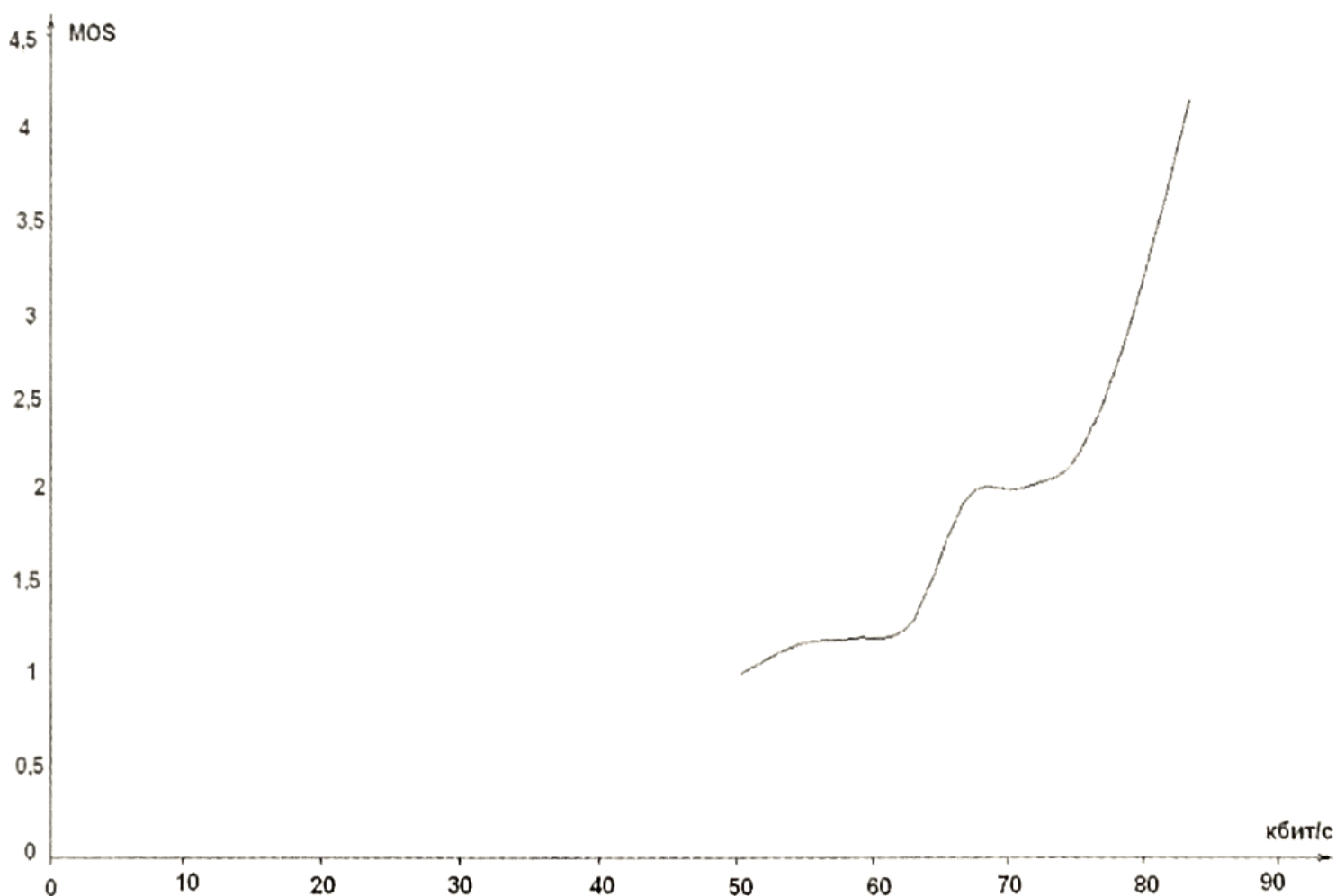


Рисунок 22. График зависимости μ-law кодека G.711

Как видно из полученных результатов, если полосу пропускания необходимую для кодека не ограничивать, то качество передаваемого голоса согласно значениям, MOS фактора находится в пределах «Удовлетворен». Однако малейшее уменьшение полосы пропускания приводит к ухудшению качества голоса. Из таблицы 5 видно, что если полоса пропускания будет ограничена на 20%, то качество связи остается приемлемым, а более 20 – невозможным. Это связано с тем, что кодек G.711 требует довольно большую

полосу для кодирования голоса – 84 кбит/с и поэтому небольшие ограничения не повлияют на качество передачи.

Из табл. 5 видно, что алгоритм μ -law более критичен к задержкам, т.к. значение MOS фактора стремительней уменьшается с уменьшением полосы пропускания. Это связано с тем, что A-law обеспечивает больший динамический диапазон по сравнению с μ -law. В результате получаем менее искаженный звук из-за меньших ошибок квантования аналогового сигнала.

На рисунке 24 приведено искажение переданного голосового сигнала для 0% 15% и 40% уменьшения полосы пропускания соответственно.

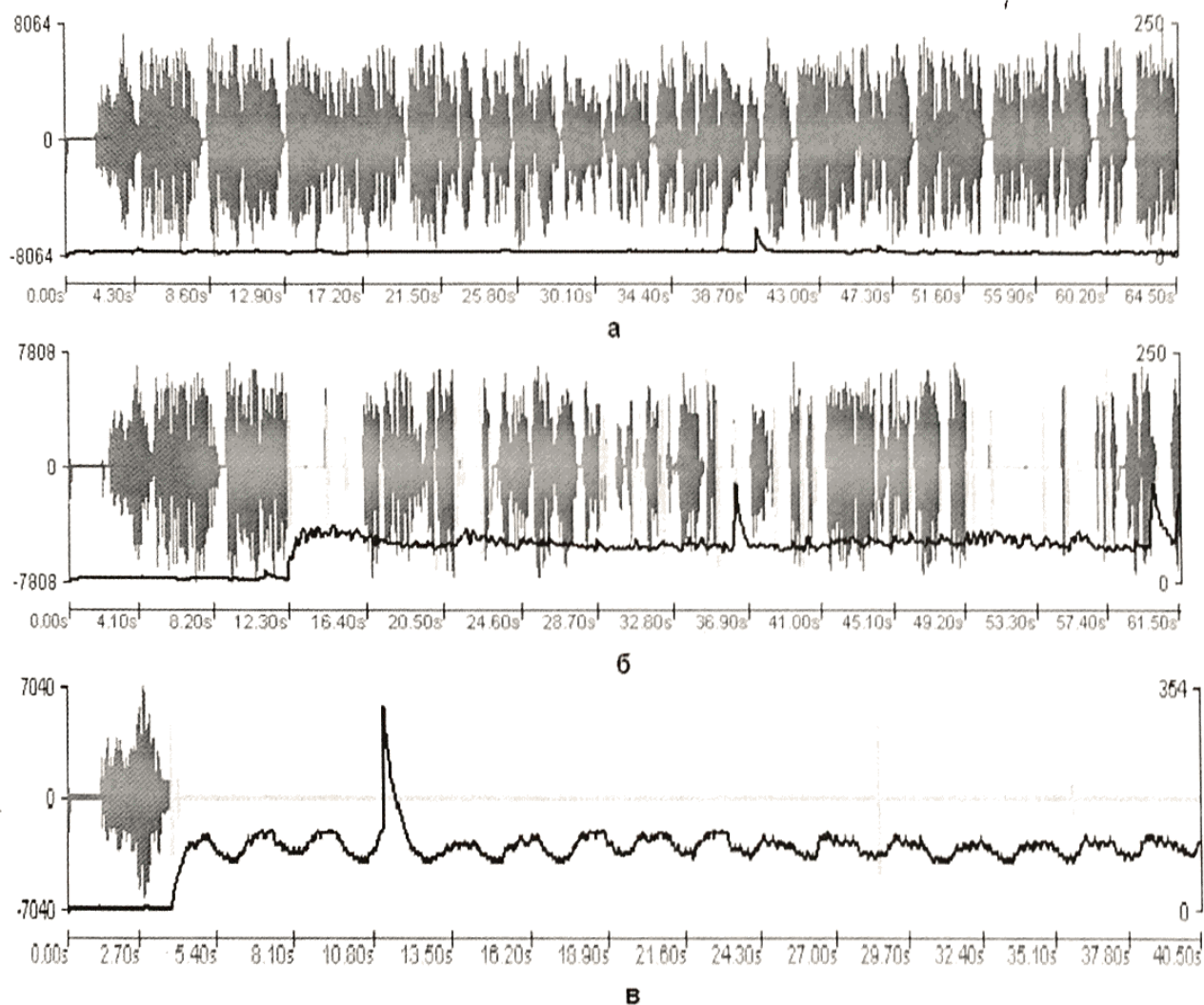


Рисунок 25. Искажение речевого сигнала при ограничении полосы пропускания. а) неискаженный сигнал; б) искаженный сигнал; в) задержка

Как видно из рис.25 (в) речевой сигнал отсутствует вообще, т.к. сильно была ограничена полоса пропускания, что в свою очередь вызвало увеличение значений задержки и количества потерянных пакетов.

Голосовые кодеки iLBC, SpeeX и GSM имеют приблизительно одинаковую необходимую полосу пропускания, которая составляет 24 кбит/с. Для этих

кодеков был произведены эксперименты аналогичные кодеку G.711.

Результаты проведенных экспериментов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты эксперимента для кодеков iLBC, SpeeX, GSM

Первоначальная полоса пропускания (кбит/с)			Процент уменьшения (%)			Полученная полоса пропускания (кбит/с)			MOS – фактор			R - фактор		
iLB	Spee	GS	iLB	Spee	GS	iLB	Spee	GS	iLB	Spee	GS	iLB	Spee	GS
С	X	M	С	X	M	С	X	M	С	X	M	С	X	M
24	24	24	0	0	0	24	24	24	4,2	4,1	3,7	86,2	81,2	73,2
			5	5	5	22,8	22,8	22,8	3,5	3,1	2,8	64	59	47
			10	10	10	21,6	21,6	21,6	2,1	1,9	1,62	38	37	32

Из полученных результатов видно, что кодеки iLBC, Speex и GSM имеют меньшее значения MOS фактора и более критичны к ограничению полосы пропускания, чем кодек G.711. Этот факт объясняется тем, что данные кодеки для более сильного сжатия голоса используют более сложные алгоритмы кодирования. Эти кодеки создавались для передачи голоса по IP-сетям в условиях малой пропускной способности канала связи, а также в случаях большого количества пользователей IP телефонной сети.

Рассмотренные кодеки помимо критичности к величине полосы пропускания имеют еще один недостаток. Так как они используют сложные алгоритмы кодирования, то требуют большей вычислительной мощности серверов. Поэтому при использовании этих кодеков необходимо учитывать производительность серверов и количество абонентов, иначе неправильный расчет может привести к зависанию оборудования и неработоспособности телефонной сети.

Выводы к главе

Проведенное исследование влияния полосы пропускания на качество передачи голоса по VoIP сети, построенной на основе протокола сигнализации SIP с использованием различных кодеков, показало, что для рассматриваемых голосовых кодеков уменьшение полосы пропускания является критичным, так как из-за этого ухудшается качество передачи речи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За время проектирования была проведена следующая работа:

- Произведен анализ технологий VoIP и особенности внедрения
- Проанализирован рынок IP телефонии. Обзоры устройств необходимые для организации IP телефонии.
- Разработанная имитационная модель позволяет моделировать поведение телекоммуникационной сети при различных сценариях для оценки пропускной способности.
- При изучении были выделены основные характеристики экономического обоснования внедрения данного проекта: быстрая окупаемость капитальных затрат. Это связано, прежде всего, с постепенным снижением цены на оборудование для IP-телефонии и с появлением программного обеспечения, которое значительно дешевле, чем аналогичное ПО для обычных телефонных станций.
- Исследование влияния полосы пропускания на качество передачи голоса по VoIPсети, построенной на основе протокола сигнализации SIPс использованием различных кодеков, показало, что для рассматриваемых голосовых кодеков уменьшение полосы пропускания является критичным, так как из-за этого ухудшается качество передачи речи и в некоторых случаях передача становится полностью невозможной
- Также был выведен общий ряд рекомендаций, который поможет при проектировании IP-сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов А.Е., Пинчук А. В., Суховицкий А.Л. Построение сетей IP-телефонии / Компьютерная телефония.- 2000.
2. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Малахов С.В., Ушаков Ю.А. Проектирование и моделирование сетей связи в системе Riverbed Modeler. Лабораторный практикум. – Самара: 2016. – 260 с..
3. Сайт компании Dlink [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.dlink.ru (дата обращения 10.05.2017)
4. Гольштейн Б.С., Пинчук А.В. IP-телефония. Научно-техническое издание. М.: Радио и связь, 2003. – 336 с.
5. Интернет-магазин VoIP оборудования [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.voip-shop.ru> (дата обращения 10.05.2017)
6. Дэвидсон Д., Питерс Д., Основы передачи голосовых данных по сетям IP. Учебник для вузов. 2-изд. – СПб: «Питер», 2007. – 374
7. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-изд. – СПб: «Питер», 2006. – 958 с.
8. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы. Стандарты, компоненты, проектирование, монтаж и техническая эксплуатация/– М.: КомпьютерПресс, 1999. – 488 с.
9. Обзор VoIP [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.voipoffice.ru>
10. Кашин, М. М. Исследование свойств сигнального трафика протокола SIP / М. М. Кашин, А. В. Росляков // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2009. – №5. – С. 26-29
11. Hicham Touil, Youssef Fakhri. A Fuzzy-based QoS Maximization Protocol for WiFi Multimedia (IEEE 802.11e) Ad hoc Networks//International

Journal of Communication Networks and Information Security, 2014. Vol. 6, No. 3, 217-225.

12. Шахназаров, А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования [Текст]/ А.Г. Шахназаров и др. – М.: Экономика, 2000. – 421 с.

13. Корпоративные решения для пакетной IP-телефонии SipX [Электронный ресурс] - Режим доступа: www.sipfoundry.org

14. Уолрэнд, Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети/ Дж. Уолрэнд и др. - М.: Постмаркет, 2005. - 476 с.

15. Бондаренко М.В., Слюсар В.И. Влияние джиттера АЦП на точность пеленгации цифровыми антенными решетками.// Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 2011. - № 8. – С. 41 - 49.

16. Riverbed Modeler [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.riverbed.com/ru/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>.

17. Гольдштейн В.С. IP-Телефония/В.С.Гольдштейн, А.В.Пинчук, А.Л. Суховицкий; под. ред. Гольдштейна В.С.—М.: Радио и связь, 2001. — 336с.

18. Росляков А.В. IP –телефония/ А.В. Росляков, М.Ю.Самсонов, И.В.Шибасе;под. ред. Рослякова А.В. –М.: Эко-Трендз, 2003. –252 с.

19. Carrier-Class VoIP and IMS Hammer CallAnalyzer [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.empirix.com/products-services/v-hca.asp>

20. Баскаков И.В. IP-телефония в компьютерных сетях: Учебное пособие / И.В. Баскаков, А.В. Пролетарский, С.А. Мельников, Р.А. Федотов — М.:Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ.Лаборатория знаний, 2008. — 184 с.