

Б.С. Гольдштейн, А.В. Пинчук, А.Л. Суховицкий

ipR

ТЕЛЕФОНИЯ

Б.С. Гольдштейн, А.В. Пинчук, А.Л. Суховицкий

# **IP-ТЕЛЕФОНИЯ**

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2014

УДК 621.395.34

Г63

ББК 32.881

**Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л.**

IP-Телефония. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. —  
336 с.: ил.

Г63 **ISBN 978-5-9775-3384-3**

Успехи IP-телефонии являются сегодня наиболее наглядным доказательством необходимости и неизбежности конвергенции сетей и услуг связи. Книга посвящена этой новой и перспективной технологии. Рассматриваются системно-сетевые аспекты IP-телефонии, методы и алгоритмы кодирования речевой информации, основные подходы и протоколы H.323, SIP, MGCP, MEGACO, вопросы качества обслуживания QoS, аспекты реализации оборудования IP-телефонии и его тестирования.

Для инженеров, программистов, менеджеров и специалистов, занятых разработкой и эксплуатацией систем и средств IP-телефонии. Для студентов и аспирантов соответствующих специальностей. Для всех, кого интересуют современные технологии телекоммуникаций.

*Научно-техническое издание*

**ISBN 978-5-9775-3384-3**

© Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л., 2001, 2014

Компьютерная вёрстка *М.А. Фрост*

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Конвергенция сетей связи</b> .....	<b>13</b>
1.1 Пропорции в телекоммуникациях .....	13
1.2 Перспективы развития ТфОП и IP-сетей .....	15
1.3 Транспортные технологии пакетной коммутации .....	19
1.4 Уровни архитектуры IP-телефонии .....	21
1.5 Различные подходы к построению сетей IP-телефонии .....	23
1.5.1 Построение сети по рекомендации H.323 .....	23
1.5.2 Сеть на базе протокола SIP .....	30
1.5.3 Сеть на базе MGCP и MEGACO .....	35
1.5.4 Сравнение подходов к построению сетей IP-телефонии ...	41
<b>2 Сетевые аспекты IP-телефонии</b> .....	<b>45</b>
2.1 Три основных сценария IP-телефонии .....	45
2.2 Проект TIPHON .....	54
2.3 Установление телефонного соединения в IP-сети .....	62
2.4 Эффективность IP-телефонии .....	64
<b>3 Передача речи по IP-сеть</b> .....	<b>67</b>
3.1 Особенности передачи речевой информации по IP-сетям .....	67
3.1.1 Задержки .....	67
3.1.2 Эхо .....	71
3.1.3 Устройства ограничения эффектов эха .....	72
3.2 Принципы кодирования речи .....	74
3.2.1 Кодирование формы сигнала .....	76
3.2.2 Кодеры источника информации (вокодеры) и гибридные алгоритмы .....	78
3.2.3 Цифровые процессоры обработки сигналов для речевых кодеков .....	81
3.2.4 Основные алгоритмы кодирования речи, используемые в IP телефонии .....	82
3.3 Кодеки, стандартизованные ITU-T .....	86
3.3.1 Кодек G.711 .....	86
3.3.2 Кодек G.723.1 .....	86
3.3.3 Кодек G.726 .....	87

3.3.4	Кодек G.728 .....	87
3.3.5	Кодек G.729 .....	87
3.4	Алгоритмы кодирования ETSI .....	88
3.5	Передача сигналов DTMF .....	88
3.6	Передача факсимильной информации .....	90
3.7	О реализации «стандартных» алгоритмов .....	92
<b>4</b>	<b>Протоколы сети интернет .....</b>	<b>95</b>
4.1	Интернет ab ovo .....	95
4.2	Стандарты в сфере Интернет .....	99
4.3	Адресация .....	100
4.4	Уровни архитектуры Интернет .....	104
4.5	Протокол IP версии 4 .....	106
4.6	Протокол IP версии 6 .....	109
4.7	Протокол TCP .....	115
4.7.1	Потоки, стек протоколов, порты и мультиплексирование .....	116
4.7.2	Установление TCP-соединения и передача данных .....	117
4.7.3	Механизмы обеспечения достоверности .....	118
4.7.4	Механизм управления потоком данных .....	119
4.7.5	Состав и назначение полей заголовка .....	120
4.8	Протокол UDP .....	121
4.9	Требования к современным IP-сетям .....	122
4.10	Протоколы RTP и RTCP .....	125
4.11	Многоадресная рассылка .....	128
<b>5</b>	<b>Архитектура H.323 .....</b>	<b>131</b>
5.1	Стандарты мультимедийной связи .....	131
5.2	Архитектура систем видеотелефонии в узкополосных ISDN ...	134
5.3	Мультимедийная связь в IP-сетях .....	137
5.4	Терминал H.323 .....	139
5.5	Шлюз H.323 .....	141
5.6	Привратник .....	142

5.7 Устройство управления конференциями .....	144
5.8 Реализация оборудования H.323 .....	146
<b>6 Сигнализация H.323 .....</b>	<b>153</b>
6.1 Семейство протоколов H.323 .....	153
6.2 Протокол RAS .....	154
6.2.1 Обнаружение привратника .....	155
6.2.2 Регистрация оконечного оборудования .....	156
6.2.3 Доступ к сетевым ресурсам .....	159
6.2.4 Определение местоположения оборудования в сети .....	160
6.2.5 Изменение полосы пропускания .....	161
6.2.6 Опрос текущего состояния оборудования .....	162
6.2.7 Освобождение полосы пропускания .....	163
6.2.8 Метка доступа .....	163
6.3 Сигнальный канал H.225.0 .....	167
6.4 Управляющий канал H.245 .....	172
6.4.1 Определение ведущего и ведомого .....	173
6.4.2 Обмен данными о функциональных возможностях .....	174
6.4.3 Открытие и закрытие логических каналов .....	177
6.4.4 Выбор режима обработки информации .....	179
6.5 Алгоритмы установления, поддержания и разрушения соединения. ....	183
6.5.1 Базовое соединение с участием привратника .....	183
6.5.2 Базовое соединение без участия привратника .....	187
6.5.3 Туннелирование управляющих сообщений .....	189
6.5.4 Процедура быстрого установления соединения .....	189
6.5.5 Установление соединения с участием шлюза .....	191
<b>7 Протокол инициирования сеансов связи – SIP .....</b>	<b>193</b>
7.1 Принципы протокола SIP .....	193
7.2 Интеграция протокола SIP с IP-сетями .....	195
7.3 Адресация .....	197
7.4 Архитектура сети SIP .....	198
7.4.1 Терминал .....	198
7.4.2 Прокси-сервер .....	199
7.4.3 Сервер переадресации .....	200
7.4.4 Сервер определения местоположения пользователей ....	200
7.4.5 Пример SIP-сети .....	201
7.5 Сообщения протокола SIP .....	202

7.5.1	Структура сообщений .....	202
7.5.2	Заголовки сообщений .....	204
7.5.3	Запросы .....	208
7.5.4	Ответы на запросы .....	211
7.6	Алгоритмы установления соединения .....	217
7.6.1	Установление соединения с участием сервера переадресации .....	217
7.6.2	Установление соединения с участием прокси-сервера ...	218
7.7	Реализация дополнительных услуг на базе протокола SIP .....	220
7.8	Сравнительный анализ H.323 и SIP .....	222
<b>8</b>	<b>Протокол управления шлюзами MGCP .....</b>	<b>229</b>
8.1	Принцип декомпозиции шлюза .....	229
8.2	Классификация шлюзов .....	232
8.3	Модель организации связи .....	233
8.4	Команды протокола MGCP .....	235
8.5	Структура команд .....	243
8.6	Структура ответов на команды .....	247
8.7	Описания сеансов связи .....	249
8.8	Установление, изменение и разрушение соединений .....	251
8.9	Реализация оборудования с поддержкой протокола MGCP ....	254
8.10	Возможности и перспективы протокола MGCP .....	256
<b>9</b>	<b>Протокол MEGACO/H.248 .....</b>	<b>257</b>
9.1	История создания и особенности протокола MEGACO/H.248 .....	257
9.2	Модель процесса обслуживания вызова .....	258
9.3	Сравнительный анализ протоколов MGCP и MEGACO .....	262
9.4	Структура команд и ответов .....	265
9.5	Пример установления и разрушения соединения .....	271
<b>10</b>	<b>Качество обслуживания в сетях IP-телефонии ....</b>	<b>283</b>
10.1	Что понимается под QoS? .....	283
10.2	Качество обслуживания в сетях пакетной коммутации .....	285

10.3	Трафик реального времени в IP сетях .....	286
10.4	Дифференцированное обслуживание разнотипного трафика – Diff Serv .....	287
10.5	Интегрированное обслуживание IntServ .....	289
10.6	Протокол резервирования ресурсов – RSVP .....	290
10.6.1	Общие принципы протокола .....	290
10.6.2	Процедура резервирования ресурсов .....	291
10.7	Технология MPLS .....	295
10.8	Обслуживание очередей .....	299
10.8.1	Алгоритмы организации очереди .....	299
10.8.1.1	Алгоритм Tail Drop .....	299
10.8.1.2	Алгоритм Random Early Detection (RED) .....	300
10.8.2	Алгоритмы обработки очередей .....	300
10.8.2.1	Стратегия FIFO .....	301
10.8.2.2	Очередь с приоритетами .....	301
10.8.2.3	Class Based Queuing (CBQ) .....	302
10.8.2.4	Взвешенные очереди .....	303
10.8.3	Алгоритмы сглаживания пульсации трафика .....	304
10.8.3.1	Алгоритм Leaky Bucket .....	304
10.8.3.2	Алгоритм «Token Bucket» .....	305
<b>11</b>	<b>Принципы реализации .....</b>	<b>307</b>
11.1	Оборудование IP-телефонии .....	307
11.2	Особенности оборудования IP телефонии для России .....	311
11.3	Шлюз IP телефонии Протей-ITG .....	312
11.4	Привратник Протей-GK и варианты организации связи .....	315
11.5	Экономические аспекты применения оборудования IP-телефонии .....	316
11.6	Виртуальная телефонная линия .....	318
11.7	Центр обработки вызовов .....	322
11.8	Модуль IPU как средство интеграции цифровых АТС с IP-сетями .....	323
11.9	Тестирование протоколов IP-телефонии .....	325
	<b>Глоссарий .....</b>	<b>328</b>
	<b>Список литературы .....</b>	<b>332</b>





# Предисловие

---

В 1829 году губернатор Нью-Йорка Мартин ван Бюрен отправил президенту США Эндрю Джексону письмо следующего содержания:

Уважаемый господин Президент!

Системе каналов в нашей стране угрожает распространение новой формы транспорта, называемой «железные дороги». Правительство должно сохранить каналы по следующим причинам.

*1) Если суда будут вытеснены железными дорогами, это приведёт к большой безработице.*

*2) Производители судов сильно пострадают, а поставщики буксирных канатов, кнутов и конной упряжи останутся без средств к существованию.*

*3) Суда абсолютно необходимы для обеспечения обороны страны.*

Эти слова настолько похожи на рекомендации относительно IP-телефонии, услышанные авторами всего лишь два года назад на одном научно-техническом совете, что заставляют удивиться такому совпадению уровней и мотивов в разные времена и в разных странах. Однако технический прогресс определяется не этим, и сегодняшняя IP-телефония обслуживает около двадцати миллионов абонентов во всем мире, а операторские компании постепенно превращают IP-телефонию в индустрию, не зависящую от административно-командных решений. Примером для отечественных операторов может служить компания AT&T, уже применяющая передачу речи по IP-сетям и объявившая о долгосрочном плане перевода всего своего речевого трафика дальней связи на платформу IP. В составе совместного глобального проекта AT&T и British Telecom в течение четырех лет создают новую глобальную IP-сеть стоимостью 10 миллиардов долларов, которая будет предоставлять услуги интегрированной передачи речи и данных многонациональным бизнес-абонентам.

А начиналось все отнюдь не так безоблачно. Первая попытка реализовать IP-телефонию была предпринята в 1983 году в Кембридже,

Массачусетс. В состав оборудования рабочих станций, закрепленных за отдельными проектами Интернет, была включена так называемая «речевая воронка», выполнявшая функции цифровизации речи, пакетирования и передачи пакетов через Интернет между офисами Bolt Beranek and Newman (BBN) на Восточном и Западном побережьях США. С позиций приписываемого А. Эйнштейну высказывания – «открытия делаются тогда, когда все знают, что этого сделать нельзя, а потом появляется кто-то, кто этого не знает и совершает открытие» – те эксперименты 80-х годов относились к первой части данной формулировки. Немногочисленные студенты и энтузиасты IP-телефонии первого поколения были должны использовать на каждом конце одно и то же клиентское программное обеспечение, находиться в режиме подключения к системе в момент вызова, проводить значительную часть времени, терзая регулировки громкости и компрессии в попытках устранить эхо, чтобы получше слышать друг друга. Качество речи портили длинные паузы, вызванные переменной задержкой пакетов, обрезанная речь, получавшаяся в результате выбрасывания пакетов, эхо обратной связи из-за близкого расположения громкоговорителя компьютера и микрофона.

Открытие IP-телефонии как профессиональной технологии совершила израильская компания VocalTec, сумевшая к 1995 году собрать воедино достижения в областях цифровой обработки сигналов (DSP), кодеков, компьютеров и протоколов маршрутизации, чтобы сделать реальными разговоры через Интернет без оглядки на расстояние между абонентами и длительность разговора. О системных аспектах, основных сценариях и алгоритмах IP-телефонии говорится в главах 1 и 2.

Начиная с 1995 года, для IP-телефонии стали использоваться два метода звуковой компрессии – GSM, с близкой к 5:1 степенью компрессии исходного звукового сигнала, и TrueSpeech компании DSP Group, Inc., обеспечивающей коэффициент компрессии 18:1 с мало-заметной потерей качества звука при декомпрессии. Это обсуждается в главе 3 данной книги. Там же рассматриваются аудио-стандарты G.7xx, включенные в рекомендованный Международным союзом электросвязи (ITU-T) «зонтичный» стандарт H.323, которому целиком посвящены главы 5 и 6. Другие концептуальные подходы и стандартные протоколы IP-телефонии SIP, MGCP и MEGACO рассмотрены в главах 7, 8 и 9, соответственно.

В дополнение к алгоритмам компрессии/декомпрессии выборок речи и стандартным протоколам, IP-телефония занимается техникой борьбы с задержками в Интернет. Пакеты могут следовать к месту назначения по разным путям и могут не все поступить к месту сборки

вовремя и в надлежащем порядке. Если бы это были обычные данные, то запоздавшие или поврежденные пакеты можно было бы просто отбросить, а протокол контроля ошибок в рабочей станции запросил бы повторную передачу этих пакетов. Но такая концепция не может быть принята для пакетов, содержащих компрессированную речь, без опасности значительного ухудшения качества разговоров, которые, разумеется, должны происходить в реальном времени. Только если отбрасывается небольшой процент пакетов, скажем, 15%, пользователи на каждом конце могут не заметить пробелов в разговоре. Когда потеря пакетов достигает 20%, качество разговора ощутимо ухудшается. Общему анализу протоколов Интернет для IP-телефонии посвящена глава 4, а проблемы качества обслуживания (QoS) для IP-телефонии рассматриваются в главе 10.

Изделия для современной IP-телефонии предоставляют множество функциональных возможностей и позволяют решить проблемы качества передачи речи, что и обеспечивает рост коммерчески привлекательных и высококачественных услуг IP-телефонии. Выигрыш от использования компьютера для телефонной связи – по отношению к обычному телефону – заключается в том, что пользователь получает преимущества услуг интегрированной передачи речи и данных. Наиболее общие функциональные возможности, встречающиеся в широком спектре изделий IP-телефонии, рассматриваются в заключительной, 11 главе книги. В этой главе излагаются некоторые принципы и идеи отечественной платформы Протей, реализующей самые современные услуги IP-телефонии применительно к условиям Взаимоувязанной сети связи России.

Впрочем, относительно современности обольщаться не следует ни авторам, ни читателям. Мы имеем дело с новой, бурно развивающейся областью, идеи и изделия появляются с ошеломляющей частотой, и самым трудным для авторов при подготовке книги было поставить точку.

В том, что это, в конце концов, удалось, заслуга тех, кто поддерживал авторов и помогал им советами, информацией и просто созданием стимулирующей атмосферы, в первую очередь – В.А. Соколова, Ю.В. Аксенова, А.Е. Кузнецова, В.Д. Кадыкова, а также студентов Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича – А.Б.Гольдштейна, В.В. Саморезова, С.Б. Шурыгиной. Результат всех этих усилий перед читателем.

Замечания и предложения по материалам книги просьба направлять по адресу [nio1@loniis.spb.ru](mailto:nio1@loniis.spb.ru), а информацию о других книгах и разработках можно найти на Web-сайте [www.loniis.ru](http://www.loniis.ru).



# Глава 1

## Конвергенция сетей связи

---

### 1.1 Пропорции в телекоммуникациях

Гуляя в тенистой роще, греческий философ Анаксимен беседовал со своим учеником. «Скажи мне, – спросил юноша, – почему тебя часто одолевают сомнения? Ты прожил долгую жизнь, умудрен опытом и учился у великих эллинов. Как же так вышло, что и для тебя осталось столь много неясных вопросов?». В ответ философ очертил посохом перед собой два круга: маленький и большой. «Твои знания – это маленький круг, а мои – большой. Но все, что осталось вне этих кругов, – неизвестность. Маленький круг с неизвестностью соприкасается мало. Чем шире круг твоих знаний, тем протяженнее его граница с неизвестностью. И впредь, чем больше ты будешь узнавать нового, тем больше у тебя будет возникать неясных вопросов».

Классическая телефония с ее традиционными телефонными услугами POTS (Plain Old Telephone Service), достаточно хорошо изученная за свою более чем столетнюю историю, соответствует малому кругу из этой поучительной притчи. Большой круг представляет нарождающуюся индустрию инфокоммуникаций, являющуюся результатом взаимопроникновения (конвергенции) информационных и телекоммуникационных технологий и услуг и действительно порождающую больше неясных вопросов, чем готовых ответов. Не планируя в этой главе (да и во всей книге) рассмотреть множество разнообразных аспектов инфокоммуникаций за исключением одного – IP-телефонии, – коснемся лишь их общей базы – телекоммуникаций.

Со времени своего возникновения телекоммуникации базируются на передаче электромагнитных сигналов через транспортную среду, каковой могут быть:

- металлический кабель,
- оптоволокно,
- радиоканал.

Передаваемая в виде электромагнитных сигналов информация может представлять собой:

- речь,
- данные,
- видеоизображение

или любую их комбинацию, называемую мультимедийной информацией.

Эти три источника и три составные части телекоммуникаций в полной мере отражают их современное состояние, причем современность здесь понимается в широком смысле. Передача по сетям связи информации трех перечисленных выше видов благополучно осуществляется не одно десятилетие, пока не сработал принцип, давно известный в сфере искусств, – все дело в *пропорциях*.

Еще в 1996 г. в США трафик передачи данных впервые превысил речевой (рис. 1.1) и продолжает демонстрировать завидные темпы роста (до 30% в год по сравнению с 3% в год для телефонии). То же произошло в Европе в 1999 году. Все это послужило толчком к началу новой эры в телекоммуникациях – эры интегрированных решений и конвергенции всех видов связи. Протокол IP получил мировое признание и, в известной степени, стал «де-факто» стандартом для передачи мультимедийной информации.

Если добавить сюда феномен сети Интернет, где, по самым скромным подсчетам, рост числа пользователей составляет 5% в месяц, то станет совершенно ясно, что все эти события самым непосредственным образом влекут за собой коренное изменение подходов к построению информационных сетей. Речь и данные меняются местами. Традиционные сети передачи данных базировались на магистралях с коммутацией каналов, предназначенных для телефонного трафика. При новом подходе – все наоборот: телефония будет надстраиваться над инфраструктурой сети передачи данных.

Смещение центра тяжести в область передачи данных поставило вопрос о поиске удобного способа встраивания речи в мультимедийный цифровой поток. Причина популярности IP как раз и заключается в его восприимчивости к требованиям со стороны не только услуг передачи данных, но и приложений реального времени. Примером может служить успешно реализованная технология передачи речевой информации по сетям с маршрутизацией пакетов IP – Voice over IP (VoIP) или IP-телефония.

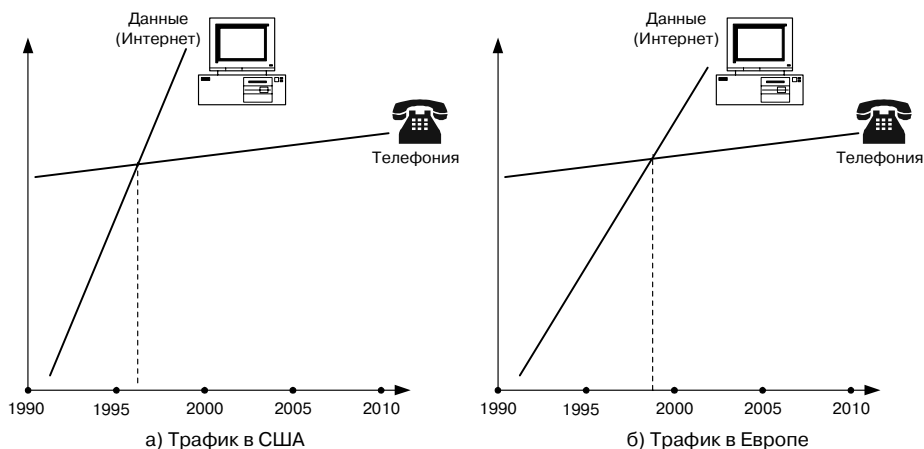


Рис. 1.1 Рост трафика Интернет (данные) и телефонного трафика

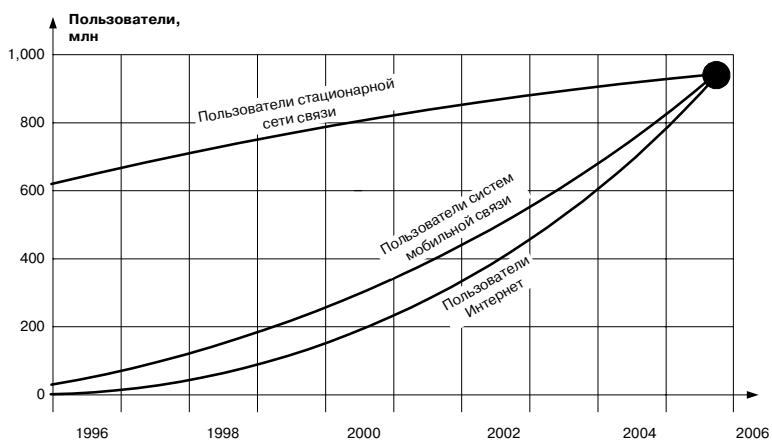
Но понятие Voice over IP подразумевает не только и не столько использование сети Интернет в качестве среды передачи речи, сколько сам протокол IP и технологии, обеспечивающие надежную и высококачественную передачу речевой информации в сетях пакетной коммутации. Отсутствие гарантированного качества обслуживания при передаче речи компенсируется появлением таких технологий, как многопротокольная коммутация по меткам – Multiprotocol Label Switching (MPLS), протокол резервирования ресурсов – Resource Reservation Protocol (RSVP), дифференциальное обслуживание разнотипного трафика – Differentiated Services (DiffServ) и других. Все большую популярность приобретает передача пакетов IP, упакованных в контейнеры систем синхронной цифровой иерархии – Synchronous Digital Hierarchy (SDH), а также технология спектрального мультиплексирования – Wave Division Multiplexing (WDM). Во всех случаях необходимым условием является подчинение каждого узла системы единой политике управления трафиком. Этому же призваны помочь протоколы RTP, RTSP, Differentiated Services и другие механизмы, рассматриваемые в следующих главах книги. Здесь же достаточно отметить, что стандартизация речевых технологий на основе стека TCP/IP и их поддержка лидерами рынка пакетной телефонии обеспечат совместимость оборудования разных производителей и позволят создавать системы, в которых возможны вызовы с аналогового телефонного аппарата, подключенного к порту маршрутизатора, на персональный компьютер, или с персонального компьютера на номер ТФОП, в рамках трех сценариев IP-телефонии, рассматриваемых в следующей главе.

## 1.2 Перспективы развития ТФОП и IP-сетей

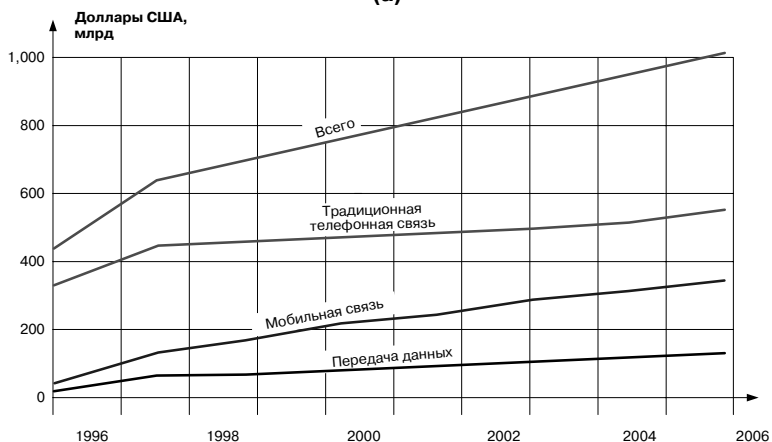
Продолжая анализ роста трафика данных и речи, представленного в виде графиков на рис.1 в предыдущем параграфе, авторы по-



зволили себе привести прогноз роста количества абонентов (графики на рис. 1.2а). Суть прогноза отнюдь не в том, что количество пользователей сетей стационарной связи, мобильной связи и Интернет к 2004-2006 годам достигнет миллиарда, а в том, что емкости этих сетей сближаются. В контексте данной главы последнее обстоятельство, согласно закону диалектики о переходе количества в качество, приводит к принципиально новым мыслям по поводу конвергенции этих сетей. Немаловажным стимулом таких мыслей является прогноз общемировых доходов от телекоммуникационных услуг, сделанный Dataquest (рис. 1.2б), графическое представление которого почти совпадает с верхней кривой на рис. 1.2а. Пороговая величина в этом прогнозе составляет триллион долларов США совокупного дохода по сегментам рынка (речь, данные, мобильная связь), а переход за этот порог ожидается еще раньше – в 2002-2003 гг.



(а)



(б)

Рис. 1.2 Рост численности абонентов, их перераспределение (а) и общемировые показатели доходов от телекоммуникационных услуг по сегментам рынка (б)

Одним из аспектов, способствующих упомянутой выше конвергенции, является ключевой принцип отделения организации услуг от транспортировки информации, составляющий основу идеи Интеллектуальных сетей. Суть концепции Интеллектуальной сети (IN) заключается в построении универсальной среды, обеспечивающей наибольшую эффективность создания и предоставления новых телефонных услуг. Постепенно эта концепция стала средством глобального нагнетания вычислительной мощности в телефонную сеть общего пользования (ТФОП), о чем немало сказано в только что вышедшей монографии [8].

Здесь же представляется полезным продолжить количественные оценки и попробовать представить себе краткосрочный и долгосрочный прогнозы развития телекоммуникационных услуг.

Краткосрочный прогноз авторы связывают с упомянутыми выше аспектами конвергенции сетей и услуг связи. Долгосрочный прогноз предполагает, что преобладание приложений типа клиент-сервер на основе IP-сетей (например, поиск информации, почта и др.) сохранится. Но в отдаленной перспективе внутренняя природа сети, базирующейся на протоколе IP, может стать тормозом для выполнения требований интерактивной мультимедиа: высокое быстродействие в реальном времени и «сквозная» широкополосная интерактивность. Для такого рода приложений в будущем потребуются более мощная платформа.

Рис. 1.3 иллюстрирует эволюцию телекоммуникационных приложений на основе IP.

Приняв во внимание то обстоятельство, что IP-телефония является одним из важнейших приложений на базе протокола IP, на основании рис. 1.3 читатель может принять решение о том, насколько целесообразно прочесть данную книгу. Основной вывод авторов из этого рисунка заключается в том, что Internet Protocol безусловно будет доминирующим протоколом в сетях следующего поколения, которым предстоит поддерживать передачу речи, данных, факсимиле, видеоинформации и мультимедиа.

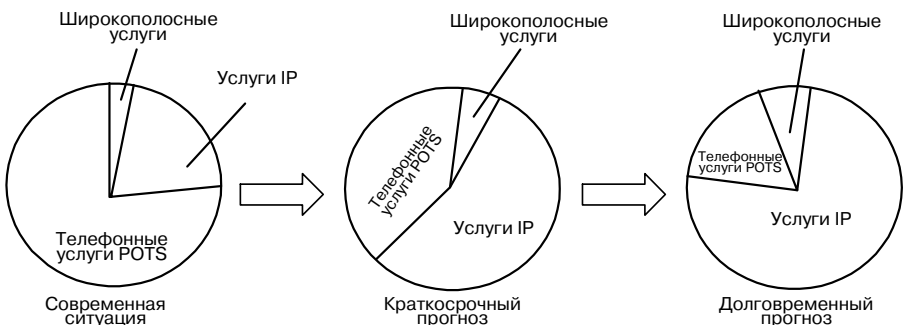


Рис. 1.3 Тенденции развития телекоммуникационных услуг

Первоочередная цель конвергенции сетей на базе протокола IP – это снижение общих расходов, складывающихся не только из капитальных затрат на приобретение и установку телекоммуникационного оборудования, но и из затрат на его содержание. Теоретически одна объединенная сеть уменьшила бы потребность в квалифицированном персонале – одни и те же люди стали бы заниматься и телефонией, и системами передачи данных. Наличие всего одного канала доступа к распределенной сети тоже основательно снизило бы ежемесячные расходы. Направляя речевой трафик через корпоративную магистральную сеть передачи данных, можно существенно уменьшить затраты на традиционные телефонные услуги. И, наконец, сокращение единиц используемого оборудования значительно уменьшит стоимость его технического обслуживания. Как отметил представитель одного международного оператора связи, переход на технологию IP-телефонии позволит ему сэкономить порядка 70% средств на капитальные затраты, 60-80% средств, выделяемых на организацию каналов доступа, и 50% средств на текущее обслуживание и ремонт сети [13].

Однако экономия на стоимости инфраструктуры – это не то, ради чего замышлялся переход к объединенным сетям. Революция произойдет тогда, когда появятся новые приложения, например, когда центры обслуживания клиентов смогут в реальном времени «сопровождать» каждого покупателя с момента его появления на домашней странице компании в сети Интернет до оформления заказа на покупку нужного продукта, «проводя» его через такие этапы, как демонстрация каталога предлагаемых изделий и выяснение неясных вопросов в ходе телефонного общения с представителем компании. Другой пример применения новых технологий – использование сотрудниками телефонного сервиса своей корпоративной УАТС независимо от того, где они находятся, например, при работе дома. К этим применениям IP-телефонии авторы вернутся в главе 11.

При всех оптимистических прогнозах, изложенных выше, не следует забывать, что традиционная телефонная связь опирается на мощную базу, создававшуюся на протяжении многих десятилетий, и такая система не может не обладать определенной инерцией. Исходя из этого, вряд ли стоит ожидать, что не сегодня-завтра произойдет мгновенный революционный скачок в области связи, и Интернет-телефония вытеснит все остальные технологии. Скорее наоборот: на протяжении ближайших 5-10 лет традиционная телефония будет по-прежнему занимать доминирующие позиции. Переход на новые, более прогрессивные методы будет происходить постепенно эволюционным путем, в разных странах с разной скоростью. А это значит, что в течение длительного времени ТФОП и IP-сети будут вынуждены существовать параллельно, обеспечивая взаимную прозрачность и объединяя свои усилия в обслуживании разнородного абонентского трафика.

Согласно известной формуле о невозможности находиться в каком-то обществе и быть вне его законов, при вхождении IP-телефонии в давно сформировавшееся глобальное телефонное общество необходимо соблюдение основных законов существующей ТфОП: эксплуатационная надежность с тремя девятками после запятой, жесткие нормы качества передачи речи в реальном времени и т.п.

Не менее законов, правил и норм важны традиции, сформировавшиеся за более чем столетний период существования ТфОП. И. Губерманом дана точная формулировка важности традиций:

Владыка наш – традиция. А в ней –  
свои благословенья и препоны;  
неписанные правила сильней,  
чем самые свирепые законы.

Поэтому не менее важно сохранить все привычные для пользователя действия – набор номера, способ доступа к телефонным услугам и т. д. Таким образом, абонент не должен ощущать разницы между IP-телефонией и обычной телефонной связью ни по качеству речи, ни по алгоритму доступа.

По тем же причинам весьма желательно обеспечить между ТфОП и IP-сетями полную прозрачность передачи пользовательской информации и сигнализации. Дело в том, что в отличие, например, от большинства корпоративных сетей связи, сети общего пользования не имеют национальных и ведомственных границ. IP-телефония должна обладать возможностью поддерживать совместную работу и обеспечивать информационную прозрачность с множеством стандартов связи, принятых в разных странах мира. Речь идет не только об электрической стыковке – необходимо найти взаимоприемлемое решение таких задач, как взаимодействие протоколов верхних уровней и приложений, начисление платы и др.

### 1.3 Транспортные технологии пакетной коммутации

Большинство производителей, располагающих широким ассортиментом продукции для пакетной телефонии, занимают «технологически нейтральное» положение и предоставляют покупателю возможность самому выбирать ту технологию, которая лучше всего соответствует его интеграционной стратегии.

Основные технологии пакетной передачи речи – Frame Relay, ATM и маршрутизация пакетов IP – различаются эффективностью использования каналов связи, степенью охвата разных участков сети, надежностью, управляемостью, защитой информации и доступа, а также стоимостью. Ограниченный объем книги не позволяет дать глубокий сравнительный анализ этих технологий с точки зрения передачи речи, поэтому здесь приводятся в наиболее компактной графической форме только результаты такого анализа (рис. 1.4).

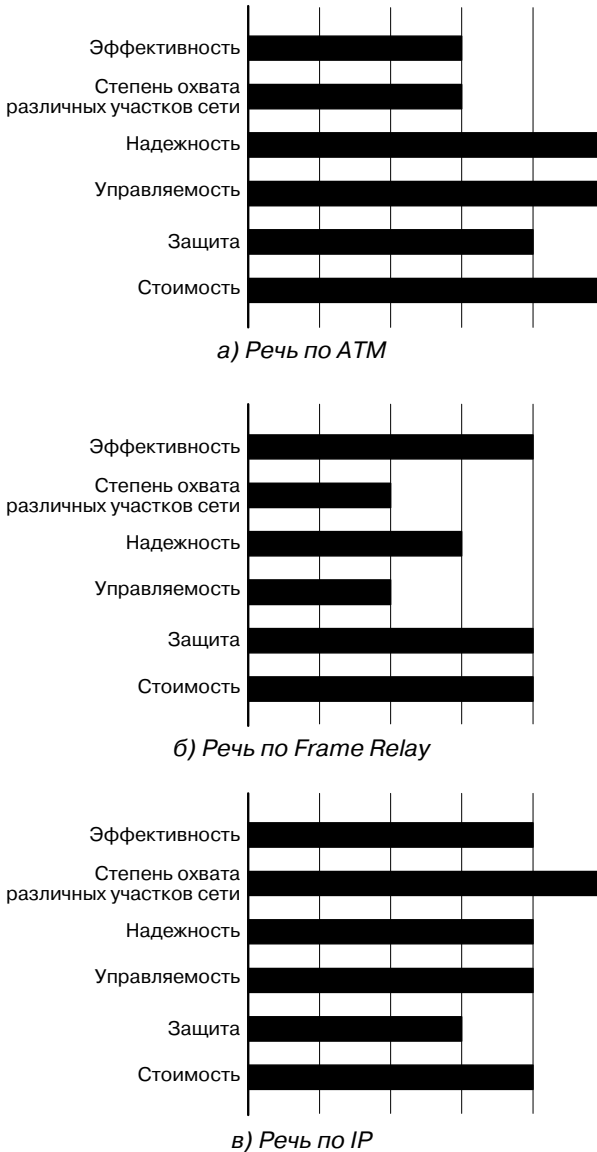


Рис. 1.4 Сравнение технологий пакетной передачи речи:  
а) VoATM, б) VoFR, в) VoIP

Транспортная технология ATM уже несколько лет успешно используется в магистральных сетях общего пользования и в корпоративных сетях, а сейчас ее начинают активно использовать и для высокоскоростного доступа по каналам xDSL (для небольших офисов) и SDH/Sonet (для крупных предприятий). Главные преимущества этой технологии – ее зрелость, надежность и наличие развитых средств экс-

платационного управления сетью. В ней имеются непревзойденные по своей эффективности механизмы управления качеством обслуживания и контроля использования сетевых ресурсов. Однако ограниченная распространенность и высокая стоимость оборудования не позволяют считать АТМ лучшим выбором для организации сквозных телефонных соединений от одного конечного узла до другого.

Технологии Frame Relay суждено было сыграть в пакетной телефонии ту же роль, что и квазиэлектронным АТС в телефонии с коммутацией каналов: они показали пример эффективной программно управляемой техники, но имели ограниченные возможности дальнейшего развития. Пользователями недорогих услуг Frame Relay, обеспечивающих вполне предсказуемую производительность, стали многие корпоративные сети, и большинство из них вполне довольны своим выбором. В краткосрочной перспективе технология передачи речи по Frame Relay будет вполне эффективна для организации мультисервисного доступа и каналов дальней связи. Но сети Frame Relay распространены незначительно: как правило, на практике используются некоммутируемые соединения в режиме точка-точка.

Технология передачи речевой информации по сетям с маршрутизацией пакетов IP привлекает, в первую очередь, своей универсальностью – речь может быть преобразована в поток IP-пакетов в любой точке сетевой инфраструктуры: на магистрали сети оператора, на границе территориально распределенной сети, в корпоративной сети и даже непосредственно в терминале конечного пользователя. В конце концов, она станет наиболее широко распространенной технологией пакетной телефонии, поскольку способна охватить все сегменты рынка, будучи при этом хорошо адаптируемой к новым условиям применения. Несмотря на универсальность протокола IP, внедрение систем IP-телефонии сдерживается тем, что многие операторы считают их недостаточно надежными, плохо управляемыми и не очень эффективными. Но грамотно спроектированная сетевая инфраструктура с эффективными механизмами обеспечения качества обслуживания, рассматриваемыми в главе 10, делает эти недостатки малозначительными. В расчете на порт стоимость систем IP-телефонии находится на уровне (или немного ниже) стоимости систем Frame Relay, и заведомо ниже стоимости оборудования АТМ. При этом уже сейчас видно, что цены на продукты IP-телефонии снижаются быстрее, чем на другие изделия, и что происходит значительное обострение конкуренции на этом рынке.

## 1.4 Уровни архитектуры IP-телефонии

Архитектура технологии Voice over IP может быть упрощенно представлена в виде двух плоскостей. Нижняя плоскость – это базовая сеть с маршрутизацией пакетов IP, верхняя плоскость – это открытая архитектура управления обслуживанием вызовов (запросов связи).

Нижняя плоскость, говоря упрощенно, представляет собой комбинацию известных протоколов Интернет: это – RTP (Real Time Transport Protocol), который функционирует поверх протокола UDP (User Datagram Protocol), расположенного, в свою очередь, в стеке протоколов TCP/IP над протоколом IP. Таким образом, иерархия RTP/UDP/IP представляет собой своего рода транспортный механизм для речевого трафика. Этот механизм будет более подробно рассмотрен в главе 4, посвященной протоколам Интернет для передачи речи в реальном времени. Здесь же отметим, что в сетях с маршрутизацией пакетов IP для передачи данных всегда предусматриваются механизмы повторной передачи пакетов в случае их потери. При передаче информации в реальном времени использование таких механизмов только ухудшит ситуацию, поэтому для передачи информации, чувствительной к задержкам, но менее чувствительной к потерям, такой как речь и видеoinформация, используется механизм негарантированной доставки информации RTP/UDP/IP. Рекомендации ITU-T допускают задержки в одном направлении не превышающие 150 мс. Если приемная станция запросит повторную передачу пакета IP, то задержки при этом будут слишком велики. Эти проблемы более подробно рассматриваются в главе 10, посвященной качеству обслуживания.

Теперь перейдем к верхней плоскости управления обслуживанием запросов связи. Вообще говоря, управление обслуживанием вызова предусматривает принятие решений о том, куда вызов должен быть направлен, и каким образом должно быть установлено соединение между абонентами. Инструмент такого управления – телефонные системы сигнализации, начиная с систем, поддерживаемых декадно-шаговыми АТС и предусматривающих объединение функций маршрутизации и функций создания коммутируемого разговорного канала в одних и тех же декадно-шаговых искателях. Далее принципы сигнализации эволюционировали к системам сигнализации по выделенным сигнальным каналам, к многочастотной сигнализации, к протоколам общеканальной сигнализации №7 [6, 7] и к передаче функций маршрутизации в соответствующие узлы обработки услуг Интеллектуальной сети [8].

В сетях с коммутацией пакетов ситуация более сложна. Сеть с маршрутизацией пакетов IP принципиально поддерживает одновременно целый ряд разнообразных протоколов маршрутизации. Такими протоколами на сегодня являются: RIP – Routing Information Protocol, IGRP – Interior Gateway Routing Protocol, EIGRP – Enhanced Interior Gateway Routing Protocol, IS-IS – Intermediate System-to-Intermediate System, OSPF – Open Shortest Path First, BGP – Border Gateway Protocol и др. Точно так же и для IP-телефонии разработан целый ряд протоколов. Рассматриваемые в этой книге стандарты содержат положения, относящиеся к передаче речи по IP-сетям (глава 3) и к сигнализации для IP-телефонии (главы 6, 7, 8 и 9).

Наиболее распространенным является протокол, специфицированный в рекомендации H.323 ITU-T, в частности, потому, что он стал применяться раньше других протоколов, которых, к тому же, до внедрения H.323 вообще не существовало. Этот протокол подробно рассматривается в главах 5 и 6.

Другой протокол плоскости управления обслуживанием вызова – SIP – ориентирован на то, чтобы сделать оконечные устройства и шлюзы более интеллектуальными и поддерживать дополнительные услуги для пользователей. Этот протокол подробно рассматривается в главе 7.

Еще один протокол – SGCP – разрабатывался, начиная с 1998 года, для того, чтобы уменьшить стоимость шлюзов за счет реализации функций интеллектуальной обработки вызова в централизованном оборудовании. Протокол IPDC очень похож на SGCP, но имеет много больше, чем SGCP, механизмов эксплуатационного управления (OAM&P). В конце 1998 года рабочая группа MEGACO комитета IETF разработала протокол MGCP, базирующийся, в основном, на протоколе SGCP, но с некоторыми добавлениями в части OAM&P. Протокол MGCP подробно рассматривается в главе 8.

Рабочая группа MEGACO не остановилась на достигнутом, продолжала совершенствовать протокол управления шлюзами и разработала более функциональный, чем MGCP, протокол MEGACO. Его адаптированный к H.323 вариант (под названием Gateway Control Protocol) ITU-T предлагает в рекомендации H.248. Протоколу MEGACO/H.248 посвящена глава 9.

## 1.5 Различные подходы к построению сетей IP-телефонии

Чтобы стало понятно, чем конкретно отличаются друг от друга перечисленные в предыдущем параграфе протоколы, кратко рассмотрим архитектуру сетей, построенных на базе этих протоколов, и процедуры установления и завершения соединения с их использованием.

### 1.5.1 Построение сети по рекомендации H.323

Первый в истории подход к построению сетей IP-телефонии на стандартизированной основе предложен Международным союзом электросвязи (ITU) в рекомендации H.323 [42]. Сети на базе протоколов H.323 ориентированы на интеграцию с телефонными сетями и могут рассматриваться как сети ISDN, наложенные на сети передачи данных. В частности, процедура установления соединения в таких сетях IP-телефонии базируется на рекомендации Q.931 [44] и аналогична процедуре, используемой в сетях ISDN.



Рекомендация H.323 предусматривает довольно сложный набор протоколов, который предназначен не просто для передачи речевой информации по IP-сетям с коммутацией пакетов. Его цель – обеспечить работу мультимедийных приложений в сетях с негарантированным качеством обслуживания. Речевой трафик – это только одно из приложений H.323, наряду с видеоинформацией и данными. А так как ничего в технике (как и в жизни) не достается даром, обеспечение совместимости с H.323 различных мультимедийных приложений требует весьма значительных усилий. Например, для реализации функции переключения связи (call transfer) требуется отдельная спецификация H.450.2.

Вариант построения сетей IP-телефонии, предложенный Международным союзом электросвязи в рекомендации H.323, хорошо подходит тем операторам местных телефонных сетей, которые заинтересованы в использовании сети с коммутацией пакетов (IP-сети) для предоставления услуг междугородной и международной связи. Протокол RAS, входящий в семейство протоколов H.323, обеспечивает контроль использования сетевых ресурсов, поддерживает аутентификацию пользователей и может обеспечивать начисление платы за услуги.

На рис 1.5. представлена архитектура сети на базе рекомендации H.323. Основными устройствами сети являются: терминал (Terminal), шлюз (Gateway), привратник (Gatekeeper) и устройство управления конференциями (Multipoint Control Unit – MCU).

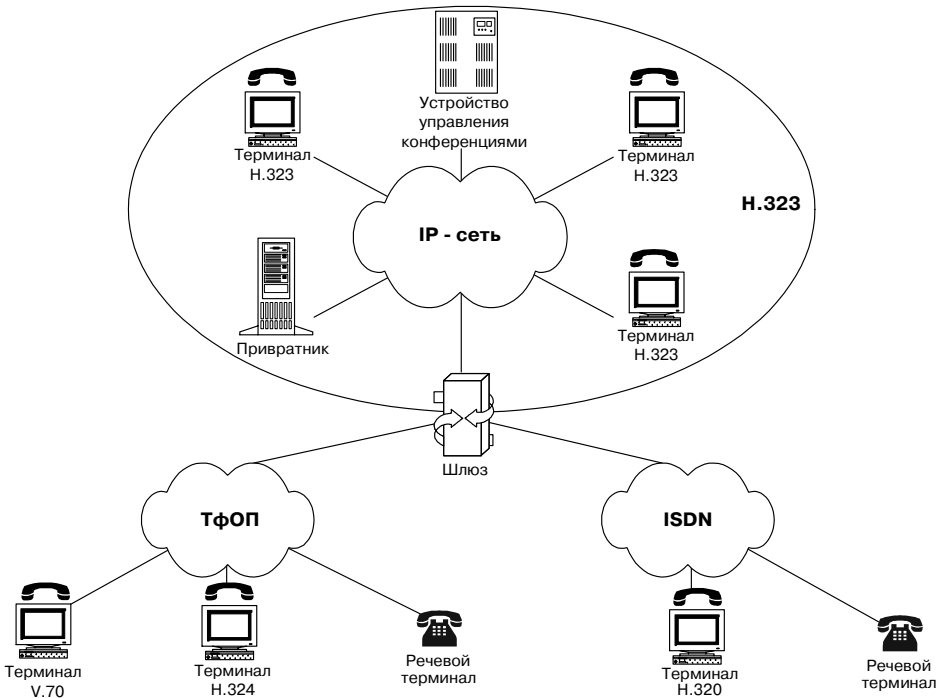


Рис. 1.5 Архитектура сети H.323

*Терминал H.323* – оконечное устройство пользователя сети IP-телефонии, которое обеспечивает двухстороннюю речевую (мультимедийную) связь с другим терминалом H.323, шлюзом или устройством управления конференциями.

*Шлюз IP-телефонии* реализует передачу речевого трафика по сетям с маршрутизацией пакетов IP по протоколу H.323. Основное назначение шлюза – преобразование речевой информации, поступающей со стороны ТФОП, в вид, пригодный для передачи по сетям с маршрутизацией пакетов IP. Кроме того, шлюз преобразует сигнальные сообщения систем сигнализации DSS1 и OKC7 в сигнальные сообщения H.323 и производит обратное преобразование в соответствии с рекомендацией ITU H.246.

В *привратнике* сосредоточен весь интеллект сети IP-телефонии. Сеть, построенная в соответствии с рекомендацией H.323, имеет зонную архитектуру (рис. 1.6). Привратник выполняет функции управления одной зоной сети IP-телефонии, в которую входят: терминалы, шлюзы, устройства управления конференциями, зарегистрированные у данного привратника. Отдельные фрагменты зоны сети H.323 могут быть территориально разнесены и соединяться друг с другом через маршрутизаторы.

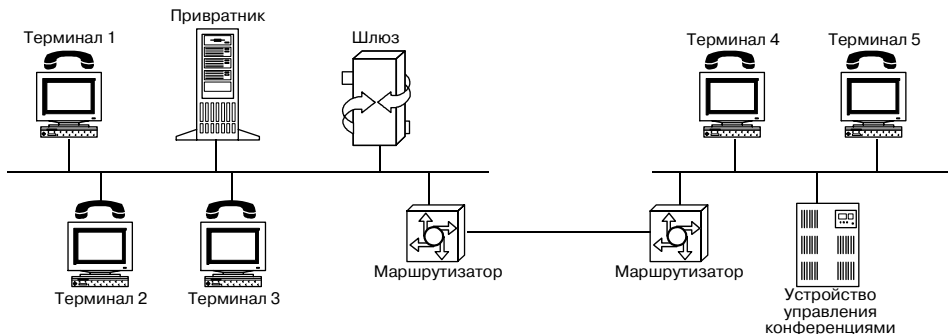


Рис. 1.6 Зона сети H.323

Наиболее важными функциями привратника являются:

- регистрация оконечных и других устройств;
- контроль доступа пользователей системы к услугам IP-телефонии при помощи сигнализации RAS;
- преобразование *alias*-адреса вызываемого пользователя (объявленного имени абонента, телефонного номера, адреса электронной почты и др.) в транспортный адрес сетей с маршрутизацией пакетов IP (IP адрес + номер порта TCP);
- контроль, управление и резервирование пропускной способности сети;

- ретрансляция сигнальных сообщений H.323 между терминалами.

В одной сети IP-телефонии, отвечающей требованиям рекомендации ITU H.323, может находиться несколько привратников, взаимодействующих друг с другом по протоколу RAS.

Кроме основных функций, определенных рекомендацией H.323, привратник может отвечать за аутентификацию пользователей и начисление платы (биллинг) за телефонные соединения.

*Устройство управления конференциями* обеспечивает возможность организации связи между тремя или более участниками. Рекомендация H.323 предусматривает три вида конференции (рис. 1.7): централизованная (т.е. управляемая MCU, с которым каждый участник конференции соединяется в режиме точка-точка), децентрализованная (когда каждый участник конференции соединяется с остальными ее участниками в режиме точка-группа точек) и смешанная.

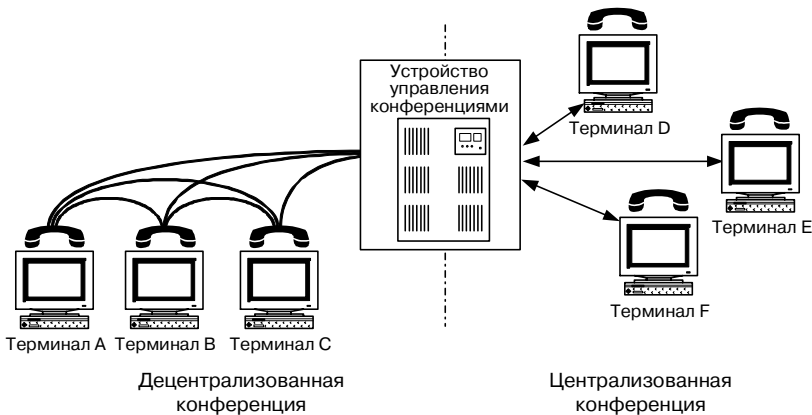


Рис. 1.7 Виды конференции в сетях H.323

Преимуществом централизованной конференции является сравнительно простое терминальное оборудование, недостатком – большая стоимость устройства управления конференциями.

Для децентрализованной конференции требуется более сложное терминальное оборудование и желательно, чтобы в сети IP поддерживалась передача пакетов IP в режиме многоадресной рассылки (IP multicasting). Если этот режим в сети не поддерживается, терминал должен передавать речевую информацию каждому из остальных участников конференции в режиме точка-точка.

Устройство управления конференциями состоит из одного обязательного элемента – контроллера конференций (Multipoint Controller – MC), и, кроме того, может включать в себя один или более про-

цессоров для обработки пользовательской информации (Multipoint Processor – MP). Контроллер может быть физически совмещен с привратником, шлюзом или устройством управления конференциями, а последнее, в свою очередь, может быть совмещено со шлюзом или привратником.

Контроллер конференций используется для организации конференции любого вида. Он организует обмен между участниками конференции данными о режимах, поддерживаемых их терминалами, и указывает, в каком режиме участники конференции могут передавать информацию, причем в ходе конференции этот режим может изменяться, например, при подключении к ней нового участника.

Так как контроллеров в сети может быть несколько, для каждой вновь создаваемой конференции должна быть проведена специальная процедура выявления того контроллера, который будет управлять данной конференцией.

При организации централизованной конференции, кроме контроллера MC, должен использоваться процессор MP, обрабатывающий пользовательскую информацию. Процессор MP отвечает за переключение или смешивание речевых потоков, видеoinформации и данных. Для децентрализованной конференции процессор не нужен.

Существует еще один элемент сети H.323 – *прокси-сервер H.323*, т.е. сервер-посредник. Этот сервер функционирует на прикладном уровне и может проверять пакеты с информацией, которой обмениваются два приложения. Прокси-сервер может определять, с каким приложением (H.323 или другим) ассоциирован вызов, и осуществлять нужное соединение. Прокси-сервер выполняет следующие ключевые функции:

- подключение через средства коммутируемого доступа или локальные сети терминалов, не поддерживающих протокол резервирования ресурсов (RSVP). Два таких прокси-сервера могут образовывать в IP-сети туннельное соединение с заданным качеством обслуживания;
- маршрутизацию трафика H.323 отдельно от обычного трафика данных;
- обеспечение совместимости с преобразователем сетевых адресов, поскольку допускается размещение оборудования H.323 в сетях с пространством адресов частных сетей;
- защиту доступа – доступность только для трафика H.323.

Более подробно архитектура сети H.323 будет рассмотрена в главе 5, а сейчас целесообразно сказать несколько слов о протоколах сигнализации, входящих в семейство H.323.

Протокол RAS (Registration, Admission, Status) обеспечивает взаимодействие оконечных и других устройств с привратником. Основными функциями протокола являются: регистрация устройства в системе, контроль его доступа к сетевым ресурсам, изменение полосы пропускания в процессе связи, опрос и индикация текущего состояния устройства. В качестве транспортного протокола используется протокол с негарантированной доставкой информации UDP.

Протокол H.225.0 (Q.931) поддерживает процедуры установления, поддержания и разрушения соединения. В качестве транспортного протокола используется протокол с установлением соединения и гарантированной доставкой информации TCP.

По протоколу H.245 происходит обмен между участниками соединения информацией, которая необходима для создания логических каналов. По этим каналам передается речевая информация, упакованная в пакеты RTP/UDP/IP, которые рассматриваются в главе 4.

Выполнение процедур, предусмотренных протоколом RAS, является начальной фазой установления соединения с использованием сигнализации H.323. Далее следуют фаза сигнализации H.225.0 (Q.931) и обмен управляющими сообщениями H.245. Разрушение соединения происходит в обратной последовательности: в первую очередь закрывается управляющий канал H.245 и сигнальный канал H.225.0, после чего привратник по каналу RAS оповещается об освобождении ранее занимавшейся полосы пропускания.

Сложность протокола H.323 демонстрирует рис. 1.8, на котором представлен упрощенный сценарий установления соединения между двумя пользователями. В данном сценарии предполагается, что конечные пользователи уже знают IP-адреса друг друга. В обычном случае этапов бывает больше, поскольку в установлении соединения участвуют привратники и шлюзы; это будет рассмотрено в главе 6.

Рассмотрим шаг за шагом этот упрощенный сценарий.

1. Оконечное устройство пользователя А посылает запрос соединения – сообщение SETUP – к оконечному устройству пользователя В на TCP-порт 1720.
2. Оконечное устройство вызываемого пользователя В отвечает на сообщение SETUP сообщением ALERTING, означающим, что устройство свободно, а вызываемому пользователю подается сигнал о входящем вызове.
3. После того, как пользователь В принимает вызов, к вызывающей стороне А передается сообщение CONNECT с номером TCP-порта управляющего канала H.245.
4. Оконечные устройства обмениваются по каналу H.245 информацией о типах используемых речевых кодеков (G.729, G.723.1 и т.д.),

а также о других функциональных возможностях оборудования, и оповещают друг друга о номерах портов RTP, на которые следует передавать информацию.

5. Открываются логические каналы для передачи речевой информации.
6. Речевая информация передаётся в обе стороны в сообщениях протокола RTP; кроме того, ведётся контроль передачи информации при помощи протокола RTCP.

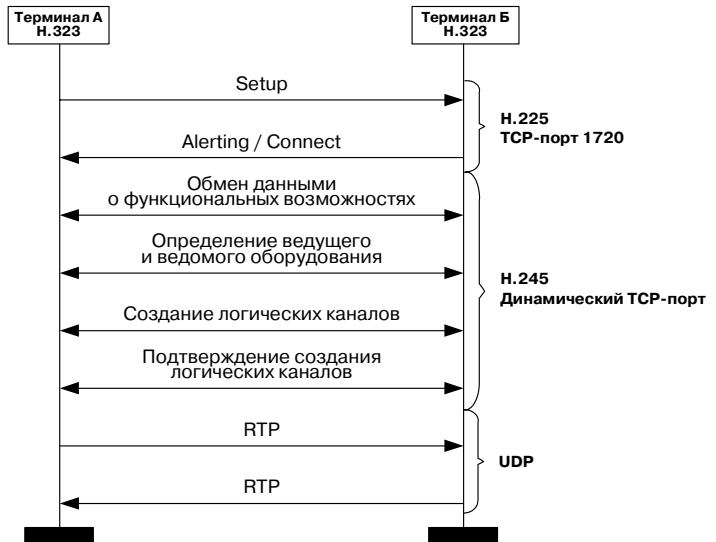


Рис. 1.8 Упрощённый сценарий установления соединения в сети H.323

Приведенная процедура обслуживания вызова базируется на протоколе H.323 версии 1. Версия 2 протокола H.323 позволяет передавать информацию, необходимую для создания логических каналов, непосредственно в сообщении SETUP протокола H.225.0 без использования протокола H.245. Такая процедура называется «быстрый старт» (Fast Start) и позволяет сократить количество циклов обмена информацией при установлении соединения. Кроме организации базового соединения, в сетях H.323 предусмотрено предоставление дополнительных услуг в соответствии с рекомендациями ITU H.450.x. Более детальный обзор сигнализации H.323 приводится в главе 6.

Следует отметить еще одну важную проблему – качество обслуживания в сетях H.323. Оконечное устройство, запрашивающее у привратника разрешение на доступ, может, используя поле *transportQoS* в сообщении ARQ протокола RAS, сообщить о своей способности резервировать сетевые ресурсы. Рекомендация H.323 определяет