

**МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ДЕПАРТАМЕНТ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ И КАДРОВ**

**О.И. Бокова, Д.А. Жайворонок,
Н.Н. Оськин, Н.С. Хохлов**

**СИСТЕМЫ И СЕТИ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Учебное пособие

Рекомендовано УМО по образованию в области Инфокоммуникационных технологий и систем связи в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02, 11.04.02 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи квалификации (степени) «бакалавр», «магистр» и 11.05.04 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи квалификации «специалист»

**Москва
2015**

ББК 32.973
УДК 002.001;002:001.8
С40

Рецензенты:

С.Н. Ляшенко

(Департамент информационных технологий,
связи и защиты информации МВД России);

А.В. Сячин

(Центр информационных технологий, связи и защиты информации
ГУ МВД России по Воронежской области).

Авторы:

О.И. Бокова, Д.А. Жайворонок, Н.Н. Оськин, Н.С. Хохлов

С40 Системы и сети передачи информации: учебное пособие / О.И. Бокова, Д.А. Жайворонок, Н.Н. Оськин, Н.С. Хохлов. — М.: ДГСК МВД России, 2015.— 192 с.

В пособии содержатся сведения о назначении, составе и структуре, принципах построения систем и сетей передачи информации органов внутренних дел. Представлены классификация и принципы построения современных систем и сетей оперативной связи МВД России, системы цифро-аналоговой радиосвязи с передачей данных и голоса между абонентами, стандарты цифровой транкинговой радиосвязи, принятые в ОВД, технические требования к оборудованию и системе радиосвязи органов внутренних дел, рассмотрены типовые схемы организации радиосвязи подразделений МВД России, вопросы организации защищенных оперативных сетей подвижной радиосвязи.

Предназначено для курсантов и слушателей образовательных организаций системы МВД России, а также студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02, 11.04.02 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи квалификации (степени) «бакалавр», «магистр» и 11.05.04 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи квалификации «специалист», практических работников органов внутренних дел, занимающихся вопросами создания и эксплуатации систем и сетей передачи информации.

ББК 32.973
УДК 002.001;002:001.8

© О.И. Бокова, Д.А. Жайворонок, Н.Н. Оськин,
Н.С. Хохлов, 2015

© Воронежский институт МВД России, 2015

© ДГСК МВД России, 2015

© ООО ИПК «Медиа-Принт», макет, оформление, 2015

Оглавление

Введение	5
1. Сигналы электросвязи и их основные характеристики	7
1.1. Понятие и основные характеристики сигналов	7
1.2. Основные виды первичных сигналов	8
1.2.1. Телефонные (речевые) сигналы	8
1.2.2. Факсимильные сигналы	10
1.2.3. Телевизионные сигналы	10
1.2.4. Телеграфные сигналы и сигналы передачи данных	13
1.3. Представление сигнала во временной области	15
1.4. Представление сигнала в частотной области	17
1.5. Аналоговые сигналы. Аудиосигналы	24
1.6. Цифровые сигналы	25
2. Методы модуляции	27
2.1. Аналоговые методы модуляции	27
2.1.1. Амплитудная модуляция (АМ)	27
2.1.2. Балансная амплитудная модуляция (БАМ)	30
2.1.4. Угловая модуляция	32
2.2. Цифровые методы модуляции	36
2.2.1. Амплитудная манипуляция (АМн)	37
2.2.2. Частотная манипуляция (ЧМн)	38
3. Организация множественного доступа в системах связи	46
3.1. Общая схема уплотнения каналов	46
3.2. Множественный доступ с частотным разделением каналов	48
3.3. Множественный доступ с временным разделением каналов	49
3.4. Множественный доступ с кодовым разделением каналов	50
4. Линии связи	54
4.1. Кабельные среды передачи данных	56
4.1.1. Витая пара	56
4.1.2. Коаксиальный кабель	58
4.2.3. Оптическое волокно	61
4.2. Беспроводные среды передачи данных	69
4.2.2. Микроволновый диапазон	74
4.2.3. Инфракрасная связь	76
5. Классификация и принципы построения ТКС различного назначения	77
5.1. ВЧ, ОВЧ и УВЧ системы радиосвязи	77
5.1.1. Основные сведения и классификация	77
5.1.2. Условия распространения ВЧ, ОВЧ и УВЧ волн и замирания	78

5.2. Радиорелейные системы связи	81
5.2.1. Классификация и принцип работы РРС.	81
5.2.2. Цифровые радиорелейные станции	84
5.3. Спутниковые системы связи	89
5.3.1. Основные понятия спутниковой связи.	89
5.3.2. Классификация систем спутниковой связи	89
5.3.3. Низкоорбитальные и среднеорбитальные ИСЗ.	92
5.3.4. Системы с геостационарными ИСЗ	94
5.3.5. Системы связи с ИСЗ на высокоэллиптических орбитах.	97
6. Сетевые технологии	100
6.1. Общие сведения о сетях телекоммуникаций.	100
6.1.1. Глобальные сети.	101
6.1.2. Локальные сети.	101
6.1.3. Региональные сети.	102
6.2. Сетевая топология	103
6.3. Эталонная модель взаимодействия открытых систем	110
6.3.1. Концепция открытости сетевых технологий.	110
6.3.2. Назначение уровней OSI	115
6.4. Стандартные стеки коммуникационных протоколов	118
6.4.1. Стандартизация коммуникационных протоколов.	118
6.4.2. Стек OSI	121
6.4.3. Стек TCP/IP	123
7. Сети и системы оперативной связи МВД России	128
7.1. Принципы построения системы цифро-аналоговой радиосвязи ОВД с передачей данных и голоса между абонентами	128
7.2. Основные стандарты цифровой транкинговой радиосвязи.	135
7.3. Особенности построения сети оперативной радиосвязи МВД России.	139
7.4. Технические требования к оборудованию и системе радиосвязи органов внутренних дел.	159
7.5. Схемы организации радиосвязи для территориальных органов МВД России.	163
7.5.1. Типовые схемы организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе выбранного оборудования.	163
7.5.2. Типовые схемы организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе оборудования APCO 25	166
7.6. Организации защищенных оперативных сетей подвижной радиосвязи ОВД	173
Заключение	185
Литература	187

Введение

Не вызывает сомнения тот факт, что в современном обществе базовые знания в области передачи данных полезны при подготовке специалистов по специальностям 11.05.02 — Специальные радиотехнические системы, 10.05.02 — Информационная безопасность телекоммуникационных систем и 11.05.04 — Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи.

Обработка данных становится все более важным и привычным атрибутом для любой организации. Распространение распределенных систем, разнообразие сетевых возможностей, появление широкого круга стандартов в области локальных сетей и развитие сетевых технологий в целом привели к выпуску разнообразных продуктов для взаимодействия в телекоммуникационных сетях. Кроме того, работы над следующими поколениями телефонного и сетевого оборудования, а также развитие новых сетевых и коммуникационных технологий привели к выпуску разнообразных средств дальней связи.

Любой вид информации (звук, данные, изображения, видео) можно преобразовать в электромагнитный сигнал. Этот сигнал можно передавать по определенной среде. Информация создается источником данных (например, телефонной трубкой, компьютерным терминалом, факсимильным сканером, видеокамерой и т. п.), после чего преобразуется в электромагнитный сигнал. Сигнал направляется в среду передачи и распространяется от передатчика к приемнику. Приемник восстанавливает информацию из электромагнитного сигнала, которая соответствует (в точности или приближенно) исходной информации.

Система радиосвязи органов внутренних дел Российской Федерации является составной частью системы связи МВД России и, следовательно, также обладает статусом сети связи специального назначения. Система радиосвязи ОВД предназначена для обеспечения процессов управления мобильными силами органов внутренних дел Российской Федерации и стационарными подразделениями в случаях, когда организация иных каналов связи невозможна или экономически нецелесообразна, а также для создания резервных каналов связи.

Для построения системы цифро-аналоговой радиосвязи с передачей данных и голоса между абонентами по связанным зонам радиосети и диспетчеризации требуется наличие транспортной сети широкополосной передачи данных (ШПД) организованной по беспроводной, оптической или проводной технологии. Для организации внутрисистемных линий связи (межсайтовые соединения, удаленные объекты связи и прочее) в сетях УКВ-радиосвязи цифровых стандартов радиосвязи (APCO 25, DMR, IDAS).

В первой главе данного пособия рассматриваются различные типы электромагнитных сигналов, служащих для передачи информации. При этом описываются самые простые способы представления четырех форм информации с помощью электромагнитных сигналов. Рассматриваются основные виды первичных сигналов, особенности аналоговых и цифровых сигналов. Вторая глава посвящена изучению основных видов модуляции, описаны их особенности, достоинства и недостатки. В третьей главе рассмотрены вопросы организации множественного доступа в системах связи, в четвертой — проводные и беспроводные каналы связи. Классификация и принципы построения ТКС различного назначения описаны в главе 5 учебного пособия, рассмотрены особенности ВЧ, ОВЧ и УВЧ системы радиосвязи, радиорелейных и спутниковых систем связи. Глава 6 посвящена анализу сетевых технологий, принципов построения различных видов сетей, изучению различных моделей взаимодействия открытых систем, стандартных стеков коммуникационных протоколов. В 7 главе рассмотрены основные принципы построения и особенности функционирования сетей и систем оперативной связи МВД России.

1. Сигналы электросвязи и их основные характеристики

1.1. Понятие и основные характеристики сигналов

Физический процесс, отображающий (несущий) передаваемое сообщение, называется сигналом. В системах связи обычно используются электрические сигналы. Так как сообщения случайны, то и сигналы являются случайными функциями [1].

Всякий сигнал как временной процесс имеет начало и конец, то есть обладает некоторой длительностью T , определяемой обычно интервалом обработки. Ширина спектра F определяется диапазоном частот, в пределах которого сосредоточена основная энергия сигнала.

Динамический диапазон — это отношение наибольшей мгновенной мощности сигнала к минимальной, обычно равной допустимой среднеквадратичной погрешности

$$Д = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}.$$

Динамический диапазон речи диктора, например, равен 25–30 дБ, симфонического оркестра 70–95 дБ.

Объем сигнала $V = NFД$ дает общее представление о возможностях данного множества сигналов как переносчиков сообщений. Чем больше объем сигнала, тем больше информации можно вложить в этот объем, и тем труднее передать такой сигнал по каналу связи.

Пик-фактором сигнала Q называется отношение его максимальной мощности к средней

$$Q = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\text{cp}}}.$$

Сигналы подразделяют на дискретные и непрерывные (аналоговые). Дискретный сигнал с математической точки зрения представляет собой кусочно-постоянную функцию с конечным множеством уровней, непрерывный сигнал может принимать любые значения в некотором интервале.

Важным параметром дискретного сигнала является количество информации I , переносимой им в единицу времени (бит/с). При равновероятных уровнях

$$I = V_M \log_2 M ,$$

где V_M — скорость модуляции (тактовая частота); M — число уровней.

Сигнал $S(t)$ длительностью T обладает энергией

$$E = \int_0^T S^2(t) dt .$$

1.2. Основные виды первичных сигналов

1.2.1. Телефонные (речевые) сигналы

Звуки речи образуются в результате прохождения воздушного потока из легких человека через голосовые связки в полости рта и носа. Частота импульсов основного тона речи (оглибающей) лежит в пределах от 50–80 Гц (очень низкий голос — бас) до 200–250 Гц (женские и детские голоса). Импульсы основного тона содержат большое количество гармоник (до 40), причем амплитуды гармоник убывают с увеличением частоты со скоростью примерно 12 дБ на октаву. При разговоре частота основного тона меняется в значительных пределах, особенно при переходе от гласных звуков к согласным, и наоборот.

При произнесении гласных голосовые связки создают периодические последовательности звуковых импульсов, которые возбуждают резонансные полости органов речи. При произнесении согласных резонансные полости возбуждаются шумовым сигналом. Резонансные полости определяют резонансные области в спектре речи, которые называются формантами. Резонансы особенно выражены на трех частотах: около 500, 1500 и 2500 Гц.

Речь представляет собой широкополосный процесс с частотным спектром от 50–100 до 8000–10000 Гц. Однако качество речи получается вполне удовлетворительным при ограничении спектра частотами 300 и 3400 Гц. В указанной полосе слоговая разборчивость составляет около 90%, разборчивость фраз — более 99% и сохраняется удовлетворительная натуральность звучания [2].

Разговорный сигнал состоит из распределенных случайным образом разговорных импульсов средней длительностью ~ 1 с, разделенных промежутками времени ~ 1 с, то есть является нестационарным случайным процессом. Для оценки действующего значения напряжения речевого сигнала используется специальный вольтметр (волюметр) с квадратичным законом суммирования уровней различных частот и временем интегрирования 200 мс. Прибор не позволяет определить активность говорящего, а только показывает, насколько громко он говорит. Он практически является измерителем динамического диапазона — волюма сигнала, определяемого величиной

$$Y = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{действ}}}{U_0},$$

где $U_0 = 0,775$ В.

Говорящий, делающий много пауз, может обладать более высоким волюмом, чем говорящий непрерывно.

Для оценки средней мощности телефонного сигнала вводится коэффициент активности η , равный отношению времени, в течение которого мощность сигнала превышает заданное пороговое значение — 40 дБм.

На практике средняя величина η близка к 0,25–0,35. Средняя мощность телефонного сигнала на интервалах активности составляет 88 мкВт при $Y_0 = -10,6$ дБм. Тогда при $\eta = 0,25$ средняя мощность будет равна

$$P_{\text{ср}} = \eta 88 = 22 \text{ мкВт.}$$

Динамический диапазон речевого сигнала $D = 35\text{--}40$ дБ, пикфактор $Q \approx 14$ дБ.

Амплитудно-частотные искажения изменяют тембр речи и являются причиной потери натуральности звучания, нелинейные искажения приводят к появлению гармоник и комбинационных частот и воспринимаются как характерные хрипы. Важная особенность слуха состоит в его малой чувствительности к фазочастотным искажениям.

Оценить количество информации, содержащейся в речевом сигнале, можно по формуле

$$I = \eta \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{ш}}} \right).$$

При $\eta = 0,25$ $\Delta F = 3100$ Гц, $P_{\text{АЭ}} = 22$ мкВт, $P_{\text{Н}} = 17,8$ нВт,
 $I \approx 8000$.бит/с

1.2.2. Факсимильные сигналы

Факсимильной связью называется передача неподвижных изображений (рисунков, чертежей, фотографий, текстов и т. д.) по каналам электрической связи. При передаче изображений получается первичный сигнал сложной формы, энергетический спектр которого содержит частоты от 0 до f_{max} (которая обычно равна 1100 Гц). Изображения подразделяются на штриховые, содержащие две градации яркости, и полутоновые.

Динамический диапазон сигнала, соответствующего полутоновому изображению, составляет $D \sim 25$ дБ, а пик-фактор $Q \sim 4,5$ дБ. Информационная емкость факсимильного сигнала полутонового изображения равна $11,7 \cdot 10^3$ бит/с, а штрихового — $2,93 \cdot 10^3$ бит/с.

Для передачи газет используются специальные высокоскоростные факсимильные аппараты, обеспечивающие высокое качество передачи изображений за счет увеличения четкости. При этом сигнал имеет информационную емкость 360 бит/с.

1.2.3. Телевизионные сигналы

Очень важной характеристикой телевизора является разрешение экрана. Измеряется разрешение в пикселях и обозначается как отношение количества пикселей по горизонтали к количеству пикселей по вертикали.

Для нормальной работы телевидения в разных регионах и соответственно возможности продавать свои телевизоры в разных странах требуется от фирм-производителей согласование своих разработок в области повышения разрешения экранов. Поэтому международные организации согласовали различные разработки в области телевидения высокой четкости и на сегодня существуют несколько стандартов, которых все и придерживаются [3].

Разрешение телевизора

На сегодня международные организации, такие как американская ATSC, европейская ETSI, определили стандарты распростране-

ния телевидения высокой четкости. И производители телевизоров ввели эти стандарты и в телеприемники для совместимости со всеми регионами. На сегодня основными стандартами являются:

720p. Разрешение 1280×720 пикселей, построчная развертка, частота кадров может быть 50 или 60 Гц, формат кадра 16:9.

1080i. Разрешение 1920×1080 пикселей, чересстрочная развертка, формат кадра 16:9, частота 50 или 60 полукадров в секунду, что соответствует 25 или 30 кадрам.

1080p. Разрешение 1920×1080 пикселей, построчная развертка, формат кадра 16:9, частота кадров 24, 25, 30, 50, 60 Гц.

Различия в стандартах

Стремление к получению наиболее качественного сигнала на телевизоре при передаче на расстояние привело к появлению различных стандартов разложения телесигнала в разных странах. Основными характеристиками разложения сигнала являются количество строк, частота кадров и вид кадровой развертки.

Основными стандартами передачи телевизионного сигнала являются европейские PAL и SECAM, а также американская система NTSC. В европейских системах применяется 625 строк, а в американской — 525 строк. Данные стандарты были изобретены в начале эпохи ЭЛТ телевизоров, и нужно учитывать этот факт. Например, количество строк 625 не используется полностью для формирования изображения на кинескопном экране. Ведь в системе отклоняющих катушек нужно предусмотреть время на обратное движение луча, и поэтому реально для формирования видимого кадра использовались только 576 строк. Именно это число и показывается в разрешении экрана цифрового телевидения 720×576 .

Частота кадров в старых телевизорах выбиралась в зависимости от частоты тока в сети электроснабжения: для Европы 50 Гц, а для Америки 60 Гц. При таком выборе легче строить генераторы развертки телевизора.

Все эти ограничения на стандарты разложения существуют и сегодня, ведь приходится реализовывать совместимость старых и новых телевизоров. Но для цифровых телевизоров (ЖК и плазма) такие ограничения не нужны из-за их конструктивных особенностей. А новый стандарт телевидения высокой четкости HDTV использует только цифровую передачу сигнала, и ему не нужно использовать строки для служебных импульсов, поэтому, сколько строк указано

в названии стандарта, столько и формирует картинку на экране. Этот стандарт разложения сигнала содержит 720 или 1080 строк, частота кадров 50 или 60 Гц, вид развертки может быть чересстрочный или прогрессивный.

При обозначении стандарта используется запись, где указывается количество строк сигнала, вид развертки чересстрочный («i») (рис. 1.1) или прогрессивный («р») (рис. 1.2), через косую черту может быть указана частота кадров. Прогрессивная развертка означает, что все строки изображения записываются на экран одновременно, а при чересстрочной развертке сначала обновляются четные строки, а в другой полукадр — нечетные. Прогрессивная развертка лучше.

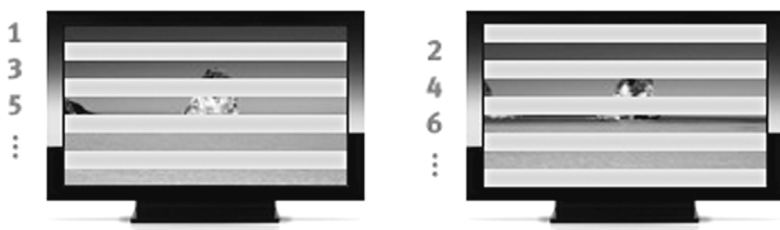


Рис. 1.1. Чересстрочная развертка («i»)



Рис. 1.2. Прогрессивная развертка («р»)

За все время развития телевидения были использованы такие виды разложения телевизионного сигнала:

LDTV — пониженной четкости (240p, 288p);

SDTV — стандартной четкости (480i — NTSC, 576i — PAL);

EDTV — повышенной четкости (480p, 576p, 720p);

HDTV — телевидение высокой четкости (1080i, 1080p);

UHDTV — сверхвысокой четкости (4320p).

Для реализации ТВЧ разработали передатчики и приемники, создали экраны с высоким разрешением, носители HD DVD и Blu-Ray, интерфейсы передачи данных HDMI и DVI-D. По принятому в России стандарту к телевидению высокой четкости относятся сигналы широкоформатного изображения 16:9 с разрешением 1920×1080. Если кадр имеет соотношение 4:3, то разрешение будет составлять 1536×1152 пикселей. Так и появился стандарт HDTV.

1.2.4. Телеграфные сигналы и сигналы передачи данных

Как телеграфные, так и системы передачи данных являются системами передачи дискретных сообщений. Однако исторически телеграфные системы появились гораздо раньше, сигналы в них формировались телеграфным ключом, и поэтому они были и остаются низкоскоростными. Системы передачи данных в настоящее время являются в основном высокоскоростными цифровыми системами связи.

Первичные телеграфные сигналы, как правило, являются бинарными с активной (рис. 1.3, а) или пассивной паузой (рис. 1.3 б).

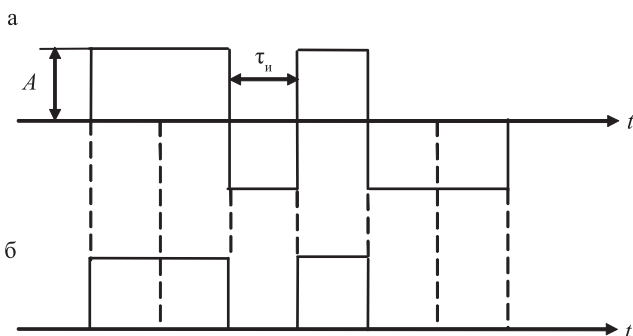


Рис. 1.3. Бинарные сигналы с активной (а) и пассивной (б) паузой

Длительность импульса определяется скоростью модуляции $F_M = 1 / \tau_8$, измеряемой в бодах (импульсах в секунду). При равных вероятностях появления положительных и отрицательных (пауз) импульсов энергетический спектр такого сигнала имеет вид

$$G(\omega) = A^2 \frac{\tau_{и}}{\pi} \left(\frac{\sin \frac{\omega \tau_{и}}{2}}{\frac{\omega \tau_{и}}{2}} \right)^2.$$

Минимальная полоса частот, необходимая для передачи телеграфного сигнала, равна $\frac{\omega\tau_8}{2} = 0,5 F_M$. Однако на практике, из-за искажений, часто используют $\Delta F = F_M$. В системах передачи данных на сигналы могут налагаться дополнительные требования.

Так, сведение к нулю составляющих спектра в области $f = 0$ желательно для уменьшения дрейфа постоянной составляющей, возникающего при передаче длинных последовательностей символов 1 или 0. Это необходимо в кабельных регенераторах и радиорелейных линиях с частотной модуляцией, которые обычно не имеют связи по постоянному току.

Чтобы удовлетворить этому требованию, а также для поддержания тактовой синхронизации при передаче одинаковых символов используются специальные виды кодирования.

Некоторые виды двоичных сигналов для систем передачи данных приведены на рис. 1.4, где

а — Потенциальный двоичный сигнал с активной паузой. Символы 1 и 0 отображаются двумя уровнями напряжения (УН).

б — Биимпульсный сигнал (манчестерский код). Символы 1 и 0 отображаются парами импульсов длительностью $\tau_8 / 2$ + — и — +.

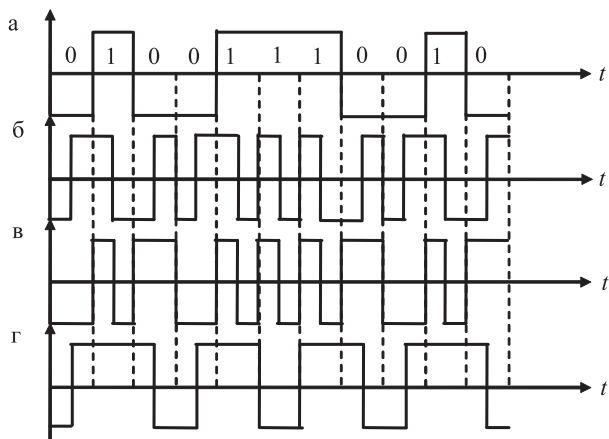


Рис. 1.4. Некоторые виды двоичных сигналов в системах передачи данных

в —Кодирование символов переходами УН. В начале каждого такта происходит изменение УН. Символ 1 отображается возвратом к предыдущему УН через $\tau_8 / 2$, при символе 0 возврата нет.

г — Код Миллера. Символ 0 отображается переходом УН с задержкой $\tau_8 / 2$. Одиночный символ 1 отображается сохранением УН, а последовательность символов 1 — изменениями УН в начале второго и последующего тактов.

1.3. Представление сигнала во временной области

Если электромагнитные сигналы рассматривать как функцию времени, то их можно разделить на аналоговые и цифровые. Величина *аналогового сигнала* плавно меняется со временем [15]. Иначе говоря, в таких сигналах отсутствуют разрывы и скачки. Уровень *цифрового*, или *дискретного*, сигнала поддерживается постоянным в течение определенного времени, затем цифровой сигнал скачком меняется на постоянную величину. На рис. 1.5 приведены примеры цифровых и аналоговых сигналов. Аналоговый сигнал может применяться для представления речи, а цифровой — для представления двоичных нулей и единиц.

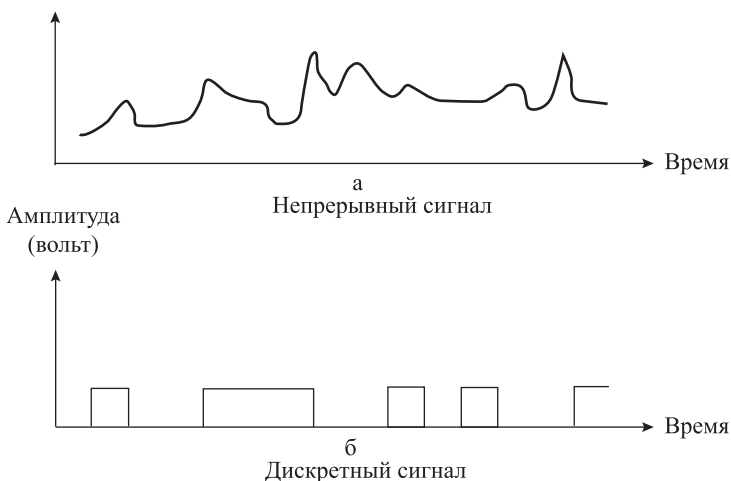
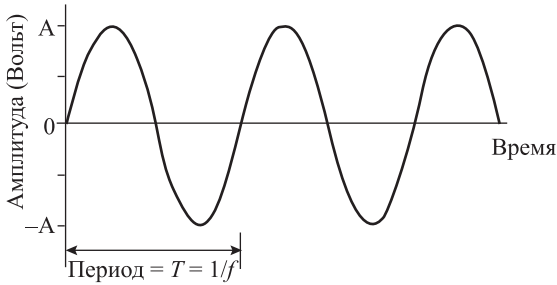


Рис. 1.5. Непрерывные и дискретные сигналы

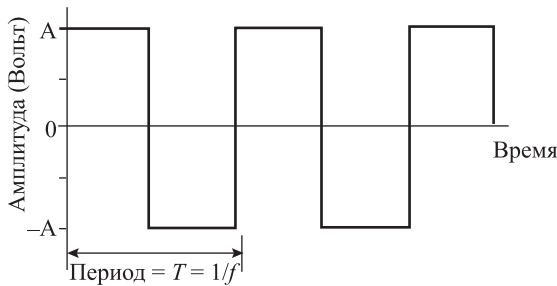
Аналоговый сигнал — непрерывно меняющаяся электромагнитная волна. Может распространяться в различных средах.

Цифровой сигнал — дискретный сигнал, например последовательность импульсов напряжения.

Простейшим сигналом является *периодический сигнал*, то есть сигнал, повторяющийся во времени. На рис. 1.6 приведен пример периодического аналогового сигнала (синусоида) и периодического цифрового сигнала (меандр). Синусоида является основным аналоговым сигналом. В общем случае ее можно описать тремя параметрами: амплитудой (A), частотой (f) и фазой (ϕ). *Амплитудой* называют максимальное значение сигнала, обычно амплитуду измеряют в вольтах. *Частота*, которая измеряется в циклах в секунду, или в герцах (Гц), определяет скорость повторения сигнала. Вместо частоты сигнал можно описывать *периодом* (T), показывающим, сколько времени требуется на повторение сигнала. Таким образом, $T = 1/f$. *Фаза* определяет временное положение периода сигнала, это понятие мы разберем позже.



а — синусоидальная волна



б — прямоугольная волна

Рис. 1.6. Примеры периодических сигналов

В общем виде синусоиду можно представить следующей формулой:

$$s(t) = A \sin(2\pi nft + y).$$

На рис. 1.7 показано, что происходит с синусоидой при изменении каждого из трех параметров. На рис. 1.7, а), представлен сигнал с частотой 1 Гц, то есть период сигнала составляет $T = 1$ с. На рис. 1.7, б, у сигнала те же частота и фаза, но амплитуда равняется 0,5. На рис. 1.7, в, частота $f = 2$, это соответствует периоду $T = 1/2$. Наконец, на рис. 1.7, г, показано, что произойдет с сигналом при сдвиге фазы на $\pi/4$ радиан или на 45° (2π радиан = $360^\circ = 1$ период).

На рис. 1.7 по горизонтальной оси отложено время. На графиках показана величина сигнала в заданной точке пространства как функция времени. Те же самые графики, но с другим масштабом по горизонтальной оси, отражают изменение сигнала в пространстве. В таком случае на графиках величина сигнала в данный момент времени является функцией расстояния. Например, при передаче синусоидального сигнала (радиоволны от антенны или звука от громкоговорителя) в каждый конкретный момент времени значение сигнала меняется по синусоиде в зависимости от расстояния до источника.

Имеется простое соотношение между синусоидальными волнами во времени и пространстве. Определим *длину волны* (λ) как расстояние, которое занимает в пространстве один период сигнала. Другими словами, длина волны — это расстояние между точками с одинаковыми фазами двух последовательных периодов. Предположим, что скорость распространения сигнала равняется v . Тогда длина волны сигнала связана с периодом как $\lambda = vT$. Иначе говоря, $\lambda f = v$. Особенно важным является случай, когда скорость распространения волны $v = c$, где c — скорость света в пустоте, приблизительно равная $3 \cdot 10^8$ м/с.

1.4. Представление сигнала в частотной области

В реальности электромагнитный сигнал состоит из компонентов с множеством частот. Например, сигнал, показанный на рис. 1.8, в, может быть представлен следующей формулой:

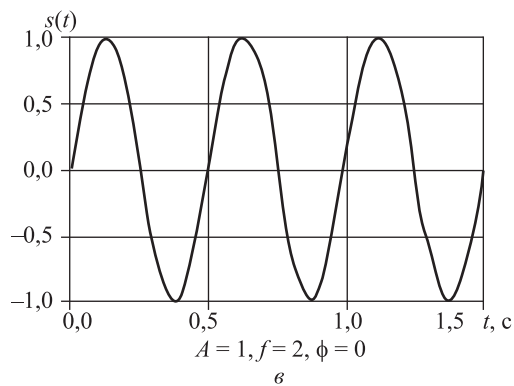
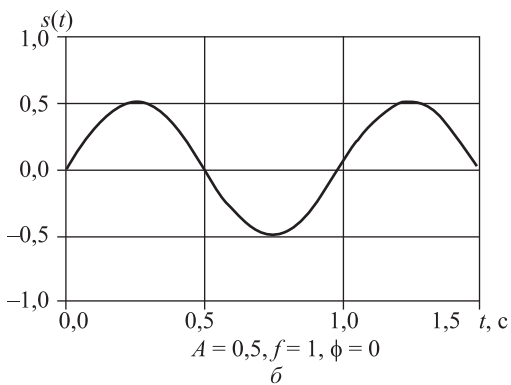
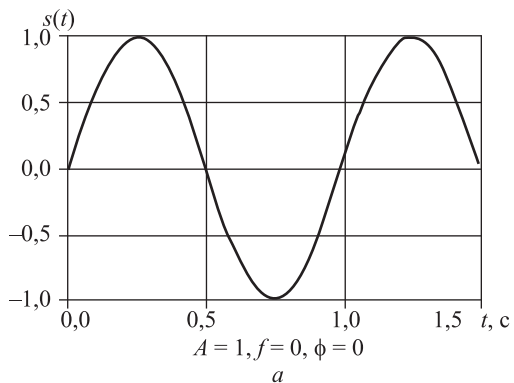


Рис. 1.7. Изменение параметров синусоидального сигнала

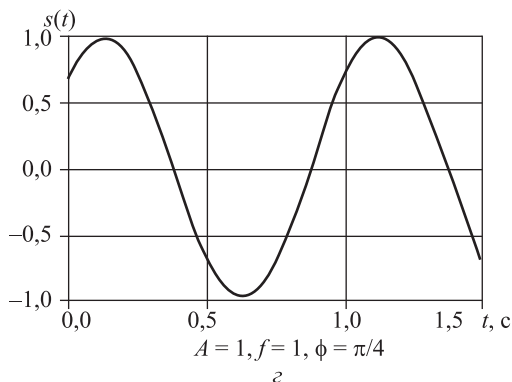


Рис. 1.7 (окончание). Изменение параметров синусоидального сигнала

$$s(t) = (\pi/4) \left(\sin(2\pi ft) + \frac{1}{3} 2\pi(3f)t \right).$$

Компоненты этого сигнала — простые синусоиды с частотами f и $3f$, изображенные на рис. 1.8, *а* и *б*.

Глядя на эти графики, можно отметить две интересные особенности.

- Вторая частота кратна первой. Когда все частоты являются кратными одной частоте, то последнюю называют *основной гармоникой*.
- Период всего сигнала равен периоду основной гармоники. Период компонента $\sin(2\pi ft)$ составляет $T = 1/f$. Из графика $s(t)$ видно, что период сигнала также равен T .

Любой электромагнитный сигнал можно сформировать, складывая достаточное количество синусоид с соответствующими амплитудами, частотами и фазами. Другими словами, любой электромагнитный сигнал состоит из ряда периодических аналоговых сигналов (синусоид), различающихся амплитудами, частотами и фазами.

Спектр сигнала — диапазон частот, из которых состоит сигнал. Спектр сигнала, изображенного на рис. 1.8, *в*, простирается от f до $3f$. Абсолютная полоса частот сигнала равняется ширине спектра. Полоса частот сигнала на рис. 1.8, *в*, равна $3f - f = 2f$. Множество сигналов обладают бесконечной полосой частот. Однако большая часть энергии любого сигнала заключена в сравнительно узком частотном

диапазоне. Этот диапазон называют эффективной полосой частот или просто *полосой частот*.

Спектр — абсолютный непрерывный ряд частот.

Полоса частот — разность между предельными частотами частотного диапазона.

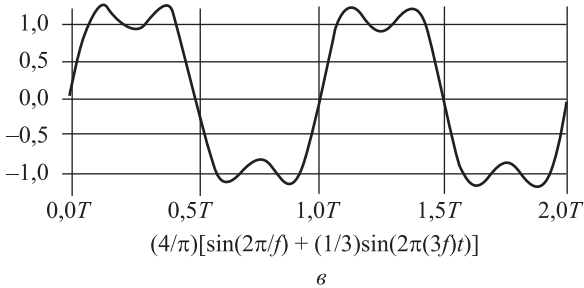
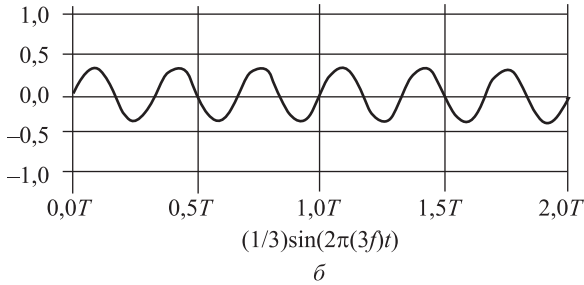
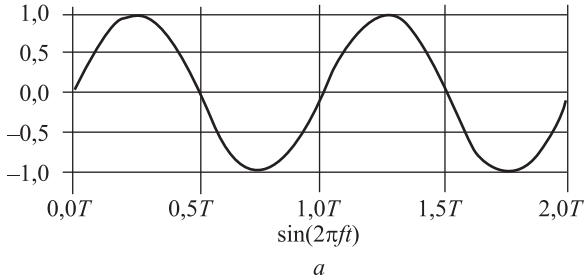


Рис. 1.8. Сложение компонентов с различными частотами

Имеется прямая связь между информационной емкостью сигнала и его полосой частот. Чем больше полоса частот, тем больше информационная емкость сигнала. В качестве простого примера рассмотрим меандр, изображенный на рис. 1.6, б. Предположим,

что положительный импульс представляет собой двоичный нуль, а отрицательный импульс — двоичную единицу. Сигнал на рис. 1.6, б, представляет двоичный поток данных 0101... Длительность каждого импульса равна $1/(2f)$, что соответствует скорости передачи данных $2f$ бит/с. Для того чтобы понять, каковы частотные компоненты сигнала, вернемся к рис. 1.8. Складывая синусоиды с частотами f и $3f$, мы получаем сигнал, напоминающий исходный меандр. Продолжим этот процесс, добавив синусоиду с частотой $5f$ (рис. 1.9, а), а затем добавим синусоиду с частотой $7f$ (рис. 1.9, б). При добавлении правильно отмасштабированных нечетных кратных частоты f полученная форма сигнала приближается к меандру (рис. 1.9, в).

В самом деле, можно показать, что меандр амплитуды A выражается следующим образом через синусоидальные гармоники:

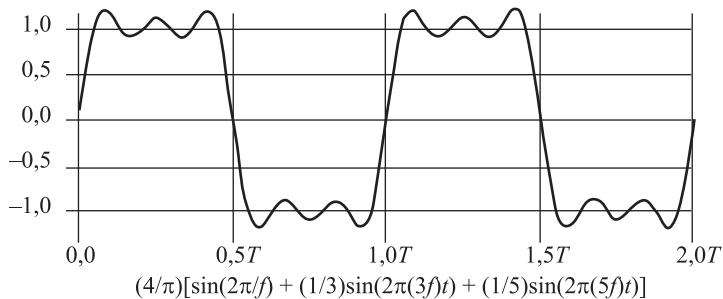
$$s(t) = A \frac{4}{\pi} \sum_{\substack{k \text{ нечетное,} \\ k=1}}^{\infty} \frac{\sin(2\pi kft)}{k}.$$

Такой сигнал имеет бесконечное множество гармоник и, соответственно, бесконечную полосу частот. Однако амплитуда k -й гармоники на частоте kf равна всего лишь $1/k$, поэтому практически вся энергия сигнала заключена в нескольких первых гармониках. Что произойдет, если ограничить полосу частот первыми тремя гармониками? Ответ на этот вопрос дает рис. 1.9, а — форма сигнала оказывается достаточно близкой к меандру.

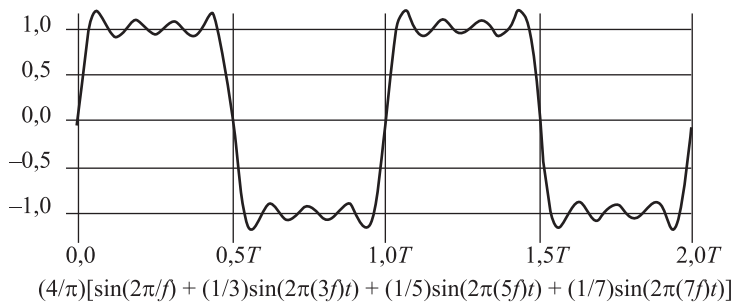
С помощью рис. 1.8 и 1.9 можно увидеть связь между скоростью передачи данных и полосой частот. Предположим, что мы используем цифровую систему передачи, способную передавать сигналы в полосе частот 4 МГц. Попробуем передать последовательность нулей и единиц, представляемую меандром на рис. 1.9, в. Чему равна скорость передачи данных? Рассмотрим три случая.

1. Аппроксимируем меандр сигналом, показанным на рис. 1.9, а. Хотя этот сигнал является искаженным меандром, он довольно близок к исходному, и приемник сможет выделить двоичные нули и единицы. Если частота $f = 10^6$ Гц = 1 МГц, то полоса частот сигнала, выраженная представленной ниже формулой, равняется $(5 \cdot 10^6)$ — $10^6 = 4$ МГц.

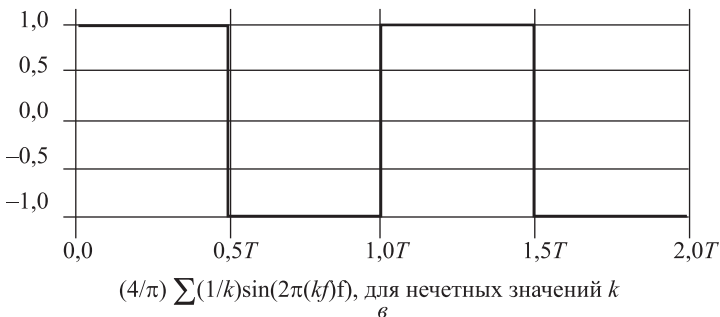
$$s(t) = \frac{\pi}{4} \left[\sin\left((2\pi \times 10^6)t\right) + \frac{1}{3} \sin\left((2\pi \times 3 \times 10^6)t\right) + \frac{1}{5} \sin\left((2\pi \times 5 \times 10^6)t\right) \right].$$



a



б



в

Рис. 1.9. Частотные компоненты меандра

Обратим внимание, что для частоты $f = 1 \text{ МГц}$ период основной гармоники $T = 1/10^6 = 1 \text{ мкс}$. Если мы рассмотрим этот сигнал как битовую строку из перемежающихся нулей и единиц, то каждый бит меняется раз в $0,5 \text{ мкс}$; скорость передачи данных при этом составляет $2 \cdot 10^6 = 2 \text{ Мбит/с}$. Поэтому для полосы частот в 4 МГц можно достичь скорости передачи данных 2 Мбит/с .

Теперь предположим, что полоса частот равна 8 МГц. Вновь рассмотрим рис. 1.6, *a*, считая теперь, что $f = 2$ МГц. Повторяя рассуждения для случая 1, мы увидим, что полоса частот сигнала равна $(5 \cdot 10^6) - 2 \cdot 10^6 = 8$ МГц. Но в этом случае $T = 1/f = 0,5$ мкс, поэтому каждый бит меняется раз в 0,25 мкс, что соответствует скорости передачи данных 4 Мбит/с. Таким образом, при прочих равных условиях увеличение частотного диапазона в два раза приводит к удвоению потенциальной скорости передачи данных.

Пусть теперь сигнал, представленный на рис. 1.8, *в*, считается достаточно хорошим приближением к меандру. Это означает, что разность между положительными и отрицательными импульсами на рис. 1.8, *в* достаточно велика, чтобы применять такой сигнал для представления последовательности единиц и нулей. Предположим, как и в случае 2, что $f = 2$ МГц, $T = 1/f = 0,5$ мкс. Тогда каждый бит меняется раз в 0,25 мкс, что соответствует скорости передачи данных 4 Мбит/с. Поэтому канал с фиксированной полосой частот допускает различные скорости передачи данных в зависимости от того, насколько хорошо приемник различает 0 и 1 в присутствии шума и других помех. Подводя итог, мы видим:

- в первом случае полоса частот равна 4 МГц, а скорость передачи данных — 2 Мбит/с;
- во втором случае полоса частот равна 8 МГц, а скорость передачи данных — 4 Мбит/с;
- в третьем случае полоса частот равна 4 МГц, а скорость передачи данных — 4 Мбит/с.

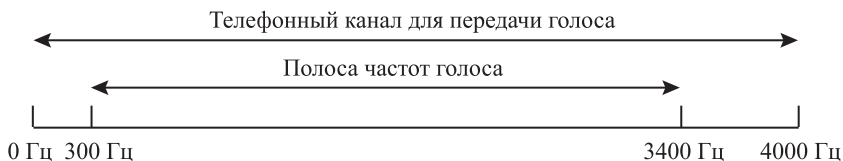
Мы приходим к следующим выводам. Вообще говоря, любой цифровой сигнал имеет бесконечную полосу частот. При передаче такого сигнала в любой среде передающая система ограничит частотный диапазон сигнала. Более того, чем шире передаваемый диапазон, тем дороже обходится передача данных. Поэтому, с одной стороны, экономические и практические соображения диктуют необходимость представления цифровой информации сигналами с конечной полосой частот. С другой стороны, ограничение полосы частот приводит к ухудшению формы сигнала, что затрудняет интерпретацию принятой информации. Чем уже полоса частот, тем большие искажения возникают при передаче и тем больше вероятность ошибки приемника.

1.5. Аналоговые сигналы. Аудиосигналы

Поскольку значение аналогового сигнала непрерывно меняется, мы можем сказать, что аналоговая информация — это такая информация, которая принимает непрерывный ряд значений. Наиболее известным примером аналоговой информации служит звуковая (аудио), или акустическая, информация, которая непосредственно воспринимается людьми в виде звуковых волн. Одним из видов акустической информации является, конечно, человеческая речь, гармоника которой лежит в полосе от 20 Гц до 20 кГц. Такую информацию проще всего преобразовать в электромагнитный сигнал. Фактически все звуковые гармоники, амплитуды которых определяются громкостью, преобразуются в электромагнитные частоты (их амплитуды выражаются в вольтах). Телефонная трубка — это преобразователь звука в электромагнитный сигнал.

Таким образом, звуковую волну можно преобразовать в электромагнитный сигнал, занимающий ту же спектральную область. Необходимо, однако, компромисс между качеством звука, передаваемого посредством электромагнитного сигнала, и стоимостью передачи, повышающейся с ростом полосы частот. Хотя диапазон человеческого голоса обладает спектром от 20 Гц до 20 кГц, исследования показали, что и в значительно более узкой полосе частот (от 300 до 3400 Гц) воспроизведение голоса может быть вполне приемлемым. Хотя лежащие вне этой полосы частоты обрезаются, остаток сигнала звучит достаточно естественно. По этой причине телефонные сети могут использовать коммуникационные средства, ограничивающие передачу голоса узким диапазоном частот (рис. 1.10). Ослабление требований к пропускной способности приводит к снижению стоимости коммуникационного оборудования.

Из рисунка видно, что действительная полоса частот телефонных линий составляет 4 кГц, а не 3,4 кГц. Дополнительные полосы на краях служат для изоляции звукового сигнала от помех, идущих от соседних полос частот. При передаче голоса телефонная трубка преобразует звуковую волну в аналоговый электромагнитный сигнал в диапазоне частот от 300 до 3400 Гц. Этот сигнал передается по телефонным линиям до телефонного аппарата абонента, который преобразует пришедшую электромагнитную волну в звуковую [15].



Речь человека состоит из множества гармоник, но естественное звучание можно сохранить, ограничив полосу частот диапазоном от 300 до 3400 Гц. Телефонное оборудование позволяет передавать голос в диапазоне 4000 Гц. Полоса частот телефонных линий имеет защитный диапазон на каждом конце передаваемой полосы, позволяющий предотвратить помехи от соседних каналов, возникающие в результате мультиплексирования

Рис. 1.10. Полоса частот

1.6. Цифровые сигналы

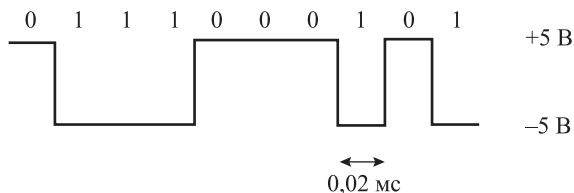
Термин *цифровые*, или *дискретные*, *сигналы* обычно относится к передаче электромагнитных импульсов, представляющих два двоичных разряда 1 и 0. Например, положительный импульс может соответствовать двоичному нулю, а отрицательный импульс — двоичной единице. Напротив, один двоичный разряд можно представлять в виде постоянного импульса напряжения, а другой — отсутствием напряжения. В любом случае двоичные данные представляются в виде сигналов напряжения. Двоичные данные могут формироваться терминалами, компьютерами и иным оборудованием обработки данных, затем информация преобразуется для передачи в дискретные импульсы напряжения (рис. 1.11). Как правило, нас интересуют данные в виде чисел или текста. В любом случае информацию необходимо преобразовать в двоичный формат, затем ее можно представить в виде цифрового сигнала.

Люди представляют числа в десятичной системе счисления. Для этого используются 10 разрядов. Положение разряда определяет его старшинство. Так, десятичное число 83 означает 8 десятков и 3 единицы:

$$83 = (8 \times 10) + 3.$$

Число же 4728 означает следующее:

$$4728 = (4 \times 1000) + (7 \times 100) + (2 \times 10) + 8.$$



Данные, вводимые пользователем в персональный компьютер, преобразуются в поток двоичных разрядов (1 и 0). На графике показан типичный цифровой сигнал. Двоичная система представлена напряжением -5 В , двоичный ноль — напряжением $+5\text{ В}$. Длительность каждого бита составляет $0,02\text{ мс}$, скорость передачи данных равняется $50\,000\text{ бит/с}$ (50 Кбит/с)

Рис. 1.11. Преобразование информации в двоичный сигнал

Основанием десятичной системы является число 10. То есть каждый разряд числа умножается на 10 в степени, соответствующей положению разряда:

$$83 = (8 \times 10^1) + 3;$$

$$4728 = (4 \times 10^3) + (7 \times 10^2) + (2 \times 10^1) + 8.$$

В двоичной системе счисления разряд может принимать одно из двух значений: 0 или 1. Поэтому числа в двоичной системе представлены по основанию 2.

Как и в десятичном формате, каждое значение разряда зависит от его положения (первое число в каждой строке двоичное):

$$= (1 \times 2) + 0 \text{ — десятичное значение } 2;$$

$$= (1 \times 2) + 1 \text{ — десятичное значение } 3;$$

$$100 = (1 \times 2^2) + (0 \times 2) + 0 \text{ — десятичное значение } 4.$$

Двоичная запись может использоваться для представления дробей и отрицательных чисел. Дальнейшие сведения о двоичной системе выходят за рамки данного пособия [15].

2. Методы модуляции

Процесс модуляции заключается в изменении одного или нескольких параметров сигнала-переносчика по закону передаваемого сообщения. В качестве переносчиков могут использоваться синусоидальные, импульсные, периодические фазоманипулированные (ФМн) и другие сигналы.

Главное свойство сигналов-переносчиков — их периодичность. Наиболее распространенным сигналом-переносчиком является гармоническое колебание

$$S(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \phi_0), \quad (2.1)$$

где A_0 , ω_0 , ϕ_0 — соответственно амплитуда, несущая частота и начальная фаза [5,6].

2.1. Аналоговые методы модуляции

2.1.1. Амплитудная модуляция (АМ)

АМ-сигнал можно записать как

$$S_{\text{АМ}}(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0), \quad (2.2)$$

где
$$A(t) = A_0 [1 + MU(t)], \quad (2.3)$$

$U(t)$ — модулирующий сигнал; M — коэффициент амплитудной модуляции, характеризующий ее глубину (рис. 2.1).

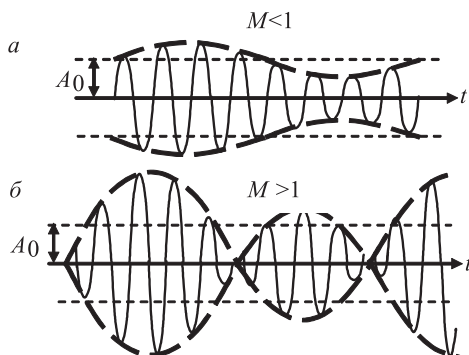


Рис. 2.1. Вид АМ-сигнала при различных коэффициентах модуляции

Очевидно, неискаженная передача сигнала $U(t)$ возможна только при

$$1 + MU(t) \geq 0. \quad (2.4)$$

Если $U(t)$ нормирован, т. е. $|U(t)| \leq 1$, выражение (2.4) выполняется, когда $M < 1$ (рис. 2.1, а).

При $M > 1$ в передаваемом сигнале возникают искажения в результате так называемой перемодуляции (рис. 2.1, б).

Необходимость выполнения условия (2.2) приводит к ограничению динамического диапазона модулятора сверху.

Рассмотрим особенности спектра АМ-сигнала. Для этого возьмем гармонический модулирующий сигнал

$$U(t) = \cos(\Omega t + \Phi). \quad (2.5)$$

Тогда, согласно формулам (2.2) и (2.3),

$$S_{AM}(t) = A_0 [1 + M \cos(\Omega t + \Phi)] \cos(\omega_0 t + \phi_0) = A_0 \cos(\omega_0 t + \phi_0) + \frac{A_0 M}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \phi_0 + \Phi] + \frac{A_0 M}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \phi_0 - \Phi]. \quad (2.6)$$

В выражении (2.6) первое слагаемое является немодулированным несущим колебанием, второе — синусоидальным колебанием с частотой $(\omega_0 + \Omega)$ в верхней боковой полосе (ВБП), а третье — синусоидальным колебанием с частотой $(\omega_0 - \Omega)$ в нижней боковой полосе (НБП) (рис. 2.2).

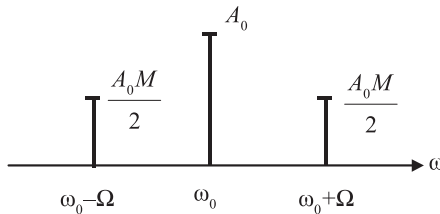


Рис. 2.2. Спектральный состав АМ-сигнала

Построим векторную диаграмму составляющих АМ-сигнала (рис. 2.3).

При сложном сигнале $U(t)$ выражение (2.6) выполняется для его каждой частотной компоненты. В результате можно сделать следующие выводы:

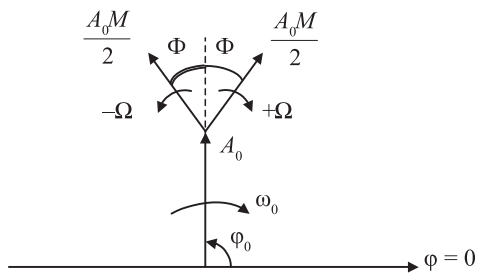


Рис. 2.3. Векторная диаграмма составляющих АМ-сигнала

1. Амплитудный спектр АМ-сигнала симметричен относительно несущей частоты ω_0

$$|S_{\text{AM}}(\omega_0 + \Omega)| = |S_{\text{AM}}(\omega_0 - \Omega)|. \quad (2.7)$$

2. Фазовый спектр АМ-сигнала асимметричен относительно ω_0

$$\phi(\omega_0 + \Omega) = -\phi(\omega_0 - \Omega). \quad (2.8)$$

3. Ширина спектра АМ-сигнала равна удвоенной верхней частоте $F_{\text{в}}$ модулирующего сигнала $U(t)$:

$$\Delta f_{\text{AM}} = 2F_2, \quad F_2 = \frac{\Omega_2}{2\pi}. \quad (2.9)$$

4. При $M = 1$ пиковая мощность АМ-сигнала в 4 раза превышает его среднюю мощность

$$P_{\text{AM max}} = 4P_{\text{AM ср}}. \quad (2.10)$$

5. Средняя мощность АМ-сигнала равна

$$P_{\text{AM ср}} = \frac{A_0^2}{2} + \frac{A_0 M^2}{4}, \quad (2.11)$$

откуда следует, что при $M = 1$ только треть мощности сигнала находится в его боковых полосах (расходуется непосредственно на передачу информации), а остальная часть расходуется на передачу немодулированной несущей, т. е. с информационной точки зрения — бесполезно. Однако передача немодулированной несущей резко упрощает прием АМ-сигнала.

2.1.2. Балансная амплитудная модуляция (БАМ)

При БАМ модулирующий сигнал $U(t)$ просто перемножается с несущим колебанием. Если $U(t)$ определить выражением (2.5), то

$$S_{\text{БАМ}}(t) = A_0 \cos(\Omega t + \Phi) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{A_0}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \Phi] + \frac{A_0}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0 - \Phi]. \quad (2.12)$$

Сигнал $S_{\text{БАМ}}(t)$ и его спектр $S_{\text{БАМ}}(\omega)$ приведены на рис. 2.4 и 2.5.

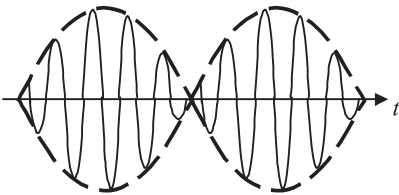


Рис. 2.4. Вид БАМ-сигнала

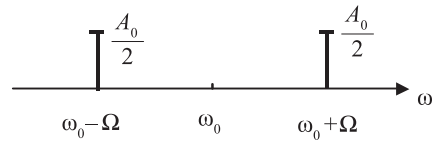


Рис. 2.5. Спектр БАМ-сигнала

Как следует из формулы (2.12) и рис. 2.4 и 2.5, БАМ-сигнал не содержит несущего колебания, следовательно, при одинаковой средней мощности мощность его боковых (информационных) полос в 3 раза больше, чем у АМ-сигнала. Кроме энергетических, характеристики БАМ- и АМ-сигналов совпадают.

Платой за отсутствие несущей при передаче является необходимостью ее восстановления в приемнике, что существенно отражается на его сложности.

2.1.3. Однополосная амплитудная модуляция (ОБП или SSB-сигналы)

При однополосной модуляции из АМ-сигнала выделяется одна из боковых полос, верхняя или нижняя, фильтровым (рис. 2.6) или квадратурным (рис. 2.7) способом.

Квадратурный способ основан на следующих формулах:

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta,$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta.$$

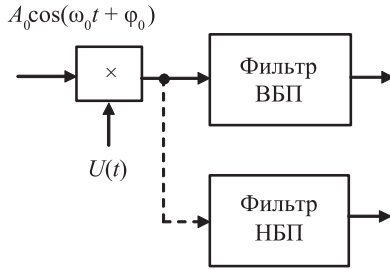


Рис. 2.6. Фильтровый способ формирования сигнала ОБП

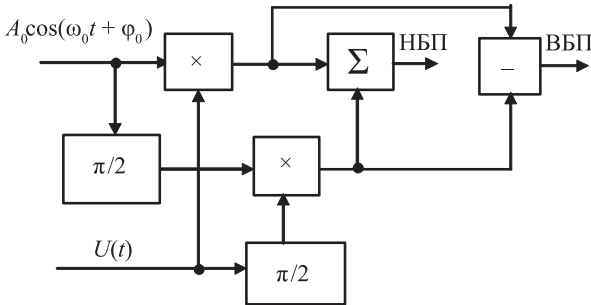


Рис. 2.7. Квадратурный способ формирования сигнала ОБП

Сигнал с одной боковой полосой (ОБП) может передаваться с остатком несущего колебания или без него и представляет собой сигнал $U(t)$, смещенный в область частоты ω_0 .

$$\text{При } U(t) = \cos \Omega_1 t + \cos \Omega_2 t = 2 \cos \left(\frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2} t \right) \cos \left(\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} t \right)$$

его можно записать в виде

$$\begin{aligned} S_{\text{ВБП}}(t) &= \cos(\omega_0 + \Omega_1)t + \cos(\omega_0 + \Omega_2)t = \\ &= 2 \cos \left(\frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2} t \right) \cos \left(\omega_0 + \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} t \right). \end{aligned} \quad (2.13)$$

Очевидно, полоса частот ОБП-сигнала в два раза уже, чем у АМ-сигнала

$$\Delta f_{\text{ОБП}} = 1/2 \Delta f_{\text{АМ}} = F_2, \quad (2.14)$$

следовательно, в энергетическом отношении ОБП-сигнал в 6 раз эффективнее АМ.

Огибающая ОБП-сигнала отличается от $U(t)$, поэтому его амплитудное детектирование без искажений невозможно.

Прием без искажений требует точного воспроизведения частоты несущего колебания. При приеме речевых сообщений допустима погрешность в несколько герц [9,11].

2.1.4. Угловая модуляция

При угловой модуляции амплитуда сигнала-переносчика (2.1) остается постоянной, а изменяется его полная фаза либо за счет изменения несущей частоты (частотная модуляция), либо непосредственно фазы (фазовая модуляция).

Сигналы $S_{\text{ЧМ}}(t)$ и $S_{\text{ФМ}}(t)$ при одинаковом модулирующем сигнале показаны на рис. 2.8, откуда следует, что они различаются законом изменения несущей частоты.

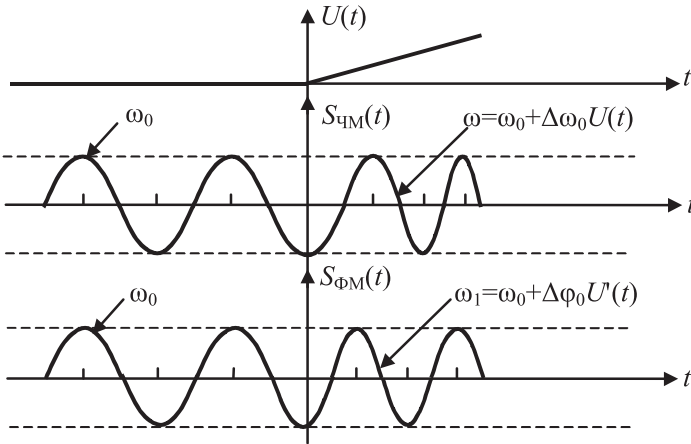


Рис. 2.8. Различие сигналов при частотной и фазовой модуляциях

Фазовая модуляция (ФМ)

ФМ-сигнал представляется как

$$S_{\text{ФМ}}(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + \Delta\phi_m U(t)] \quad (2.15)$$

где $\Delta\phi_m$ — индекс ФМ (девиация фазы при $|U(t)| \leq 1$).

Если $|U(t)| > 1$, его нормируют: $U_H(t) = \frac{U(t)}{U_m}$. Тогда $\Delta\phi_m = \Delta\phi_0 U_m$, $U_m = |U(t)|_{\max}$, $\Delta\phi_0 = \text{const}$.

Мгновенная частота ФМ-сигнала равна

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \omega_0 + \Delta\phi_m U'_H(t) \quad (2.16)$$

Если $U_H(t) = \sin(\Omega t + \Phi)$, $U'_H(t) = \Omega \cos(\Omega t + \Phi)$.

Следовательно, при ФМ девиация частоты зависит от амплитуды и частоты модулирующего сигнала.

Можно показать, что ширина спектра ФМ-сигнала определяется формулой

$$\Delta f_{\text{ФМ}} \approx 2(\Delta\phi_m + 1)F_B \quad (2.17)$$

и также зависит от верхней частоты модулирующего сигнала, что является недостатком.

При $\Delta\phi_m \ll 1$ девиация частоты мала и сигнал является узкополосным и ширина его спектра совпадает с шириной спектра АМ-сигнала. В этом случае узкополосный ФМ-сигнал можно представить как

$$S_{\text{ФМ}}^y(t) = A_0 \cos \omega_0 t - A_0 \Delta\phi_m U_H(t) \sin \omega_0 t. \quad (2.18)$$

Следует заметить, что ФМ является нелинейной в отличие от линейной АМ. Если при АМ каждая новая частота, добавляемая в $U(t)$, приводила к появлению только двух боковых колебаний, то в случае ФМ появляются и другие комбинационные частоты. Однако, при малых индексах ФМ приближенно можно считать линейной, пренебрегая комбинационными составляющими.

Реализовать узкополосную ФМ можно на основе расстроенного контура с варикапом, либо, согласно выражению (2.18), как показано на рис. 2.9. При этом в качестве генератора несущей частоты можно использовать высокостабильный кварцевый генератор.

С увеличением $\Delta\phi_m$ амплитуды боковых составляющих увеличиваются, а амплитуда несущего колебания уменьшается. Переход к широкополосной ФМ обеспечивает повышение энергетической эффективности передачи и помехоустойчивости приема.

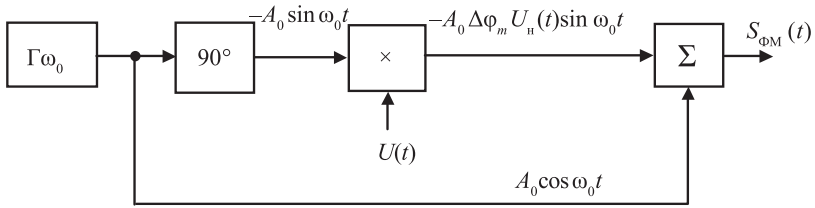


Рис. 2.9. Схема формирования узкополосного ФМ-сигнала

Повышение помехоустойчивости при переходе от АМ к ФМ определяется формулой

$$\frac{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{ФМ}}}{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{АМ}}} \equiv \left(\frac{\Delta f_{\text{ФМ}}}{2F_B}\right)^2. \quad (2.19)$$

Частотная модуляция (ЧМ)

ЧМ-сигнал можно записать в виде

$$S_{\text{ЧМ}}(t) = A_0 \cos \left[\omega_0 t + \Delta \omega_m \int_0^t U(\tau) d\tau \right], \quad (2.20)$$

где $\Delta \omega_m$ — девиация частоты (при $|U(t)| \leq 1$). При $|U(t)| > 1$ $\Delta \omega_m = \Delta \omega_0 U_m$.

Его мгновенная частота равна

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta \omega_m U_H(t). \quad (2.21)$$

Из сравнения выражений (2.20) с (2.15) и (2.20) с (2.21) следует, что если сначала проинтегрировать модулирующий сигнал $U(t)$, а затем полученным колебанием осуществить фазовую модуляцию несущей, то получится ЧМ-сигнал (по закону изменения мгновенной частоты). И наоборот, если продифференцировать $U(t)$ и полученное колебание использовать для модуляции частоты, то получится ФМ-сигнал. В приемниках интегрирующие или дифференцирующие цепочки включаются на выходах частотного или фазового детекторов для коррекции.

При ЧМ девиация частоты зависит только от амплитуды модулирующего сигнала и не зависит от его частоты. Следовательно, ширина спектра ЧМ-сигнала

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} \approx 2\Delta\omega_m \quad (2.22)$$

не зависит от $F_{\text{в}}$.

Величина $\frac{\Delta\omega_m}{\Omega_2}$, равная отношению наибольшего отклонения мгновенной несущей частоты к верхней частоте модулирующего сигнала, называется индексом ЧМ-сигнала

$$m_f = \frac{\Delta\omega_m}{\Omega_2}. \quad (2.23)$$

Ширина спектра узкополосного ЧМ-сигнала также совпадает с шириной спектра АМ-сигнала:

$$\Delta f_{\text{ЧМ}}^{\text{у}}(t) \approx 2F_{\text{в}}, \quad (2.24)$$

а векторная диаграмма аналогична ФМ.

ЧМ-сигнал можно получить, используя генератор, управляемый напряжением (ГУН), или, согласно схеме, приведенной на рис. 2.10.

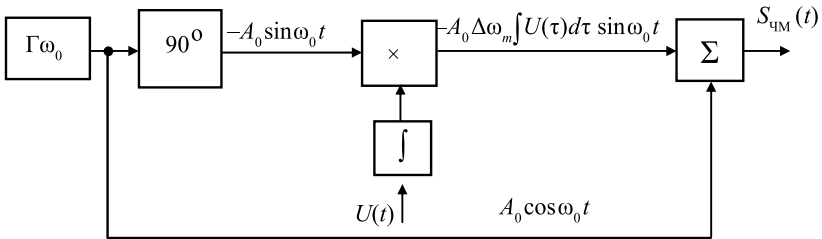


Рис. 2.10. Схема формирования узкополосного ЧМ-сигнала

При узкополосной ЧМ $m_f \ll 1$, при широкополосной $m_f \gg 1$. Значение $m_f = 1/\sqrt{3} \approx 0,6$ является граничным.

Ширина спектра широкополосного ЧМ-сигнала определяется формулой

$$\Delta f_{\text{ЧМ}}^{\text{ш}} \approx [\Delta f_m + 2F_{\text{в}}]. \quad (2.25)$$

Если $\Delta f_m \gg F_2$, $\Delta f_{\text{ЧМ}}^{\text{ш}} \approx \Delta f_m$. Для радиовещательных станций кГц.

В отношении энергетических характеристик и помехо устойчивости ФМ- и ЧМ-сигналы близки. Так, ЧМ с предскажемением (дифференцирование $U(t)$ при передаче) и коррекцией (интегрирование сигнала с выхода частотного детектора при приеме) эквивалентна ФМ.

Выигрыш ЧМ в помехоустойчивости по сравнению с АМ определяется формулой

$$\frac{\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{ЧМ}}}{\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{АМ}}} = 3m_f^2 = 3\left(\frac{\Delta f_{\text{ЧМ}}}{\Delta f_{\text{АМ}}}\right)^2. \quad (2.26)$$

Однако при одном и том же модулирующем сигнале требуемая полоса частот при угловой модуляции значительно шире, чем при АМ. Например, если $F_{\text{в}} = 10$ кГц, то ширина спектра АМ-сигнала равна 20 кГц, а ширина спектра ЧМ-сигнала составляет 150 кГц. За счет этого получается большой выигрыш в помехоустойчивости. При узкополосной ЧМ ширина спектра приблизительно равна 20 кГц и выигрыш незначителен.

2.2. Цифровые методы модуляции

В настоящее время все большая часть информации, передаваемой по разнообразным каналам связи, существует в цифровом виде. Это означает, что передаче подлежит не непрерывный (аналоговый) модулирующий сигнал, а последовательность целых чисел n_0, n_1, n_2, \dots , которые могут принимать значения из некоторого фиксированного конечного множества. Эти числа, называемые *символами* (symbol), поступают от источника информации с периодом T , а частота, соответствующая этому периоду, называется *символьной скоростью* (symbol rate): $f_T = 1/T$.

Часто используемым на практике вариантом является *двоичная* (binary) последовательность символов, когда каждое из чисел n_i может принимать одно из двух значений — 0 или 1.

Последовательность передаваемых символов является, очевидно, *дискретным* сигналом. Поскольку символы принимают значения

из конечного множества, этот сигнал фактически является и *квантованным*, то есть его можно назвать *цифровым* сигналом.

Типичный подход при осуществлении передачи дискретной последовательности символов состоит в следующем. Каждому из возможных значений символа сопоставляется некоторый набор параметров несущего колебания. Эти параметры поддерживаются постоянными в течение интервала T , то есть до прихода следующего символа. Фактически это означает преобразование последовательности чисел $\{n_k\}$ в ступенчатый сигнал $s_n(t)$ с использованием кусочно — постоянной интерполяции.

Полученный сигнал $s_n(t)$ далее используется в качестве модулирующего сигнала обычным способом.

Такой способ модуляции, когда параметры несущего колебания меняются скачкообразно, называется *манипуляцией* (keying). В зависимости от того, какие именно параметры изменяются, различают амплитудную (АМн), фазовую (ФМн), частотную (ЧМн) и квадратурную (КАМн) манипуляцию.

2.2.1. Амплитудная манипуляция (АМн)

Амплитудная манипуляция (АМн; английский термин — *Amplitude Shift Keying, ASK*), при которой скачкообразно меняется *амплитуда* несущего колебания, является частным случаем квадратурной манипуляции (КАМн; англ. *Quadrature Amplitude Shift Keying (QASK)*).

Построим в качестве примера график АМн-сигнала и скажем несколько слов о демодуляции сигналов данного типа.

Демодуляция АМн-сигнала может выполняться теми же методами, что и в случае квадратурной манипуляции (путем умножения на несущее колебание). Однако наличие всего лишь двух возможных значений начальной фазы несущей, отличающихся друг от друга на 180° , делает возможной реализацию автоматической подстройки начальной фазы с помощью петли ФАПЧ. Этот режим демодуляции реализуется функциями `ddemod` и `ddemodce` при указании вида манипуляции `'ask/costas'`.

Например, амплитудная манипуляция осуществляется функциями `dmod` (формируется вещественный выходной сигнал) и `dmodce` (формируется комплексная огибающая) пакета `Communications` при указании в них параметра типа модуляции `'ask'` (рис. 2.11).

Следующий за ним параметр M указывает количество используемых уровней манипуляции [7,8]. Символы, подлежащие передаче, должны принимать целочисленные значения, лежащие в диапазоне $0 \dots M - 1$. Символу 0 соответствует значение амплитуды, равное -1 , а символу $M - 1$ — значение амплитуды, равное $+1$. Остальные уровни равномерно распределены между этими значениями. Таким образом, строго говоря, в данном случае может меняться не только амплитуда, но и фаза несущего колебания (отрицательные амплитудные множители соответствуют изменению фазы на 180°).

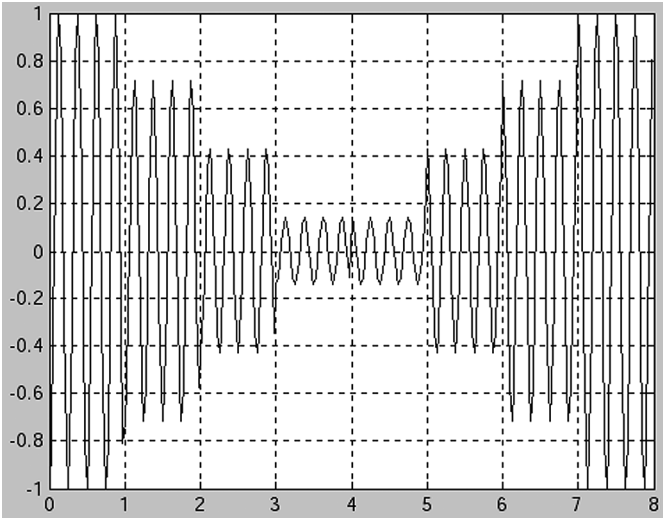


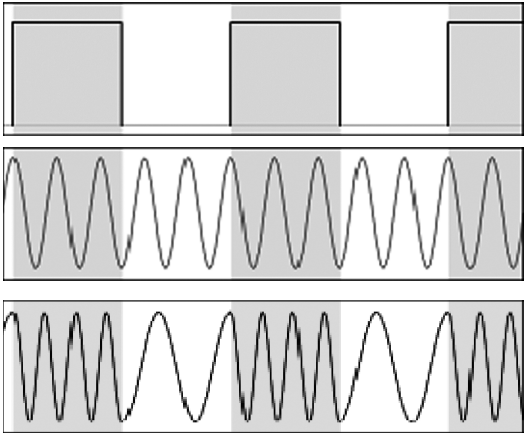
Рис. 2.11. Амплитудная манипуляция

На графике хорошо виден бросок фазы в середине сигнала. Кроме того, можно заметить, что фазы посылок в первой и второй половинах сигнала, имеющих одинаковые амплитуды, отличаются на 180° .

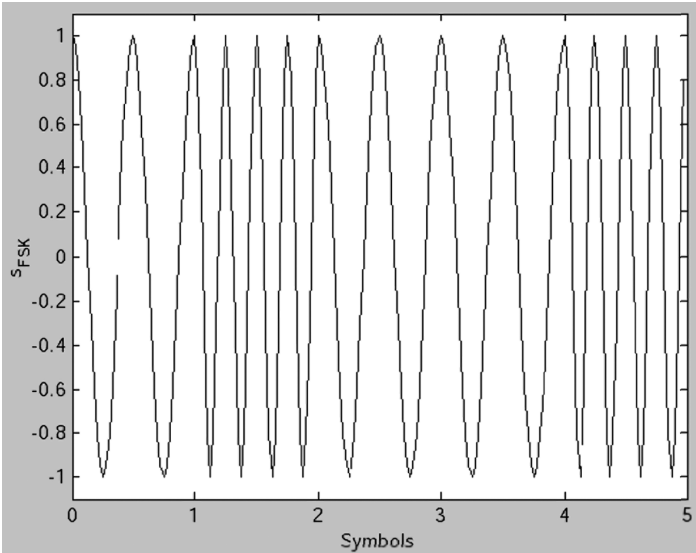
2.2.2. Частотная манипуляция (ЧМн)

ЧМн — *Frequency Shift Keying (FSK)*, значениям «0» и «1» информационной последовательности соответствуют определенные частоты синусоидального сигнала при неизменной амплитуде (рис. 2.12). Частотная манипуляция весьма помехоустойчива, поскольку помехи телефонного канала искажают в основном амплитуду, а не частоту сигнала. Однако при частотной манипуляции неэко-

номно расходуется ресурс полосы частот канала. Поэтому данный вид модуляции применяется в низкоскоростных протоколах, позволяющих осуществлять связь по каналам с низким отношением сигнал/шум.



а



б

Рис. 2.12. Частотная манипуляция

На графике хорошо заметно двукратное изменение частоты сигнала при смене значения передаваемого бита. В данном примере на длительности символа укладывается два периода колебания при передаче нулевого бита и четыре периода — при передаче единичного бита.

Частотная манипуляция с минимальным сдвигом

Minimal Shift Keying (MSK) представляет собой способ модуляции, при котором нет скачков фазы и изменение частоты происходит в моменты пересечения несущей нулевого уровня. MSK уникальна, потому что значения частот, соответствующих логическим «0» и «1», различаются на величину, равную половине скорости передачи данных. Другими словами, индекс модуляции равен 0,5:

$$m = \Delta f \cdot T,$$

где $\Delta f = |\text{флог. 1} - \text{флог. 0}|$, T — длительность бита.

Например, при скорости передачи 1200 бит/с MSK сигнал будет сформирован из колебаний с частотами 1200 Гц и 1800 Гц, соответствующих логическим «0» и «1».

Гауссовская частотная манипуляция с минимальным сдвигом

Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)

Преимущество данного вида модуляции в том, что он имеет минимальный уровень излучения на боковых и зеркальных частотах, т. е. не мешает другим пользователям эфира. Плотность информации — 1 бит на символ или на герц. Данный вид модуляции, как и MSK, относится к частотным видам модуляции с непрерывной фазой (англ. *Continuous Phase Frequency-Shift Keying, CPFSK*).

Модулирующий сигнал получается путем преобразования информационного потока из вида 0/1 в вид $-1/+1$. Затем $-1/+1$ сигнал фильтруется таким образом, что сформированный $+1/-1$ прямоугольный сигнал преобразуется в сигналы, имеющие форму гауссовского импульса. Далее полученный сигнал подается на ЧМ модулятор, и таким образом образуется полный сигнал GMSK. Если гауссовские импульсы не накладываются, то вид модуляции называют 1-GMSK. Если накладываются на 50% ($1/2$), то модуляцию называют 2-GMSK, и так далее. Чем больше наложение битов, тем более существенны межсимвольные искажения между соседними битами.

Используется для передачи данных в стандартах **GSM**, **DECT**, **CDPD** и **Mobitex**.

Фазовая манипуляция

Фазовая манипуляция (ФМн; английский термин — Phase Shift Keying, PSK), при которой скачкообразно меняется фаза несущего колебания, тоже является частным случаем квадратурной манипуляции. Была разработана в начале развития программы исследования дальнего космоса; сейчас схема PSK широко используется в коммерческих и военных системах связи. На практике фазовая манипуляция используется при небольшом числе возможных значений начальной фазы — как правило, 2, 4 или 8. Кроме того, при приеме сигнала сложно измерить *абсолютное* значение начальной фазы; значительно проще определить *относительный* фазовый сдвиг между двумя соседними символами. Поэтому обычно используется *фазоразностная* манипуляция (синонимы — дифференциальная фазовая манипуляция, относительная фазовая манипуляция; английский термин — *Differential Phase Shift Keying, DPSK*). Демодуляция фазовой манипуляции может выполняться тем же методом, что и в случае квадратурной манипуляции (путем умножения на несущее колебание). Применительно к ФМн данный метод демодуляции часто называется *корреляционным*.

Фазоманипулированный сигнал имеет следующий вид (рис. 2.13):

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[2\pi f_c t + \varphi_i(t)].$$

Фазовый член $\varphi_i(t)$ может принимать M дискретных значений.

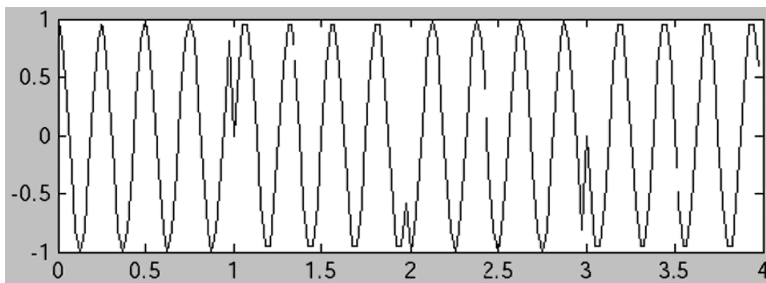


Рис. 2.13. Фазоманипулированный сигнал

На графике видны скачки фазы на 90° , происходящие при переходе от одного символа к другому.

ФМн-сигналы в настоящее время используются во многих системах связи. Бинарная ФМн (*BPSK*) обеспечивает максимальную помехоустойчивость, т. к. использует противоположные сигналы — радиоимпульсы с начальными фазами 0 и π (рис. 2.14).

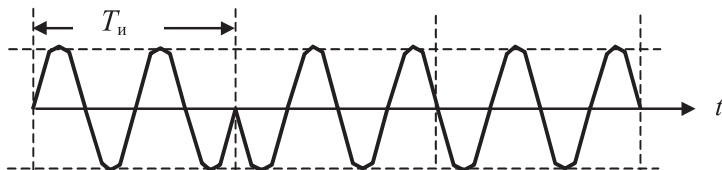


Рис. 2.14. Вид сигнала *BPSK*

BPSK эквивалентна балансной амплитудной манипуляции несущей бинарным цифровым сигналом. Поэтому формирование спектра радиосигнала можно осуществить путем низкочастотной фильтрации цифрового сигнала.

Демодуляция *BSPK*-сигнала может быть когерентной и некогерентной — автокорреляционной (путем сравнения фаз поступающего и предыдущего элементов). В обоих случаях необходимо относительное кодирование цифрового сигнала. При формировании относительно кодируемого бита d_k сравниваются текущий бит b_k информационной последовательности $\{b_k\}$ и предыдущий бит d_{k-1} . При одинаковых b_k и d_{k-1} формируется $d_k = 1$, при разных — $d_k = 0$.

Значение начального опорного бита последовательности $\{d_k\}$ может быть любым из двух возможных. Процесс относительного кодирования изображен на рис. 2.15.

Модем с относительным кодированием и имеющий схему восстановления несущей частоты обозначается *DEBPSK*, модем без схемы восстановления несущей обозначается *DBPSK*.

Квадратурная фазовая манипуляция (*QPSK*)

Один элемент *BPSK*-сигнала переносит 1 бит информации. *QPSK*-сигнал можно рассматривать как сумму двух квадратурных *BPSK*-сигналов, что следует из схемы формирования, приведенной на рис. 2.16.

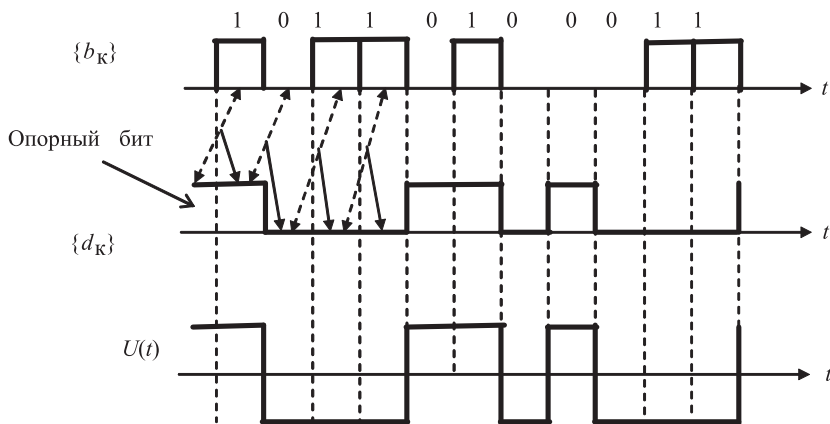


Рис. 2.15. Схема процесса относительного кодирования

Следовательно, при одинаковой полосе частот *QPSK*-сигнал позволяет вдвое повысить скорость передачи информации либо при той же скорости вдвое сократить полосу частот. Последовательность дибитов (пар битов, каждый длительностью $T_{\text{и}}$) преобразуется в элементы сигнала длительностью $2T_{\text{и}}$.

Формирование *QPSK*-сигнала представляется формулой

$$S_{QPSK}(t) = S_I(t) + S_Q(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + \theta(t)],$$

где $S_I(t) = \frac{A_0}{\sqrt{2}} U_{\text{н}}^{(2)}(t) \cos \omega_0 t$, $I(t) = U_{\text{н}}^{(2)}(t)$,

$$S_Q(t) = \frac{A_0}{\sqrt{2}} U_{\text{г}}^{(2)}(t + T_8) \sin \omega_0 t, \quad Q(t) = U_{\text{г}}^{(2)}(t + T_8),$$

$U_{\text{н}}^{(2)}(t)$ — последовательность нечетных элементов входного цифрового сигнала удвоенной длительности, $U_{\text{г}}^{(2)}(t)$ — последовательность четных элементов удвоенной длительности.

Временные диаграммы изображены на рис. 2.17.

Следует заметить, что введение опережения на $T_{\text{и}}$ последовательности $U_{\text{г}}^{(2)}(t)$ компенсирует ее задержку на $T_{\text{и}}$ из-за деления символов на четные и нечетные, т. е. устраняет сдвиг. Для устранения сдвига последовательность $U_{\text{н}}^{(2)}(t)$ можно задержать на $2T_{\text{и}}$, а последовательность $U_{\text{г}}^{(2)}(t)$ — на $T_{\text{и}}$.

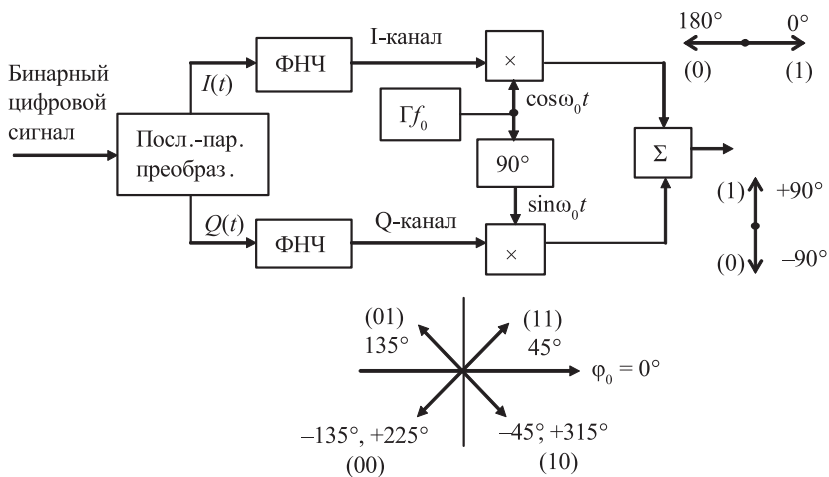


Рис. 2.16. Схема формирования *QPSK*-сигнала

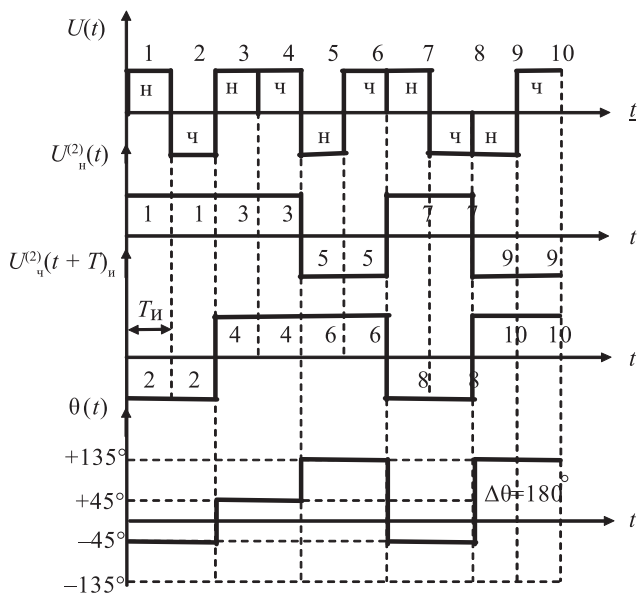


Рис. 2.17. Временные диаграммы процесса формирования *QPSK*-сигнала

При преобразовании часто используют код Грея. В результате соседние элементы (векторы на рис. 6) различаются только одним

битом. При приеме наиболее вероятны ошибки решения в пользу соседнего элемента, порождающие одиночные битовые ошибки, которые легко исправить [13].

Когерентные модемы с относительным кодированием и восстановлением несущей обозначаются *DEQPSK*, а без восстановления (с автокорреляционной демодуляцией) — *DQPSK*.

Недостатком *QPSK*, так же, как и *BPSK*-сигналов, является наличие фазовых переходов на 180° , которые приводят при фильтрации к провалам огибающей до нулевого уровня. При нелинейном усилении происходит сужение этих провалов, что приводит к расширению спектра сигнала, т. е. эффект фильтрации теряется. Восстановленные составляющие спектра порождают помехи соседним по частоте радиосистемам.

Кроме того, существуют следующие разновидности фазовой манипуляции:

- Квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом (*O-QPSK*);
- Фазовая манипуляция $\pi/4$ -*DQPSK*;
- Многофазная манипуляция (*M-PSK*);
- Амплитудно-фазовая манипуляция (*АФМн*);
- Квадратурная амплитудная манипуляция (*КАМ, QAM*).

3. Организация множественного доступа в системах связи

3.1. Общая схема уплотнения каналов

Для организации многоканальной передачи нескольких сигналов по одной линии связи необходимы операции уплотнения каналов в передающей части системы и разделения в приемной части.

При уплотнении каналов сообщения $U_i(t)$ от N независимых источников необходимо преобразовать в единый групповой сигнал $X_{\Sigma}(t)$. Для этого используют N вспомогательных колебаний-переносчиков $\Pi_i(t)$, $i=1,2,\dots,N$. Обычно стремятся, чтобы переносчики были ортогональными.

Общая схема уплотнения каналов приведена на рис. 3.1.

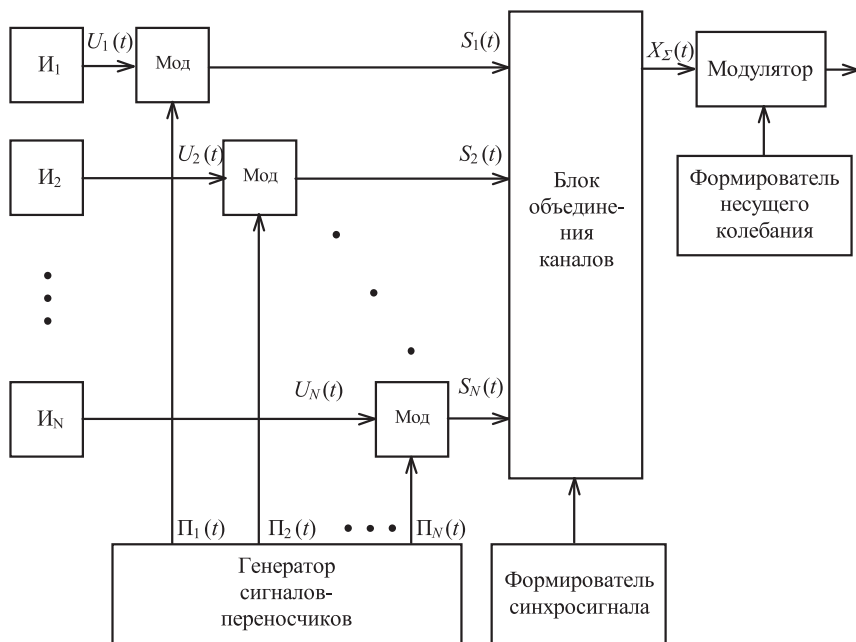


Рис. 3.1. Общая схема уплотнения каналов: Мод — модуляторы; $S_i(t)$ — каналные сигналы

Возможны два метода уплотнения каналов: линейный (суммирование) и нелинейный (например, по мажоритарному принципу).

В зависимости от формы переносчиков используют три основных вида уплотнения: частотное, временное и кодовое.

Понятие множественного доступа (multiple access) связано с организацией совместного использования многими пользователями ограниченного частотного спектра, выделенного для функционирования конкретной системе связи (например, системе AMPS). Если сравнить каждого пользователя с конкретным физическим каналом, то можно сделать вывод: каждая конкретная технология множественного доступа — это способ распределения ограниченного частотного спектра между имеющимися каналами передачи.

Представим, что $U_i(t)$ — это сигнал, на основе которого построен i -й канал связи, где $i = 1, 2, \dots, K$ (K — общее число каналов в системе). В этом случае на основании линейной модели среды распространения и пренебрегая потерями мощности сигнала в канале передачи, сигнал на приемной стороне можно представить в виде [6]:

$$y(t) = \sum_{i=1}^K \alpha_i U_i(t - \tau_i) + \eta(t), \quad (3.1)$$

где α_i , τ_i — затухание и задержка i -го сигнала в канале передачи; $\eta(t)$ — сопутствующий передаче шум.

Из анализа выражения (3.1) можно сделать вывод: каждый из сигналов, входящих в первое слагаемое, несет в себе информацию, переданную i -м пользователем (или адресованную только ему). Таким образом, при приеме необходимо выделить сообщение именно i -го абонента. Кроме этой задачи необходимо устранить побочные (мешающие) сигналы.

Известно, что для линейной селекции любого компонента суперпозиции сигналов с устранением влияния остальных компонентов необходима и достаточна линейная независимость всех сигналов, т. е. они должны быть ортогональными. Данное условие можно записать в виде

$$\int_0^{T_p} U_i(t) U_j(t) dt = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ E_i, & i = j \end{cases}, \quad (3.2)$$

где E_i — энергия i -го сигнала; T_p — временной ресурс, отводимый системе. Ортогональность канальных сигналов может быть обеспе-

чена за счет их частичного или временного разнеса либо их кодирования. Ввиду этого в настоящее время находят применение три способа множественного доступа.

3.2. Множественный доступ с частотным разделением каналов

Множественный доступ с частотным разделением (Frequency Division Multiple Access — FDMA), или множественный доступ с разделением каналов связи по частоте, — самый простой из методов множественного доступа, как по своей идее, так и по реализации. В этом методе каждому абоненту на время сеанса связи выделяется своя полоса частот Δf (частотный канал), не совпадающая ни с одним из других каналов, которым абонент владеет безраздельно (рис. 3.2).

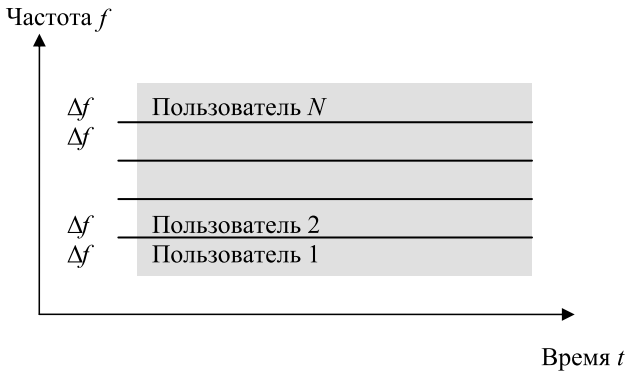


Рис. 3.2. Метод FDMA

На рис. 3.2 выделенный прямоугольник характеризует общий частотно-временной ресурс системы. Как видно, весь этот ресурс разделен на общее число абонентов системы N , каждому из которых выделен свой участок частот Δf .

Метод FDMA используется во всех аналоговых системах сотовой связи (системах первого поколения) — это единственный метод, который целесообразно применять в аналоговых системах. В этом случае полоса частот Δf составляет 10–30 кГц.

Основными недостатками метода частотного деления являются:

- недостаточная эффективность использования полосы частот;

- спектральный разнос каналов полностью исключает влияние каналов друг на друга только теоретически, т. к. на практике полностью избежать возникающих между каналами помех невозможно. Ввиду этого приходится принимать специальные меры, которые приводят к уменьшению полосы частот для связи, т. е. еще более снижают эффективность канала.

Устранить указанные недостатки можно при переходе к более совершенному методу временного разделения каналов.

3.3. Множественный доступ с временным разделением каналов

Множественный доступ с временным разделением каналов связи (Time Division Multiple Access — TDMA) достаточно прост по идее, но значительно сложнее в реализации, чем FDMA. Суть метода TDMA заключается в том, что каждый частотный канал разделяется во времени между несколькими пользователями, т. е. частотный канал по очереди предоставляется нескольким пользователям на определенный промежуток времени (рис. 3.3).

Строго говоря, приведенная на рис. 3.3 схема соответствует не чистому методу TDMA, а сочетанию FDMA с TDMA, поскольку рассматривается здесь случай не одного, а ряда частотных каналов, каждый из которых делится во времени между несколькими пользователями. Однако именно такая схема находит практическое применение в системах сотовой связи, и именно ее обычно называют схемой TDMA.

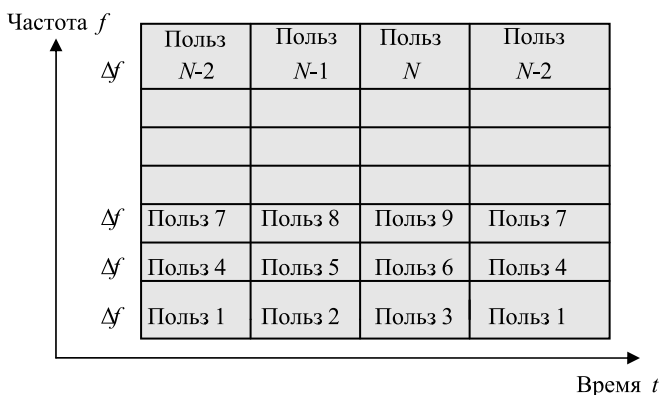


Рис. 3.3. Метод TDMA

Практическая реализация метода TDMA требует преобразования сигналов в цифровую форму и характерного «сжатия» информации во времени. Отметим, что разделение во времени может использоваться и для реализации прямых и обратных каналов дуплексной связи в одной и той же полосе частот (Time Division Duplex — TDD). Такое техническое решение находит применение в беспроводном телефоне. В сотовой связи обычно используется дуплексное разделение по частоте (Frequency Division Duplex — FDD), т. е. прямые и обратные каналы занимают разные полосы частот, смещенные одна относительно другой.

Метод TDMA, однако, сам по себе не реализует всех потенциальных возможностей по эффективности использования спектра. Дополнительные резервы открываются при использовании иерархических структур и адаптивного распределения каналов. Определенные преимущества в этом плане имеет метод множественного доступа с кодовым разделением.

3.4. Множественный доступ с кодовым разделением каналов

Множественный доступ с кодовым разделением (Code Division Multiple Access — CDMA) предоставляет группе пользователей (от 30 до 50) общую полосу частот шириной не менее 1 МГц (рис. 3.4).

Основная особенность метода CDMA — это работа в широкой полосе частот, значительно превышающей полосу сигнала речи, в сочетании с таким кодированием информации каждого из физических каналов, которое позволяет выделять ее из общей широкой полосы, используемой одновременно всеми физическими каналами.

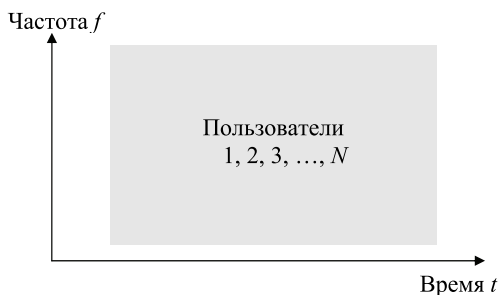


Рис. 3.4. Метод CDMA

Система связи, реализующая CDMA, является системой с *расширенным спектром* (spread spectrum) — спектр информационного сообщения искусственно расширяется посредством модуляции (кодирования) периодической псевдослучайной последовательностью импульсов с достаточно малыми дискретами (английский термин chip — буквально *щепка, осколок, фрагмент*), частота следования которых для практических систем составляет 1,2288 МГц. Так что при скорости информационной последовательности 9,6 кбит/с длительности одного бита соответствует 128 дискретов модулирующей псевдослучайной последовательности (ПСП). Полоса сигнала с расширенным спектром при этом на уровне 3 дБ составляет 1,23 МГц, причем при помощи цифрового фильтра формируется спектр, близкий к прямоугольному.

Для модуляции сигнала используются три вида функций: «короткая» и «длинная» ПСП и функции Уолша порядков от 0 до 63. Длина короткой ПСП составляет $2^{15}-1 = 32\,767$ знаков, длинной ПСП — $2^{42}-1 = 4,4 \cdot 10^{12}$ знаков. Длительность дискрета для всех трех модулирующих функций одинакова (для функций Уолша имеется в виду дискрет функций высшего порядка) и соответствует частоте следования дискретов 1,2288 МГц.

В прямом канале (от базовой станции к подвижной (рис. 3.5) модуляция сигнала функциями Уолша (бинарная фазовая манипуляция) используется для различения физических каналов данной базовой станции; модуляция длинной ПСП (бинарная фазовая модуляция) — с целью шифрования сообщений; модуляция короткой ПСП (квадратурная фазовая манипуляция двумя ПСП одинакового периода) — для расширения полосы и различения сигналов разных базовых станций [14].

Решение последней задачи обеспечивается тем, что все базовые станции используют одну и ту же пару коротких ПСП, но со сдвигом на 64 дискрета между разными станциями; при этом все физические каналы одной базовой станции имеют одну и ту же фазу последовательности.

В обратном канале (от подвижной станции к базовой, рис. 3.6) модуляция сигнала короткой ПСП (квадратурная фазовая манипуляция двумя ПСП одинакового периода) используется для расширения спектра, причем все подвижные станции используют одну и ту же пару ПСП с одинаковым (нулевым) смещением. Модуляция сигнала

длинной ПСП (бинарная фазовая манипуляция) помимо шифрования сообщений несет информацию о подвижной станции в виде ее закодированного индивидуального номера и обеспечивает различие сигналов от разных подвижных станций одной ячейки за счет индивидуального для каждой станции сдвига последовательности.

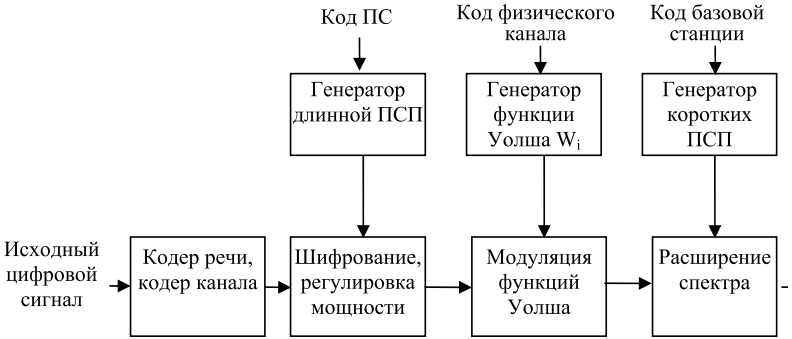


Рис. 3.5. Упрощенная схема обработки сигналов в передающем тракте базовой станции методом CDMA

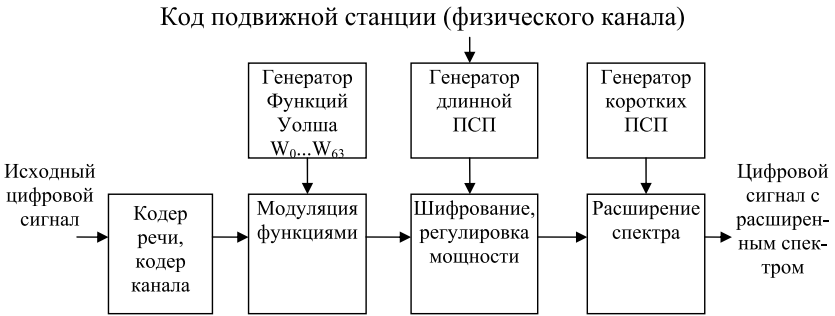


Рис. 3.6. Упрощенная схема обработки сигналов в передающем тракте подвижной станции методом CDMA

Метод CDMA обладает сравнительно высокой помехоустойчивостью и хорошо работает в условиях многолучевого распространения. Кроме того, он отличается высокой скрытностью, не использует частотного планирования, допускает «мягкую передачу обслуживания», но все это требует обязательного использования достаточно сложных технических решений: точной регулировки уровня сиг-

налов, применения секторных антенн и обработки «речевой активности», точной синхронизации базовых станций. Последнее может быть реализовано при помощи спутниковой геодезической системы GPS (Global Positioning System — глобальная система определения местоположения), но в результате такая система сотовой связи оказывается не автономной. Метод CDMA в настоящее время рассматривается как метод доступа для третьего поколения систем сотовой подвижной связи.

4. Линии связи

В коммуникационных системах *средой передачи* называют путь, по которому сигнал распространяется от передатчика к приемнику. Среды передачи данных можно разделить на *кабельные и беспроводные*. В любом случае взаимодействие осуществляется при помощи электромагнитных волн. При передаче сигналов по *кабельным средам* волны распространяются вдоль твердой среды, например медной витой пары, медного коаксиального кабеля или оптического волокна. Атмосфера и космическое пространство — примеры *беспроводных сред*. Электромагнитные волны могут распространяться в таких средах, однако направление их распространения произвольное. Подобная передача сигналов называется *беспроводной*.

Параметры и качество передачи данных определяются как характеристиками среды, так и свойствами сигнала. Для кабельных сред именно среда передачи накладывает основные ограничения на передаваемые данные. В беспроводных средах ключевым фактором, определяющим характеристики передачи, является полоса частот сигнала. Основным свойством сигналов, излученных антенной, является их направленность. В общем случае сигналы низких частот распространяются от антенны во всех направлениях. Сигналы более высоких частот можно сфокусировать в направленный луч.

При разработке систем передачи данных важнейшими параметрами являются скорость передачи данных и расстояние, на которое осуществляется передача. Имеется ряд факторов, определяющих скорость и расстояние передачи данных.

Полоса частот. Чем шире, тем лучше (скорость передачи, помехоустойчивость).

Искажения сигнала при передаче. Например, его затухание ограничивает расстояние передачи.

Помехи. Помехи, вызванные сигналами в перекрывающихся частотных диапазонах, могут исказить или уничтожить передаваемый сигнал. Наиболее трудную задачу представляют собой помехи в беспроводных каналах. В кабельных средах помехи могут вызываться побочным излучением соседних кабелей. Например, витые пары часто связывают вместе, а в кабелепроводах, как правило, проложе-

но множество кабелей. Снизить влияние помех может правильное экранирование кабелей.

Число приемных устройств. Каждое подключенное устройство вызывает дополнительное затухание и искажение. Это ограничивает как расстояние, на которое передается сигнал, так и скорость передачи данных.

На рис. 4.1 изображен спектр электромагнитных сигналов и приведены рабочие частоты различных средств кабельной и беспроводной связи.

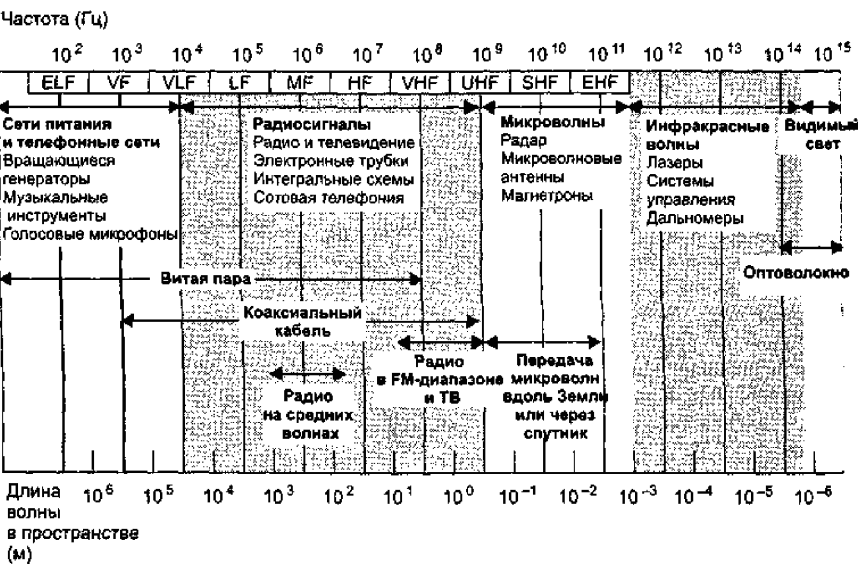


Рис. 4.1. Спектры электромагнитных волн, используемых для связи:

- ELF — Extremely Low Frequency (сверхнизкая частота)
- VF — Voice Frequency (тональная частота)
- VLF — Very Low Frequency (очень низкая частота)
- LF — Low Frequency (низкая частота)
- MF — Medium Frequency (промежуточная частота)
- HF — High Frequency (высокая частота)
- VHF — Very High Frequency (очень высокая частота)
- UHF — Ultrahigh Frequency (ультравысокая частота)
- SHF — Superhigh Frequency (сверхвысокая частота)
- EHF — Extremely High Frequency (крайне высокая частота)

4.1. Кабельные среды передачи данных

4.1.1. Витая пара

При передаче данных по кабелю пропускная способность, выраженная в терминах скорости передачи данных или полосы частот, существенно зависит от того, на какое расстояние и в каком окружении (по двухточечной линии или по локальной сети) передаются данные. Для передачи данных чаще всего применяются *витая пара*, *коаксиальный кабель* и *оптическое волокно* (рис. 4.2). Рассмотрим все эти среды по отдельности.

Витая пара является самой дешевой и распространенной средой передачи данных.

Витая пара состоит из двух изолированных медных проводов, свитых друг с другом. Витая пара представляет собой один канал связи.

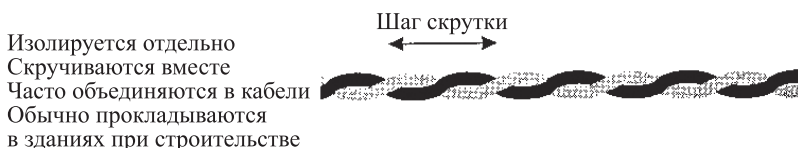


Рис. 4.2. Витая пара

Обычно несколько витых пар объединяются в кабель, обернутый в плотную защитную оболочку. В средствах передачи данных на большие расстояния кабели могут состоять из сотен витых пар. Скручивание пары приводит к снижению перекрестных помех от соседних проводов пары. Витые пары одного кабеля обычно скручены с разным шагом, это также служит снижению перекрестных помех. В каналах дальней связи шаг скрутки обычно лежит в пределах от 5 до 15 см. Толщина проводов пары лежит в пределах 0,4–0,9 мм.

Витая пара чаще других встречается в телефонных сетях и на промышленных объектах, где она служит для связи внутри здания. В телефонных сетях аппараты абонентов подключаются к местной телефонной станции при помощи витой пары. Такие соединения называются абонентскими шлейфами. Внутри здания каждый телефон подключается при помощи витой пары к системе внутренней телефонной связи. Оборудование на основе витой пары предназна-

чено для передачи голоса в аналоговой форме. Модем позволяет обеспечить передачу по витой паре цифрового трафика с умеренными скоростями.

Витая пара дешевле других распространенных сред связи (коаксиального кабеля и оптического волокна), с ней проще работать. Вместе с тем использование витой пары ограничивает скорости передачи и расстояния.

Витая пара используется для передачи аналоговых и цифровых сигналов. При передаче аналоговых сигналов необходимо устанавливать усилители каждые 5–6 км. Повторители цифровых сигналов требуются на каждые 2–3 км. По сравнению с другими распространенными средами передачи (коаксиальным кабелем и оптоволокном) скорость данных по витой паре и расстояние ограничены. Витая пара в значительной степени подвержена помехам и шумам из-за плохой изоляции от внешних электромагнитных полей. Например, витая пара, проложенная параллельно сети питания, будет отбирать от сети энергию на частоте 60 Гц. Импульсные помехи тоже легко проникают в витую пару. Для снижения искажений при передаче следует применять ряд мер. Экранирование витой пары при помощи металлической оплетки или металлической оболочки снижает помехи. Скручивание витой пары снижает низкочастотные помехи, различный шаг скрутки соседних пар кабеля снижает перекрестный шум.

Витые пары бывают двух типов: экранированные и неэкранированные. Неэкранированная витая пара (Unshielded Twisted Pair, UTP) — это обычный телефонный провод. При строительстве офисных зданий прокладывается много больше витой пары, чем необходимо для телефонных линий связи. Это наиболее дешевая среда передачи данных, используемая в локальных сетях. Такие сети легко устанавливать и эксплуатировать.

Неэкранированная витая пара подвержена электромагнитным помехам, включая помехи от соседних витых пар и от источников шума, расположенных поблизости. Для улучшения характеристик витой пары ее можно экранировать с помощью металлической оплетки или оболочки. Экранированная витая пара (Shielded Twisted Pair, STP) обеспечивает лучшую производительность на меньших скоростях передачи данных. Однако она дороже неэкранированной витой пары, с ней сложнее работать.

Согласно стандарту EIA-568-A различают три категории неэкранированных кабелей.

Категория 3. Неэкранированная витая пара и аппаратура подключения, полоса пропускания которых не превосходит 16 МГц.

Категория 4. Неэкранированная витая пара и аппаратура подключения, полоса пропускания которых не превосходит 20 МГц.

Категория 5. Неэкранированная витая пара и аппаратура подключения, полоса пропускания которых не превосходит 100 МГц.

Наибольшее распространение в локальных сетях получили неэкранированные витые пары категорий 3 и 5. Категория 3 соответствует голосовым кабелям, в изобилии проложенным в офисных зданиях. При передаче данных на малые расстояния и при использовании определенных технических средств в кабелях категории 3 можно достичь скорости передачи данных до 16 Мбит/с. Кабели категории 5 предназначены для передачи данных, в последнее время при строительстве новых офисных зданий все чаще прокладывают именно их. При передаче данных на малые расстояния и при использовании определенных технических средств в кабелях категории 5 можно достичь скорости передачи данных до 100 Мбит/с.

Ключевое различие между кабелями категорий 3 и 5 состоит в шаге скрутки. Кабель категории 5 скручен значительно плотнее (шаг скрутки составляет от 0,6 до 0,85 мм), чем кабель категории 3 (с шагом скрутки от 7,5 до 10 см). Из-за более плотной скрутки кабель категории 5 значительно дороже кабеля категории 3.

Для витой пары используются следующие обозначения:

UTP — Unshielded Twisted Pair (витая пара);

FTP — Foil Twisted Pair (витая пара, покрытая фольгой);

SSTP — Shielded Screen Twisted Pair (экранированная витая пара в оплетке);

ACR — Attenuation to Crosstalk Ratio (коэффициент затухания).

4.1.2. Коаксиальный кабель

Подобно витой паре *коаксиальный кабель* состоит из двух проводников, но их конструкция отличается от витой пары. Благодаря этому коаксиальный кабель может работать в более широком диапазоне частот. Коаксиальный кабель состоит из пустотелого внешнего цилиндрического проводника, внутри которого расположен внутренний провод (см. рис. 4.3).

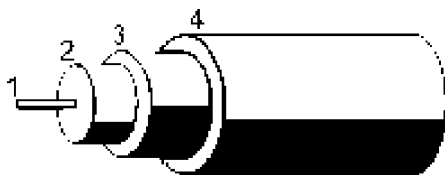


Рис. 4.3. 1 — Центральный проводник; 2 — изолятор; 3 — проводник-экран; 4 — внешний изолятор

Внутренний проводник удерживается на месте благодаря либо изолирующим кольцам, установленным с равными интервалами, либо сплошному диэлектрику. Внешний проводник покрывается оболочкой или экраном. Диаметр коаксиального кабеля лежит в пределах от 1 до 2,5 см. Коаксиальный кабель можно использовать для передачи данных на большие, чем витую пару, расстояния; он поддерживает подключение большего числа станций на линии с совместным доступом.

Сигнал распространяется по центральной медной жиле, контур тока замыкается через внешний экранный провод. При заземлении экрана в нескольких точках по нему начинают протекать выравнивающие токи (ведь разные «земли» обычно имеют неравные потенциалы).

Коаксиальный кабель является, по-видимому, наиболее универсальной средой передачи данных. Основными областями его применения являются:

- передача телесигналов;
- междугородная/международная телефония;
- короткие компьютерные каналы связи;
- локальные сети.

Коаксиальный кабель широко используется для передачи телевизионных сигналов в системах кабельного телевидения. Кабельное телевидение из скромной системы коллективного доступа к антенне (Community Antenna Television, CATV), предназначенной для обслуживания труднодоступных районов, превратилось в мощную индустрию, которая по числу подключений домов и офисов соизмерима с телефонией. Системы кабельного телевидения могут транслировать десятки и сотни каналов на десятки километров.

Изначально коаксиальный кабель был важной частью междугородных телефонных сетей. Сегодня он испытывает сильную конкуренцию со стороны оптического волокна и микроволн, распро-

страняющихся вдоль поверхности Земли и через спутник. Путем частотного мультиплексирования коаксиальный кабель может одновременно обслуживать более 10 000 голосовых каналов.

Коаксиальный кабель применяется для коротких соединений между различными устройствами. В компьютерных системах коаксиальный кабель предоставляет высокоскоростные каналы ввода-вывода для передачи цифровых сигналов.

Коаксиальный кабель можно эффективно использовать на высоких частотах при больших скоростях передачи данных. Благодаря экранированной конструкции коаксиальный кабель значительно меньше подвержен помехам и перекрестным наводкам, чем витая пара.

Для передачи аналоговых сигналов на большие расстояния необходимо использовать усилители, установленные с интервалом несколько километров. При передаче высоких частот расстояние между усилителями следует уменьшать.

С учетом возрастающих требований к широкополосности каналов скрученные пары проводов пытались заменить коаксиальными кабелями, которые имеют полосу от 100 до 500 МГц (до 1 Гбит/с), и даже полыми волноводами. Именно коаксиальные кабели стали вначале транспортной средой локальных сетей ЭВМ (10base-5 и 10base-2).

Коаксиальная система проводников из-за своей симметричности вызывает минимальное внешнее электромагнитное излучение. Сигнал распространяется по центральной медной жиле, контур тока замыкается через внешний экранный провод. При заземлении экрана в нескольких точках по нему начинают протекать выравнивающие токи (ведь разные «земли» обычно имеют неравные потенциалы). На рис. 4.4 проиллюстрирована схема наводок по экрану коаксиального кабеля.

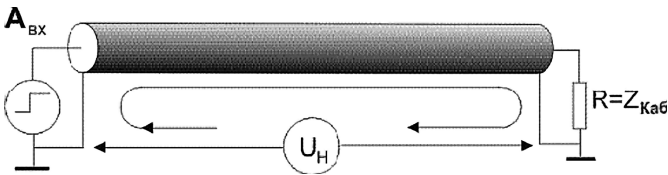


Рис. 4.4. Схема наводок по экрану коаксиального кабеля

Входной сигнал $A_{\text{вх}}$ подается через центральную жилу с одной стороны кабеля. На противоположной стороне кабель нагружен на сопротивление R , равное волновому импедансу кабеля. Если экран кабеля соединен с «землей» на обоих концах, то при наличии источника наводок по экрану будет протекать переменный ток наводки.

Импульсное значение наводки $U_{\text{н}}$ будет пропорционально L ($dI_{\text{н}}/dt$), где L — индуктивность оплетки кабеля, а $I_{\text{н}}$ — ток наводки. В результате наводка сложится с входным сигналом. При определенных обстоятельствах это может даже привести к выходу из строя сетевого оборудования. Именно это является причиной требования заземления кабеля локальной сети только в одной точке. Наибольшее распространение получили кабели с волновым сопротивлением 50 Ом. Это связано с тем, что такие кабели из-за относительно толстой центральной жилы характеризуются минимальным ослаблением сигнала (волновое сопротивление пропорционально логарифму отношения диаметров внешнего и внутреннего проводников).

Коаксиальный кабель с полосой пропускания 500 МГц при ограниченной длине может обеспечить скорость передачи в несколько Гбит/сек. Предельные расстояния, для которых может быть применен коаксиальный кабель, составляет 10–15 км.

Но по мере развития технологии скрученные пары смогли вытеснить из этой области коаксиальные кабели. Это произошло, когда полоса пропускания скрученных пар достигла 200–350 МГц при длине 100 м (неэкранированные и экранированные скрученные пары категории 5 и 6), а цены на единицу длины сравнялись. Скрученные пары проводников позволяют использовать биполярные приемники, что делает систему менее уязвимой (по сравнению с коаксиальными кабелями) к внешним наводкам. Но основополагающей причиной вытеснения коаксиальных кабелей явилась относительная дешевизна скрученных пар.

4.2.3. Оптическое волокно

А. Г. Белл в 1880 году запатентовал фотофон — прибор для передачи голоса посредством светового сигнала с селеновым фотодетектором. Первые коммерческие телефонные системы были созданы лишь в 1977 году и работали со скоростью 44,7 Мбит/с. Одномодовые волоконные кабели начали производиться в 1983 году.

В 1990 году Линн Моллинер (Bellcore) продемонстрировал передачу данных со скоростью 2,5 Гбит/с на расстояние 7500 км (без промежуточных усилителей сигнала).

Оптическое волокно работает в диапазоне частот от 10^{13} до 10^{16} Гц.

Оптоволоконное соединение гарантирует минимум шумов и высокую безопасность (практически почти невозможно сделать отвод). Пластиковые волокна применимы при длинах соединений не более 100 м и при ограниченном быстродействии (<50 МГц). Вероятность ошибки при передаче по оптическому волокну составляет $<10^{-10}$, что во многих случаях делает ненужным контроль целостности сообщений.

Оптическим волокном называют тонкую среду (от 2 до 125 мкм в диаметре), способную передавать световой луч. Для изготовления оптического волокна используются разного рода стекла и пластмассы. Наименьшие потери достигаются в волокне из сверхчистого плавленого кварца. Изготовление сверхчистого волокна затруднено, а многокомпонентные стеклянные волокна, хотя и обладают большим затуханием, экономичнее и достаточно производительны. Пластиковое оптоволокно еще дешевле, его можно использовать для коротких каналов связи, в которых допустимы умеренные потери.

Действие оптоволокна основано на принципе полного внутреннего отражения.

Оптическое волокно имеет цилиндрическую форму и состоит из трех concentрических секций (см. рис. 4.5). Две внутренние секции изготовлены из стекла с различными показателями преломления. Центральное стекло называется сердцевинной, следующее — плакировкой. Эти элементы покрыты защитной светопоглощающей оболочкой. Оптические волокна собирают в оптические кабели [15].

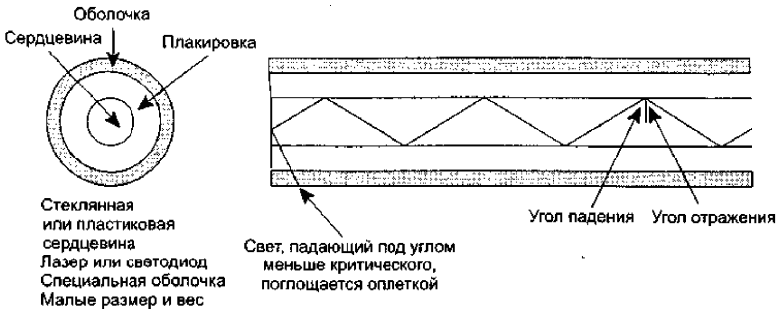


Рис. 4.5. Оптическое волокно

Одним из самых значительных технологических прорывов в области передачи данных было изготовление оптических систем связи. Оптоволокну повсеместно используется в междугородной/международной телефонии, постоянно расширяется сфера его военных применений. Улучшающиеся характеристики и падение цен в сочетании с достоинствами оптического волокна делают его все более привлекательным для локальных сетей. Ниже приведены отличия оптического волокна от витой пары и коаксиального кабеля.

Большая пропускная способность. Потенциальные полосы частот и скорость передачи данных по оптоволокну не ограничены. Достигнуты скорости передачи данных в сотни Гбит/с на расстояниях в десятки километров. Для сравнения: практический максимум скорости передачи данных на 1 км по коаксиальному кабелю составляет 100 Мбит/с, по витой паре — от нескольких Мбит/с (на 1 км) до сотни Мбит/с (на несколько десятков метров).

Меньшие размеры и вес. Оптическое волокно значительно тоньше коаксиального кабеля или кабеля из витых пар. При той же пропускной способности значения толщины различаются на порядок. Это дает оптоволокну несомненные преимущества в условиях, ограниченных по вместимости кабелепроводов, проложенных в зданиях и в подземных полосах отчуждения. Соответственно, меньший вес снижает требования к опорам. Так, одна тысяча скрученных пар при длине 1 км весит 8 т, а два волокна той же длины, обладающие большей пропускной способностью, имеют вес 100 кг. Это обстоятельство открывает возможность укладки оптических кабелей вдоль высоковольтных линий связи, подвешивая или обвивая их вокруг проводников.

Меньшее затухание. Затухание сигнала при распространении по оптоволокну значительно меньше, чем при распространении по витой паре или коаксиальному кабелю. Кроме того, затухание постоянно для широкой полосы частот.

Электромагнитная изоляция. Системы оптоволоконной связи не подвержены воздействию внешних электромагнитных полей. Таким образом, система устойчива к помехам, импульсному шуму и перекрестным наводкам. По тем же причинам оптические волокна не излучают энергию, не вызывая помех в другом оборудовании. Это снижает вероятность «подслушивания» информации и повы-

шает безопасность системы. Кроме того, информацию, передаваемую по оптоволокну, невозможно перехватить.

Принцип передачи данных по оптоволокну заключается в следующем: свет от источника входит в цилиндрическую сердцевину из стекла или пластика. Лучи, идущие под малыми углами, отражаются и распространяются вдоль оптоволокну, другие лучи поглощаются окружающим материалом. Эта форма распространения называется *многоходовым распространением по волокну со ступенчатым профилем показателя преломления*. Такой режим соответствует множеству углов падения, при которых волна может распространяться вдоль оптоволокну. При многомодовом распространении имеется ряд путей распространения света, длины этих путей могут различаться, поэтому различается и время распространения всех лучей. При этом сигналы (импульсы света) «размазываются» во времени, что приводит к ограничению скорости передачи данных. Иначе говоря, необходимо оставлять промежутки между сигналами. Такое оптоволокну лучше всего подходит для передачи данных на малые расстояния. С уменьшением радиуса волокна уменьшается и разброс углов падения, под которыми свет может распространяться. Если уменьшить радиус сердцевины до размера порядка длины волны, по оптоволокну сможет распространяться только одна мода — луч идет строго вдоль оси. *Одномодовое распространение* обеспечивает превосходную производительность по следующей причине. Поскольку имеется всего один путь распространения, по которому проходит одна мода, искажения, характерные для многомодового распространения, невозможны. Одномодовое волокно применяется, как правило, при дальней связи, в частности в телефонии и кабельном телевидении. Наконец, сделав показатель преломления сердцевины переменным, можно добиться третьего способа передачи — *многомодового распространения по градиентному оптоволокну*. Его еще называют *многомодовым распространением по волокну с плавно меняющимся профилем показателя преломления*. Характеристики этого способа передачи являются промежуточными между характеристиками одномодового распространения и многомодового распространения по волокну со ступенчатым профилем. Большой показатель преломления в центре приводит к тому, что лучи, распространяющиеся вблизи оси, идут медленнее, чем распространяющиеся вблизи плакировки. Из-за плавно меняющегося показателя

преломления свет в сердцевине движется по спирали, а не по зигзагообразной траектории, при этом путь распространения становится меньше. Свет, распространяющийся по периферии, приходит в приемник одновременно с лучом, идущим вдоль оси. Градиентное оптоволокно применяется в локальных сетях.

В оптоволоконных системах используются источники света двух типов: светоизлучающие диоды (Light-Emitting Diode, LED) и инжекционные лазерные диоды (Injection Laser Diode, ILD). Эти полупроводниковые устройства излучают свет при приложении к ним электрического поля. Светодиоды дешевле, работают в большем диапазоне температур, у них больший срок службы. Инжекционные лазерные диоды работают по принципу лазера, они более эффективны и позволяют достичь больших скоростей передачи данных.

Имеется связь между длиной волны, способом распространения и скоростью передачи данных. Одно- и многомодовые волокна поддерживают несколько длин волн. Свет может вводиться в оптоволокно при помощи лазера или светодиода. По оптоволокну свет лучше всего распространяется в трех частотных «окнах» с длинами волн около 850, 1300 и 1550 нанометров (нм). Все окна лежат в инфракрасной части спектра, то есть ниже видимого спектра, простирающегося от 400 до 700 нм. Потери на больших длинах волн снижаются, это позволяет достичь большей скорости передачи данных на большие расстояния. В локальных средствах связи применяются светодиоды с длиной волны 850 нм. Хотя такое сочетание относительно дешево, оно диктует ограничение скорости передачи данных величиной 100 Мбит/с и расстоянием несколько километров. Для достижения больших скоростей и расстояний передачи данных следует использовать светодиод или лазер с длиной волны 1300 нм. Самые высокие скорости передачи данных требуют применения лазерного источника с длиной волны 1500 нм.

Истинные возможности оптического волокна проявляются в том случае, если по одному волокну передается множество лучей с разными частотами. Это является одной из разновидностей частотного мультиплексирования (Frequency-Division Multiplexing, FDM), обычно, однако, используется термин *спектральное уплотнение*, или *мультиплексирование по длинам волн* (Wavelength-Division Multiplexing, WDM). В таком случае свет, распространяющийся по оптоволокну, состоит из лучей различных цветов или длин волн,

каждый луч передает данные отдельного канала. В 1997 году специалисты Bell Laboratories продемонстрировали систему со спектральным уплотнением, работающую с сотней лучей, каждый из которых поддерживал скорость передачи данных 10 Гбит/с. Общая пропускная способность этой линии составляет 1 триллион битов в секунду (1 Тбит/с). В настоящее время доступны коммерческие системы с 80 каналами с пропускной способностью 10 Гбит/с.

Основы построения сетей на основе ОВ

При построении сетей используются многожильные кабели (рис. 4.6); существуют и другие разновидности кабеля: например, двух- или четырехжильные, а также плоские). В верхней части рисунка (А) изображено отдельное оптоволокно, а в нижней (Б) — сечение восьмижильного оптического кабеля. Свет (длина волны $\lambda \sim 1350$ или 1500 нм) вводится в оптоволокно (диаметром $d < 100 \lambda$) с помощью светоизлучающего диода или полупроводникового лазера. Центральное волокно покрывается слоем (клевдинг, 1А), коэффициент преломления которого меньше чем у центрального ядра (стрелками условно показан ход лучей света в волокне). Для обеспечения механической прочности извне волокно покрывается полимерным слоем (2А). Кабель может содержать много волокон, например 8 (1Б). В центре кабеля помещается стальной трос (3Б), который используется при прокладке кабеля. С внешней стороны кабель защищается стальной оплеткой (2Б) и герметизируется эластичным полимерным покрытием.

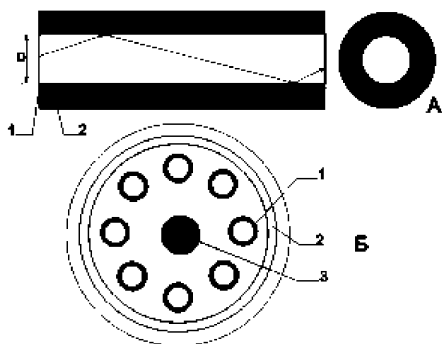


Рис. 4.6. Сечение оптоволоконного кабеля

При современных технологиях необходимо использовать повторители через каждые 30 км (против 5 км для медных проводов).

По сравнению с медными проводами оптоволоконные кабели несравненно легче.

Мода представляет собой одно из возможных решений уравнения Максвелла. В упрощенном виде можно считать, что мода — это одна из возможных траекторий, по которой может распространяться свет в волокне. Чем больше мод, тем больше дисперсионное искажение формы сигнала.

Одномодовое волокно позволяет получить полосу пропускания в диапазоне 50–100 ГГц·км. Типовое значение модовой дисперсии лежит в пределах от 15 до 30 нсек/км. Эта разновидность волокна воспринимает меньшую долю света на входе, зато обеспечивает минимальное искажение сигнала и минимальные потери амплитуды. Следует также иметь в виду, что оборудование для работы с одномодовым волокном значительно дороже. Центральная часть одномодового волокна имеет диаметр 3–10 λ , а диаметр клэдинга составляет 30–125 λ . Число мод, допускаемых волокном, в известной мере определяет его информационную емкость. Модовая дисперсия приводит к расплыванию импульсов и их наезжанию друг на друга. Дисперсия зависит от диаметра центральной части волокна и длины волны света. Число мод n равно для мультимодового волокна:

$$N = \frac{2\pi^2 d^2 A^2}{\lambda^2},$$

где d — диаметр центральной части (ядра), A — численная апертура волокна, а λ — длина волны. Волокно с диаметром центральной части волокна 50 Z поддерживает 1000 мод.

Очевидно, что чем больше длина волны, тем меньше число мод и меньше искажения сигнала. Одномодовый режим реализуется тогда, когда длина волны вета становится сравнимой с диаметром ядра волокна. Длина волны, при которой волокно становится одномодовым, называется пороговой. Волокно с диаметром 50 микрон может поддерживать до 1000 мод. В отличие от многомодового волокна в одномодовом излучение присутствует не только внутри ядра. По этой причине повышаются требования к оптическим свойствам клэдинга. Для многомодового волокна требования к прозрачности клэдинга весьма умеренны. Затуханием обычно называется ослабление сигнала по мере его движения по волокну. Оно измеряется в децибелах на километр и варьируется от 300 дБ/км для пластиковых волокон

до 0,21 дБ/км — для одномодовых волокон. Полоса пропускания волокна определяется дисперсией. Приблизненно полюсу пропускания одномодового волокна можно оценить согласно формуле

$$BW = 0,187 / (\text{Disp} \cdot SW \cdot L),$$

где Disp — дисперсия на рабочей длине волны в сек на нм и на км; SW — ширина спектра источника в нм; L — длина волокна в км.

Если диаметр источника света не соответствует диаметру ядра волокна, то потери света, связанные с геометрическим рассогласованием, могут быть охарактеризованы следующей формулой:

$$\text{ПОТЕРИ}_{\text{диам}} = 10 \log_{10} (\text{ДИАМЕТР}_{\text{волокна}} / \text{ДИАМЕТР}_{\text{источника}})^2.$$

Потерь нет, когда волокно имеет диаметр больше диаметра источника света. Если числовая апертура источника больше апертуры волокна, то потери света составят:

$$\text{ПОТЕРИ}_{\text{диам}} = 10 \log_{10} (A_{\text{волокна}} / A_{\text{источника}})^2.$$

Одним из критических мест волоконных систем являются сростки волокон и разъемы. Учитывая диаметр центральной части волокна, нетрудно предположить, к каким последствиям приведет смещение осей стыкуемых волокон даже на несколько микрон (особенно в одномодовом варианте, где диаметр центрального ядра менее 10 микрон) или деформация формы сечения волокон.

Соединители для оптических волокон имеют обычно конструкцию, показанную на рис. 4.7, и изготавливаются из керамики. Потеря света в соединителе составляет 10–20%. Для сравнения сварка волокон приводит к потерям не более 1–2%. Существует также техника механического сращивания волокон, которая характеризуется потерями около 10% (splice). Оптические аттенюаторы для оптимального согласования динамического диапазона оптического сигнала и интервала чувствительности входного устройства представляют собой тонкие металлические шайбы, которые увеличивают зазор между волокном кабеля и приемником.

С использованием оптических волокон можно создавать не только кольцевые структуры. Возможно построение фрагмента сети, по характеру связей эквивалентного кабельному сегменту или хабу.

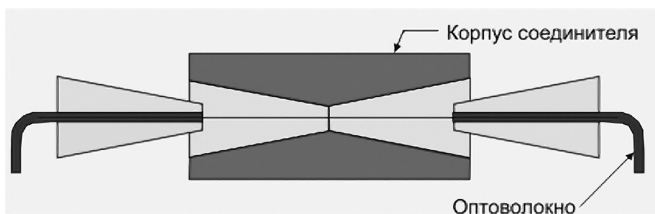


Рис. 4.7. Схема оптического разъема

В последнее время заметного удешевления оптических каналов удалось достичь за счет мультиплексирования с делением по длине волны. За счет этой техники удалось в 16–160 раз увеличить пропускную способность канала из расчета на одно волокно. Схема мультиплексирования показана на рис. 4.8. На входе канала сигналы с помощью призмы объединяются в одно общее волокно. На выходе с помощью аналогичной призмы эти сигналы разделяются. Число волокон на входе и выходе может достигать 32 и более (вместо призм в последнее время используются миниатюрные зеркала, где применяется 2D-развертка (или 3D) по длине волны). Разработка технологии получения особо чистого материала волокон позволила расширить полосу пропускания одномодового волокна до 100 нм (для волокон с $\lambda = 1550$ нм). Полоса одного канала может лежать в диапазоне от 2 до 0,2 нм. Эта технология в самое ближайшее время расширит скорость передачи данных по одному волокну с 1 до 10 Тбит/с.

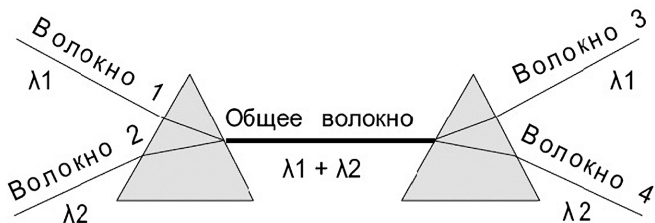


Рис. 4.8. Мультиплексирование с делением по длине волны в оптическом волокне

4.2. Беспроводные среды передачи данных

Передача данных в беспроводных средах достигается с помощью антенны. Работая на передачу, антенна излучает электромагнитную

энергию в среду распространения (как правило, в воздух). При приеме антенна получает электромагнитные волны из окружающей среды. Имеются два типа систем беспроводной связи: *однаправленные и всенаправленные*. В однонаправленных системах сигнал распространяется в одном направлении, передающая антенна излучает сфокусированный электромагнитный луч. Поэтому приемная и передающая антенны должны находиться строго на одной прямой. При всенаправленной передаче сигнал распространяется во всех направлениях, его можно принять многими антеннами. В общем случае с ростом частоты сигнал легче сфокусировать в однонаправленный луч.

Рассмотрим *три диапазона* беспроводной передачи.

1. Частоты в пределах от 30 МГц до 1 ГГц предназначены для всенаправленной передачи. Этот диапазон называется радиодиапазоном.

2. Частоты в диапазоне от 2 до 40 ГГц называются *микроволновыми частотами*. На этих частотах возможно формирование узконаправленных радиолучей. Микроволны вполне подходят для двухточечной передачи, они применяются в спутниковых средствах связи.

3. Другой важный диапазон частот, используемый в местных системах связи, охватывает инфракрасную часть спектра — частоты приблизительно от $3 \cdot 10^{11}$ до $2 \cdot 10^{14}$ Гц. Инфракрасные волны используются в местных двухточечных и многоточечных приложениях в ограниченных помещениях, например в рамках одной комнаты.

4.2.1. Радиодиапазон

Основным различием между радио- и микроволнами является то, что первые распространяются во всех направлениях, тогда как вторые — в одном. Поэтому передача радиосигналов не требует тарелкообразных антенн, не нужна также жесткая фиксация антенн на направлении прямой видимости.

В радиолиниях связи средой распространения электромагнитных волн в подавляющем большинстве случаев (за исключением связи между космическими аппаратами) является атмосфера Земли. На рис. 4.9 приведено упрощенное строение атмосферы Земли.

Реально строение атмосферы более сложно, и приведенное деление на тропосферу, стратосферу и ионосферу достаточно условно. Высота слоев приведена приблизительно и различна для разных

географических точек Земли. В тропосфере сосредоточено около 80% массы атмосферы и около 20% — в стратосфере. Плотность атмосферы в ионосфере крайне мала, граница между ионосферой и космическим пространством является условным понятием, так как следы атмосферы встречаются даже на высотах более 400 км. Считается, что плотные слои атмосферы заканчиваются на высоте около 120 км.



Рис. 4.9. Строение атмосферы Земли

Типичный вид радиолинии показан на рис. 4.10. Линия может состоять из двух оконечных станций. Типичным примером таких радиолиний являются линии сетей передачи сообщений массового характера (сети телевизионного и радиовещания). Радиолиния может содержать несколько промежуточных переприемных станций. Так строятся линии радиорелейных систем передачи.



Рис. 4.10. Типичный вид радиолинии

Классификация и способы распространения радиоволн приведены в табл. 4.1 и 4.2. Деление радиоволн на диапазоны установлено Международным регламентом радиосвязи МСЭ-Р.

Радиоволны, излучаемые передающей антенной, прежде чем попасть в приемную антенну, проходят в общем случае сложный путь. На величину напряженности поля в точке приема оказывает влияние множество факторов. Основные из них:

- отражение электромагнитных волн от поверхности Земли;
- преломление (отражение) в ионизированных слоях атмосферы (ионосфере);
- рассеяние на диэлектрических неоднородностях нижних слоев атмосферы (тропосфере);
- дифракция на сферической выпуклости Земли.

Также напряженность поля в точке приема зависит от длины волны, освещенности земной атмосферы Солнцем и ряда других факторов.

Термин *радио* обычно относят к частотам в диапазоне от 3 кГц до 300 ГГц. Мы будем использовать этот термин по отношению к диапазону очень высоких частот и части диапазона ультравысоких частот: от 30 МГц до 1 ГГц. Этот диапазон охватывает FM-радио и телевидение на высоких и ультравысоких частотах, кроме того, он используется для ряда сетевых приложений.

Возможно, наиболее важным применением этого частотного диапазона является мобильная телефония, занимающая несколько частотных полос ниже 1 ГГц. Новые мобильные средства вытесняют системы фиксированной связи. Еще более важной новейшей разработкой являются системы, объединяющие мобильную телефонию и Интернет.

Диапазон от 30 МГц до 1 ГГц может эффективно использоваться для широковещательной рассылки. В отличие от ситуации с низкочастотными электромагнитными волнами ионосфера прозрачна для радиоволн с частотой выше 30 МГц. Поэтому передача ограничена прямой видимостью, удаленные передатчики не создают помех друг другу благодаря отражению радиоволн от атмосферы. В отличие от высоких частот микроволнового диапазона радиоволны менее чувствительны к затуханию во время дождя.

Основным источником нарушений при широковещательной радиопередаче является многолучевое распространение радиоволн. Отражение от земли, воды, природных и рукотворных предметов приводит к тому, что радиоволны распространяются от одной антенны к другой по нескольким траекториям. Этот эффект проявляется,

Таблица 4.1

Классификация радиоволн

Номер диапазона	Диапазон длин волн		Диапазон частот	
	Наименование	Границы	Наименование	Границы
4	Мириаметровые или сверхдлинные волны (СДВ)	10...100 км	Очень низкие частоты (ОНЧ)	3...30 кГц
5	Километровые или длинные волны (ДВ)	1...10 км	Низкие частоты (ОНЧ)	30...300 кГц
6	Гектометровые или средние волны (СВ)	100...1000 м	Средние частоты (СЧ)	300...3000 кГц
7	Декаметровые или короткие волны (КВ)	10...100 м	Высокие частоты (ВЧ)	3...30 МГц
8	Метровые или ультракороткие волны (УКВ)	1...10 м	Очень высокие частоты (ОВЧ)	30...300 МГц
9	Дециметровые волны (ДМВ)	10...100 см	Ультравысокие частоты (УВЧ)	300...3000 МГц
10	Сантиметровые волны	1...10 мм	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	3...30 ГГц
11	Миллиметровые волны	1...10 мм	Крайне высокие частоты (КВЧ)	30...300 ГГц
12	Децимиллиметровые волны	0,1...1 мм	Гипервысокие частоты (ГВЧ)	300...3000 ГГц

Таблица 4.2

Способы распространения радиоволн

Вид радиоволн	Основные способы распространения радиоволн	Дальность связи
Мириаметровые и километровые (сверхдлинные и длинные)	Дифракция Отражение от Земли и ионосферы	До тысячи км Тысячи км
Гектометровые (средние)	Дифракция Преломление в ионосфере	Сотни км Тысячи км
Декаметровые (короткие)	Преломление в ионосфере и отражение от Земли	Тысячи км
Метровые и более короткие	Свободное распространение и отражение от Земли Рассеяние в тропосфере	Десятки км Сотни км

например, когда на экране телевизора оказываются сразу несколько изображений, если поблизости пролетает самолет [4].

4.2.2. Микроволновый диапазон

Наиболее распространенной микроволновой антенной является параболическая тарелка. Антенна жестко закрепляется. Она излучает узкий луч, обеспечивая передачу сигнала в пределах прямой видимости к приемной антенне. Микроволновые антенны обычно размещаются на значительных высотах над уровнем Земли. Это позволяет увеличить расстояние между антеннами и передавать данные в обход препятствий. Для передачи микроволн на большие расстояния применяются линии микроволновых ретрансляционных вышек, двухточечная передача между отдельными вышками осуществляется в пределах прямой видимости.

Основным применением микроволн, распространяющихся у поверхности Земли, является связь на большие расстояния. Микроволны представляют собой альтернативу коаксиальному кабелю и оптоволокну. Микроволновые линии передачи требуют значительно меньшего числа усилителей и повторителей, чем линии на основе коаксиальных кабелей, передающие сигналы на то же расстояние. Однако в микроволновых линиях связи необходимо обеспечивать прямую видимость. Микроволны применяются для передачи как голоса, так и телевизионного сигнала.

Другим распространенным применением микроволн является обеспечение коротких двухточечных каналов связи между зданиями. Эти каналы используются в кабельном телевидении или в качестве линий связи между локальными сетями. Микроволновые линии, предназначенные для передачи сигналов на малые расстояния, могут требоваться для шунтирования. Например, предприятие может установить микроволновый канал связи с системой дальней передачи данных, расположенной в том же городе, в обход местной телефонной компании [15].

Диапазон частот, используемых в микроволновой передаче, охватывает значительную часть спектра электромагнитных сигналов. Частоты, применяемые в микроволновых каналах связи, лежат в диапазоне от 2 до 40 ГГц. Чем больше частота, тем шире потенциальная полоса частот и выше потенциальная скорость передачи данных. Частотные диапазоны и скорости передачи данных некоторых типовых систем перечислены в табл. 4.3.

Характерные параметры микроволновых каналов связи

Диапазон частот, ГГц	Полоса частот, МГц	Скорость передачи данных, Мбит/с
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

Как и в любой другой системе передачи, в микроволновой передаче основным источником потерь является затухание. Потери в микроволновых средствах меньше, чем при передаче по витой паре и по коаксиальному кабелю. Это позволяет увеличить расстояние между усилителями или повторителями в микроволновых системах. Обычно расстояние составляет от 10 до 100 км. Затухание возрастает во время дождя. Влияние дождя особенно заметно при частотах выше 10 ГГц. Другой источник нарушений — помехи. С ростом популярности микроволн возникает перекрытие зон передачи, в этом случае есть опасность помех. Поэтому распределение частотных диапазонов строго контролируется.

Спутник связи представляет собой, по существу, микроволновую ретрансляционную станцию. Он используется для связи двух или более наземных передатчиков/приемников, называемых земными или наземными станциями. Спутник получает сигнал в одной полосе частот (восходящая линия), усиливает или повторяет сигнал и передает его на другой частоте (нисходящая линия). Одна орбитальная станция может работать с рядом частотных диапазонов, называемых каналами транспондера или просто транспондерами.

Для эффективной работы спутника связи, как правило, необходимо, чтобы он находился на геостационарной орбите. В противном случае он уйдет с линии прямой видимости наземных станций. Период обращения спутника вокруг Земли должен равняться периоду вращения Земли. Это возможно при высоте спутника над Землей 35784 км.

Два спутника, использующие одну и ту же полосу частот, будут создавать помехи друг другу в том случае, если они находятся слишком близко. Чтобы избежать этого, согласно текущим стандартам расстояние между спутниками должно быть менее 4° (угловое расстояние, отсчитываемое от Земли) при работе в диапазоне 4/6

ГГц и 3° при использовании диапазона 12/14 ГГц. Поэтому общее число спутников ограничено.

4.2.3. Инфракрасная связь

Инфракрасная связь обеспечивается передатчиками/приемниками (приемопередатчиками), модулирующими некогерентный инфракрасный свет. Приемопередатчики должны быть на прямой видимости. Сигнал может также приходиться от передатчика к приемнику, отражаясь от светлой поверхности, например от потолка. Наиболее важным отличием инфракрасных волн от микроволн является то, что инфракрасный свет не проходит через стены. Поэтому проблем с безопасностью и помехами, характерных для микроволн, в инфракрасном спектре нет. Более того, для использования инфракрасного диапазона частот не требуется лицензия, так как нет проблемы перекрытия диапазонов.

К недостаткам инфракрасного канала относятся высокая стоимость приемников и передатчиков, где требуется преобразование электрического сигнала в инфракрасный и обратно, а также низкие скорости передачи (обычно не превышает 5–10 Мбит/с, но при использовании инфракрасных лазеров возможны существенно более высокие скорости). В условиях прямой видимости инфракрасный канал может обеспечить связь на расстояниях в несколько километров, но наиболее удобен он для связи компьютеров, находящихся в одном помещении, где отражения от стен комнаты дает устойчивую и надежную связь. Наиболее естественный тип топологии здесь — «шина» (то есть переданный сигнал одновременно получают все абоненты). Ясно, что имея такое количество недостатков, инфракрасный канал не смог получить широкого распространения.

5. Классификация и принципы построения ТКС различного назначения

5.1. ВЧ, ОВЧ и УВЧ системы радиосвязи

5.1.1. Основные сведения и классификация

Для передачи сообщений пригодны не только проводные системы связи в виде воздушных линий, кабелей и др., но и беспроводные радиосистемы. Если речь идет о радиорелейных или спутниковых системах связи, то они практически равноценны кабельным линиям. В отличие от них ВЧ, ОВЧ и УВЧ радиосистемы вследствие особенностей распространения используемого вида радиоволн (ВЧ (10–100 м, 3–30 МГц), ОВЧ (1–10 м, 30–300 МГц), УВЧ (10–100 см), 300–3000 мГц) имеют существенно иные свойства и характеристики и требуют соответственно других методов и режимов передачи.

Как и всем техническим средствам радиосвязи, средствам связи органов внутренних дел был выделен частотный диапазон, на котором в соответствии с МСЭ осуществляется радиосвязь.

Этот диапазон частот находится в пределах от 400 до 500 МГц (предыдущий 150 мГц). Точное значение рабочих частот является конфиденциальной информацией и не подлежит всеобщему разглашению. При необходимости частотный диапазон может быть получен в отделах и службах, отвечающих за служебную связь в органах внутренних дел, т. е. нижняя часть УВЧ диапазона (450 мГц ± 5 мГц).

Системы радиосвязи можно классифицировать по различным признакам:

- по принадлежности служб;
- по рабочему диапазону частот;
- по физическим процессам в среде распространения;
- по пропускной способности и передаваемым сигналам.

Согласно регламенту радиосвязи, который является основным международным документом, определяющим использование радиоспектра и условия работы различных радиосредств, системы радиосвязи можно классифицировать по их принадлежности к той или иной службе. В регламенте радиосвязи выделяются:

1) фиксированная служба радиосвязи между определенными пунктами;

- 2) радиовещательная служба, передачи которой предназначены для непосредственного приема населением;
- 3) подвижная служба между станциями;
- 4) радиоопределение, к которой относят радионавигационную, радиолокационную службу и другие.

Системы радиосвязи можно классифицировать по используемым диапазонам частот. Согласно регламенту радиосвязи спектр от 3 кГц до 3000 ГГц разбивается на 9 диапазонов ($N = 9$), каждый из которых занимает полосу от $0,3 \cdot 10^N$ до $3 \cdot 10^N$ Гц.

Дециметровый (300–3000 мГц, 10–100 см — УВЧ) и сантиметровый (3–30 ГГц, 1–10 см — СВЧ) диапазоны широко используют для работы радиорелейных, сотовых и спутниковых широкополосных систем радиосвязи.

По физическим процессам в среде распространения системы радиосвязи подразделяют на системы передачи непрерывных (аналоговых) и дискретных сигналов.

Кроме того, по пропускной способности подразделяют на системы с малой пропускной способностью, к которым относят узкополосные системы, позволяющие передавать от одного-двух до 24 телефонных сообщений, и системы с большой пропускной способностью, позволяющие передавать широкополосные телевизионные сигналы и сигналы многоканальных систем. Радиорелейные, спутниковые системы с большой пропускной способностью могут работать только в полосах частот, выделенных в диапазонах сантиметровых и миллиметровых волн, т. к. в этих диапазонах можно не только передавать сигналы с широким спектром, но и использовать различные помехоустойчивые виды модуляции, требующие увеличения полосы: ЧМ, ФМ и их разновидности.

5.1.2. Условия распространения ВЧ, СВЧ и УВЧ волн и замирания

Радиоволны этого диапазона распространяются в основном по прямолинейным траекториям, и для них практически не свойственна дифракция, они слабо отражаются от тропосферы, не испытывают регулярных отражений от ионосферы, уходя в космическое пространство.

Радиус действия систем передачи, работающих в этих диапазонах, ограничен в основном пределами прямой (оптической) видимости между передающей и приемной антеннами.

Незначительная дифракция радиоволн (огибание сферической поверхности Земли у горизонта) и слабая рефракция (отклонение направления распространения радиоволн от прямолинейного) в нижних слоях тропосферы несколько увеличивают расстояние радиовидимости (примерно на 15%), которое рассчитывается по формуле:

$$D \approx 4,12 \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right).$$

Здесь D измеряется в километрах, h_1 и h_2 — в метрах.

Таким образом, если высота подвеса антенн $h_1 = h_2 = 25$ м, то расстояние радиовидимости составит 41,2 км. Для осуществления связи на большие расстояния необходимо между пунктами A и B устанавливать промежуточные станции (или ретрансляторы) либо поднимать антенны на большие высоты. Первый принцип используется в радиорелейных системах передачи, где станции располагаются на расстоянии 50–70 км. Для увеличения зоны обслуживания телевизионного вещания используются антенны, расположенные на башнях большой высоты.

Связь в пределах радиовидимости характеризуется возможностью одновременного прихода в точку приема не только прямой волны, но и волны, отраженной от земной поверхности (рис. 5.1). Рисунок построен в предположении, что расстояние между антеннами не превышает $R < 0,2R_0$ (R_0 — радиус Земли), когда сферичностью поверхности Земли можно пренебречь и считать ее плоской.

Как следует из рис. 5.1, в точке A на высоте h_1 над Землей расположена передающая антенна, а в точке B на высоте h_2 — приемная. Расстояние между антеннами равно R [4].

В точку B приходят две волны: прямая (1) и отраженная от земной поверхности в точке C (2). В точке приема имеет место явление интерференции прямой и отраженной волн. Фазовый сдвиг между прямой и отраженной волнами равен

$$\varphi_{12} = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda R} + \varphi_c,$$

где к уже известным обозначениям добавились новые: λ — длина радиоволны и φ_c — фазовый сдвиг при отражении волны от земной поверхности в точке C .

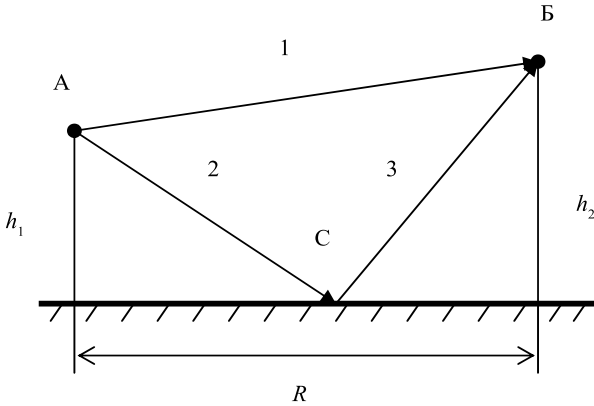


Рис. 5.1. Двухлучевая модель распространения радиоволн

При изменении любой из величин h_1 , h_2 или R , определяющих разность хода прямой (1) и отраженной (2) волн, изменяются условия их интерференции, и напряженность поля приемной антенны будет иметь резко осциллирующий характер, при котором имеют место *интерференционные максимумы* и *минимумы*.

Интерференционные максимумы появляются при условии, что прямая и отраженная волны приходят в точку приема с одинаковыми фазами, т. е.

$$\varphi_{12} = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda R} + \varphi_c = 2m\pi, m = 1, 2, 3, \dots,$$

и, следовательно, происходит как бы усиление напряженности поля в точке приема.

Если прямая и отраженная волны приходят в точку приема в противофазе, т. е.

$$\varphi_{12} = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda R} + \varphi_c = (2m + 1)\pi, m = 1, 2, 3, \dots,$$

то имеют место интерференционные минимумы и, следовательно, происходит ослабление напряженности поля в точке приема.

Если расстояние между передающей и приемной антеннами $R > 0,2 R_0$, то следует учитывать сферичность земной поверхности. Она проявляется в уменьшении разности хода прямой и отраженной волн, а также в расходимости отраженной волны.

Для учета влияния сферичности на разность хода вместо истинных высот антенн h_1 и h_2 вводятся *приведенные высоты*, определяемые как высоты антенн над плоскостью, касательной к поверхности Земли в точке отражения C .

Расходимость волны при отражении ее от сферической поверхности проявляется в *увеличении телесного угла* отраженной волны по сравнению с телесным углом падающей волны. При этом плотность потока мощности отраженной волны уменьшается по сравнению со случаем отражения волны от плоской поверхности.

Интерференционные явления могут быть сведены до минимума оптимальным подбором высот антенн, расстояний между ними и длиной волны.

5.2. Радиорелейные системы связи

5.2.1. Классификация и принцип работы РРС

Особые свойства, которые отличают радиорелейную связь от традиционной проводной, делают ее все более привлекательной для использования в глобальных, региональных и местных сетях передачи данных. В тех случаях, когда требуется быстрое развертывание сетей передачи данных, обслуживающих подвижных абонентов, или в районах с неразвитой связной инфраструктурой, радиорелейной связи нет альтернативы.

Многолетний опыт применения радиорелейных линий выявил ряд достоинств этого вида связи, которые значительно расширили возможности отрасли в целом:

- быстрота и экономичность развертывания (по сравнению с проводной связью) линий связи;
- экономически выгодная, а в ряде случаев и единственно возможная организация многоканальной связи на территориях, имеющих сложный рельеф (лес, горы, болота и пр.), а также в тех местах, где прокладка кабеля нецелесообразна;
- возможность аварийного восстановления связи магистралей проводной связи путем замены ее поврежденных участков;



— качество связи, не уступающее проводной связи.

Необходимость передавать данные — информацию, представленную в дискретном цифровом виде, подтолкнула к созданию цифровых систем передачи, ускорила разработку современных методов преобразования дискретной информации в аналоговую и обратно (методы модуляции и демодуляции), а также методов ее кодирования. Появились системы, способные обмениваться цифровой информацией — системы передачи данных (СПД). Были созданы цифровые РРС.

Дальность распространения радиоволн микроволновых диапазонов вдоль земной поверхности, как и дальность световой сигнализации, ограничена пределами геометрической видимости между пунктами расположения передающей и приемной антенн (рис. 5.2), дифракция лишь немного увеличивает эту дальность. Поскольку, как выяснено выше, именно и только в этих диапазонах возможна передача больших потоков информации с шириной частотных спектров в мегагерцы и десятки мегагерц, получили развитие системы радиосвязи с последовательными ретрансляциями передаваемых сигналов радиорелейной связи. Радиосигналы, принятые в пределах геометрической видимости каждой из станций, например C_2 на рис. 5.2, усиливаются, а при необходимости проходят и иную дополнительную обработку и передаются к станции C_2 , от которой затем они передаются к C_3 и т. д. Одновременно идут и сигналы с противоположного направления.

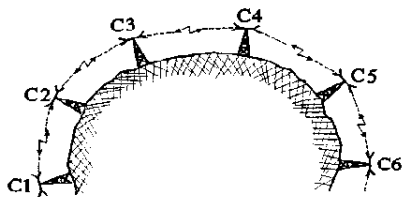


Рис. 5.2. Распространения радиоволн микроволновых диапазонов вдоль земной поверхности

Ограничение дальности распространения волн можно считать недостатком микроволновых диапазонов, так как усложняет систему радиосвязи на больших расстояниях; но с другой точки зрения оно оказывается достоинством, так как позволяет применять одни и те же частоты на пространственно разнесенных участках террито-

рии, где благодаря относительной отдаленности этих участков взаимные помехи не проявляются [4].

Радиорелейные линии связи (РРЛ), как и коаксиальные и волоконно-оптические кабельные магистрали, служат для многоканальной передачи сотен и тысяч телефонных сообщений, ряда телевизионных программ, высокоскоростной передачи данных в буквенно-цифровой форме от многих корреспондентов и др.

К числу относительных преимуществ РРЛ по сравнению с подземными кабелями относятся:

- техническая реализуемость и экономическая целесообразность прокладки этих линий связи в местах с повышенной сложностью и стоимостью работ по подземной и подводной прокладке кабелей;
- меньшая вероятность повреждений, а также меньшие трудности их обнаружения и исправления;
- возможность ответвления и ввода информации без более сложных работ, требующих вскрытия подземных кабельных линий.

Очевидный недостаток РРЛ по сравнению с кабелями, как и недостаток радиосвязи вообще, — открытое распространение волн в окружающем пространстве и открытое расположение всех технических сооружений. Это обстоятельство может увеличивать возможность повреждения технических средств в некоторых ситуациях, а также снижает защищенность передаваемой информации от перехвата.

Радиорелейную линию связи можно определить как цепочку приемопередающих радиостанций.

Радиосистема передачи, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется **радиорелейной системой передачи** (рис. 5.3).

Большинство станций РРЛ составляют промежуточные радиостанции (ПРС), играющие роль активных ретрансляторов. На всех станциях РРЛ целесообразно иметь однотипную, унифицированную приемопередающую аппаратуру (ППА), удовлетворяющую требованиям заданного частотного плана.

РРЛ делятся на *два класса: с прямой видимостью* между антеннами соседних станций и *тропосферные*, в которых прямой видимости нет. Наиболее распространены РРЛ прямой видимости, кото-

рые работают в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн. Использование остронаправленных антенн, имеющих большой коэффициент усиления (1000-10000), позволяет обходиться небольшими мощностями передатчиков (до 10–20 Вт).

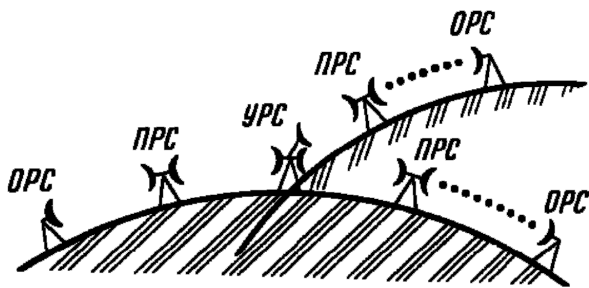


Рис. 5.3. Принцип построения радиорелейной связи

5.2.2. Цифровые радиорелейные станции

Цифровые магистрали, на основе которых строятся современные сети передачи данных, должны соответствовать стандарту SDH (Synchronous Digital Hierarchy — синхронная дискретная иерархия), определяющему основные характеристики линий для цифровой сети передачи данных. Такие линии обеспечивают передачу любых видов данных: текста, звука, речи, изображений и видеофильмов с помощью дискретных электрических сигналов.

Современная цифровая РРС — сложный технический комплекс, в который входят приемопередатчик, модем, мультиплексор, приемопередающие антенны, система автоматического резервирования, система телеуправления и телесигнализации, контрольно-измерительная аппаратура, устройства служебной связи, система электропитания. Рассмотрим функции основных устройств: приемопередатчика, модема и мультиплексора.

Приемопередатчик РРС — устройство, которое выполняет функции приема и передачи модулированных электрических колебаний заданных частот. Приемник выделяет электрический сигнал заданной частоты из сигналов, принятых приемной антенной. С выхода приемника сигнал поступает на модулятор. Передатчик вырабатывает модулированный электрический сигнал заданной частоты для последующего его излучения передающей антенной. На вход передатчика сигнал поступает из модулятора.

Один комплект приемопередающей аппаратуры, установленный на РРС, образует ствол. Для увеличения пропускной способности аппаратуры создают несколько стволов.

Модем РРС — оконечное устройство, служащее для модуляции/демодуляции сигнала.

Поступающий из мультиплексора дискретный сигнал модем преобразует в аналоговый (непрерывный) сигнал некоторой промежуточной частоты и передает его в приемопередатчик, а при приеме поступающий из приемопередатчика аналоговый сигнал преобразуется в дискретный. Таким образом, в составе цифрового радиорелейного тракта модем выполняет функции цифрового стыка, который должен соответствовать рекомендациям G. 703 МККТТ.

Как правило, в модеме РРС дополнительно создаются:

- речевой канал, позволяющий организовывать служебную телефонную связь;
- канал RS-232 (9600 бит/с), который может быть использован и как дополнительный сервисный канал связи, и для дистанционного контроля параметров.

В многопролетных системах связи программное обеспечение позволяет осуществлять дистанционное управление и диагностику модемов.

Для преобразования сигнала в модемах РРС чаще всего применяются следующие методы модуляции:

- FSK (Frequency Shift Keying) — частотная модуляция (ЧМ), сущность которой заключается в том, что дискретные сигналы 0, 1 передаются гармоническими сигналами (синусоидами), имеющими различные частоты;
- PSK (Phase Shift Keying) — фазовая модуляция, при которой дискретные сигналы 1 и 0 передаются путем переключения двух несущих, сдвинутых на полпериода относительно друг друга. Другой вариант PSK — изменение фазы на 90° в каждом такте при передаче нуля и на 270° при передаче единицы.

Мультиплексор РРС предназначен для асинхронного объединения нескольких цифровых потоков в один, например E1 (2048 Мбит/с), E2 (8448 Мбит/с) в сигнал E2 (8448 Мбит/с) или сигнал E3 (34368 Мбит/с) в соответствии с рекомендацией G. 742 (G. 751) МККТТ.

В зависимости от места, которое занимает РРС в радиорелейной линии, различают оконечные, промежуточные и узловы РРС. Око-

нечными называют РРС, расположенные на концах радиорелейной линии; размещенные между оконечными РРС носят название промежуточных. Промежуточные станции, на которых предусмотрено выделение каналов, называют главными. Если на главной станции предусмотрено ответвление на другую радиорелейную линию, то такую РРС называют узловой. Главные и узловые РРС имеют специальное оборудование выделения каналов, или ответвления. Как правило, оконечные и главные станции обслуживаются специалистами, а обычные промежуточные контролируются дистанционно с оконечных и /или главных станций и персонала не имеют.

Наличие таких «необслуживаемых» РРС позволяет строить не только радиорелейные линии большой протяженности, но и разветвленные радиорелейные сети.

Радиорелейные линии на основе цифровых РРС стали важной составной частью цифровых сетей электросвязи — ведомственных, корпоративных, региональных, национальных и даже международных.

РРЛ классифицируют по следующим взаимосвязанным признакам:

- скорость, в зависимости от которой различают РРЛ:
 - высокоскоростные (скорость передачи свыше 140 Мбит/с);
 - среднескоростные (до 52 Мбит/с);
 - низкоскоростные (до 8 Мбит/с);
- емкость радиорелейной линии (количество стволов и каналов в них), в зависимости от которой различают РРЛ:
 - большой емкости;
 - средней емкости;
 - малоканальные;
- количество пролетов в радиорелейной линии, по которому различаются РРЛ:
 - однопролетные;
 - многопролетные.

Высокоскоростные большой емкости радиорелейные линии применяются в глобальных сетях передачи данных и называются магистральными. Среднескоростные средней емкости радиорелейные линии используются для создания региональных, зональных сетей передачи данных и называются зональными. Наконец, малоканальные широко используются для организации связи на железнодорожном

транспорте, газопроводах, нефтепроводах, линиях электропередачи и т. п. Малоканальные радиорелейные линии с подвижными РРС применяются в военных целях.

Полосы радиочастот РРЛ расположены в диапазоне от 2 до 50 ГГц и жестко регламентируются внутри каждой полосы как рекомендациями ИТУ (Международного союза электросвязи), так и Радиорегламентом Российской Федерации.

При организации связи по цифровой радиорелейной линии должна быть решена проблема выделения частот приема и передачи. Ее решение относится к компетенции ГКРЧ России, и для РЭС всех назначений эта процедура осуществляется в соответствии с «Положением о порядке выделения полос (номиналов) радиочастот...» и результатами рассмотрения в установленном порядке радиочастотных заявок, поступающих от заявителей.

В ряде случаев, например в условиях больших городов, получение свободных радиочастот на некоторых направлениях затруднительно, что связано с проблемой электромагнитной совместимости с другими радиотехническими системами (РТС). Решение этих проблем — тема отдельного разговора.

Спектр применения современных цифровых радиолиний достаточно широк, это объясняется тем, что они позволяют:

- оперативно наращивать возможности системы связи путем установки оборудования РРС в помещениях узлов связи, используя антенно-мачтовые устройства и другие сооружения, что сокращает капитальные затраты на создание радиорелейных линий связи;
- организовать многоканальную связь в регионах со слаборазвитой (или с отсутствующей) инфраструктурой связи, а также на участках местности со сложным рельефом;
- развертывать разветвленные цифровые сети в регионах, больших городах и промышленных зонах, где прокладка новых кабелей слишком дорога или невозможна;
- восстанавливать связь в районах стихийных бедствий или при спасательных операциях и др.

Сеть РРС может строиться как однопролетная, многопролетная линия и радиорелейная сеть.

Однопролетная РРЛ состоит из двух территориально разнесенных РРС. Такие радиолинии создаются для соединения базовых

центров сотовой связи, АТС. Радиолиния с пропускной способностью 140 Мбит/с для российского телевидения соединила телецентр на Ямском поле с земной станцией спутниковой связи в Клину, обеспечив одновременную передачу 17 телевизионных каналов. РРЛ с пропускной способностью 155 Мбит/с и емкостью 1920 цифровых каналов РФ связала Центробанк с его подразделением, удаленным на 140 км.

Примером радиорелейной сети может служить созданная в Киргизской Республике в качестве первичной сети цифровая радиорелейная магистраль из 16 РРС, замкнутых в кольцо, от узловых станций которой отведены 3 радиолинии с 7 другими РТС. Горный рельеф позволил увеличить некоторые пролеты между РРС до 165 км. Сеть охватывает все регионы республики и имеет выходы на наземную станцию спутниковой связи COMSTAT (США) с антенной, направленной на искусственный спутник Intelsat 630, что обеспечивает прямой выход сети связи республики на национальные сети связи многих стран Азии и Европы.

Широкое применение получили малогабаритные, быстро разворачиваемые РРС диапазонов 18, 23 и 36 ГГц, которые способны передавать на расстояние до 25 км как аналоговую (телевизионную), так и цифровую информацию (со скоростью до 34 Мбит/с). Типичное применение цифровых РРС данных диапазонов — организация сетей местной связи, сетей сотовой и транковой связи. В последнем случае, как правило, применяются однопролетные РРЛ «базовая станция» — «базовая станция» и «базовая станция» — «коммуникационная станция».

РТС используются также вместо широкополосных оптоволоконных линий, создаваемых в городских условиях для связи между узловыми АТС и другими объектами связи. Такие РРС могут быть встроены в телекоммуникационные сети, отвечающие стандартам SDH/SONET.

Основными направлениями применения радиолиний в этом случае могут быть:

- магистраль. РРЛ вписывается в городские сети SDH/SONET и служит для замыкания колец, для соединения между кольцами и для подключения удаленных узлов доступа. Линия может использоваться как транспортная альтернатива оптоволокну или для его резервирования;

- организация доступа к сети АТМ. РРЛ соединяется с окончательным сетевым устройством АТМ и концентратором доступа АТМ;
- сопряжение между собой сетей АТМ, Fast Ethernet и др.

5.3. Спутниковые системы связи

5.3.1. Основные понятия спутниковой связи

Круговая орбита — это орбита, у которой расстояние от спутника до центра Земли приблизительно постоянно. *Эллиптическая орбита* — когда спутник движется вокруг Земли по кривой, близкой к эллипсу. *Максимальное удаление* ее от Земли (*апогей*) и *минимальное* (*перигей*) могут существенно отличаться друг от друга. Форма эллипса определяется величиной его эксцентриситета (отношением разности расстояний от центра Земли до апогея и перигея к большой оси эллипса). Орбиты с большим эксцентриситетом имеют высокий апогей и называются высокоэллиптическими.

Выбор формы орбиты (круговая, эллиптическая, высокоэллиптическая), наклонения (полярная, наклонная с заданным углом наклона, экваториальная), величины периода и характера обращения орбиты вокруг Земли (синхронная, геостационарная) является определяющим при проектировании той или иной системы спутниковой связи и в свою очередь обуславливается задачами проектируемой системы.

Начиная с первых запусков спутники связи почти всегда образуют систему. Одиночные ИСЗ связи широкого использования применяются редко.

Орбитальная структура систем спутниковой связи (количество ИСЗ, их орбиты и взаимоположение в пространстве) обуславливается **требованиями надежности, непрерывности, дальности действия связи, минимально допустимым углом места, при котором работоспособны наземные станции, и другими факторами.**

5.3.2. Классификация систем спутниковой связи

Спутниковые системы передачи обладают рядом существенных особенностей, отличающих их как от РРЛ прямой видимости, так и от дальних ТРРЛ. Так, функционирование ССП возможно при наличии ряда специальных подсистем. Ввиду этого ССП выделяют

в самостоятельный вид систем передачи сообщений. Собственно ССП, называемая связной системой, включает в себя ряд подсистем:

1) *космическую*, в состав которой входит ракета-носитель и стартовый комплекс, обеспечивающую вывод ИСЗ на соответствующую орбиту;

2) *командно-измерительную*, имеющую земную и бортовую (установленную на спутнике) части, предназначенную для измерения параметров орбиты спутника и передачи с Земли команд управления;

3) *телеметрическую*, передающая часть которой находится на борту ИСЗ, а приемная на Земле, служащую для передачи данных о состоянии аппаратуры спутника, а также о прохождении команд управления.

По способу ретрансляции сигнала ССП делят на системы с пассивной и активной ретрансляцией.

Система, которая работает без бортовой аппаратуры, называется системой связи с пассивным спутником, или системой с *пассивной ретрансляцией*. В такой системе сигналы, посланные с Земли, отражаются поверхностью ИСЗ обратно без предварительного усиления. В качестве пассивных спутников могут использоваться как специальные отражатели различной формы (в виде сферических баллонов, объемных многогранников и др.), так и естественный спутник Земли — Луна.

При достаточном усилении земных приемных антенн и высокой чувствительности приемника земной станции этот метод радиосвязи находит применение в системах малой пропускной способности.

Системы спутниковой связи (ССС) подразделяются на *фиксированные* (ФСС) и *мобильные* (подвижные ПСС).

ФСС предназначены для связи между стационарными удаленными пользователями, в частности для передачи мультимедийной информации на персональные компьютеры (ПК). Для систем ФСС выделены С (4–6 ГГц), Х (7–8 ГГц), Ки (11–14 ГГц) и Ка (20–30 ГГц) диапазоны частот.

ПСС предназначены для связи между мобильными или мобильным и стационарным объектами. Для ПСС выделены диапазоны частот до 1 ГГц, а также полосы частот в L (1,5–1,6 ГГц) и S (2,4–2,5 ГГц) диапазонах. В перспективных ПСС планируется рабо-

та и в других диапазонах. Мобильные ССС появились только в середине 70-х годов и сейчас интенсивно развиваются. Революционные изменения в области мобильной спутниковой связи произошли в начале 90-х годов. Они обусловлены тремя факторами:

- коммерциализацией космических программ;
- использованием низкоорбитальных и средневысотных космических аппаратов для связи с подвижными объектами;
- переходом на цифровую связь с использованием компьютерных технологий.

Отличительными *особенностями* ПСС являются:

- использование цифровых методов передачи речи и данных;
- интеграция с традиционными наземными системами подвижной связи (в первую очередь, с цифровыми сотовыми);

В спутниковых системах связи используются *низкоорбитальные* аппараты, *высокоэллиптические* ИСЗ и *геостационары*.

Цифровая спутниковая сеть обеспечивает возможность передачи по одному каналу различных видов информации (речи, данных, видео).

В зависимости от скорости передачи ССС можно разделить на 4 класса:

- со сверхнизкими скоростями (менее 1,2 Кбит/с);
- низкоскоростные (1,2–9,6 Кбит/с);
- среднескоростные (9,6–64 Кбит/с);
- высокоскоростные (64 Кбит/с и выше).

Системы со *сверхнизкими* скоростями предназначены для обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию, мониторинга окружающей среды и т. д. По каналам этих систем передаются обычно однопакетные сообщения длиной не более 256 бит.

Низкоскоростные и *среднескоростные* системы предназначены для передачи коротких пакетов данных и обеспечения радиотелефонной связи.

Высокоскоростные системы являются глобальными и предназначены для передачи высококачественной речи, высокоскоростных потоков данных, мультимедиа, конференц-связи, доступа в Internet и т. д.

К наиболее важным относятся два вида обслуживания: персональная и групповая связь и организация магистральных линий для широкополосных сетей различного назначения.

Первый тип услуг обеспечивает связь в реальном времени в режиме предоставления каналов по требованию со скоростью передачи до 2–10 Мбит/с.

Ко второму типу услуг относится передача высокоскоростных потоков информации (155,52 Мбит/с).

5.3.3. Низкоорбитальные и среднеорбитальные ИСЗ

Первыми для целей связи были применены низкоорбитальные ИСЗ.

Это объясняется, в частности, и тем, что вывод ИСЗ на низкие орбиты более прост и выполняется с наименьшими энергетическими затратами. Первые запуски низкоорбитальных спутников связи показали возможность и целесообразность применения ИСЗ для связи, подтвердили правильность технических принципов активной ретрансляции. Вместе с тем из первого опыта эксплуатации спутников на низких орбитах стало ясно, что они не могут обеспечить достаточно эффективного решения задач спутниковой связи.

Системы, использующие спутники на низких орбитах высотой 320–1100 км (системы LEO), массой спутников до 500 кг, обладают существенными преимуществами по сравнению с другими в части энергетических характеристик, но проигрывают им по продолжительности сеансов связи.

Если низкоорбитальная система должна обеспечивать глобальную связь, то число ее спутников не может быть менее 48. Период обращения на этих орбитах составляет 1–1,5 ч, максимальное время пребывания в зоне радиовидимости не превышает 10–15 мин. Типы, названия и характеристики орбит приведены на рис. 5.4. Вскоре, однако, стало ясно, что многоспутниковая система связи на низкоорбитальных ИСЗ как система общего пользования обладает многими эксплуатационными неудобствами и нерентабельна [15].

В низкоорбитальных системах связи спутники могут размещаться в пространстве друг относительно друга случайно или упорядоченно. При случайном расположении понадобится большее число ИСЗ, однако упорядоченное местоположение их в пространстве потребует немалых усилий для создания и сохранения заданного относительного расположения. При этом необходимы постоянный контроль местоположения спутников и корректировка орбит вследствие эволюции их в процессе полета.

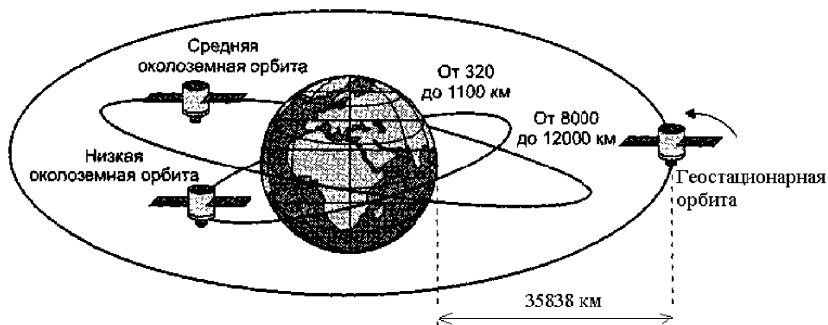


Рис. 5.4. Типы спутниковых орбит

У среднеорбитальных спутников время прохождения над определенной точкой на земной поверхности измеряется часами. Высота орбиты таких спутников над поверхностью Земли составляет около 10000 км. При использовании системы из среднеорбитальных спутников переключения с одного спутника на другой происходят значительно реже, чем в случае низкоорбитальных спутников. Хотя время распространения сигнала в такой системе выше и требуется более высокая мощность передатчиков, чем в случае низкоорбитальных спутников, эти параметры все же лучше, чем у геостационарного спутника. Созданная в январе 1995 года компания ICO Global Communications предложила систему среднеорбитальных спутников. Запуск спутников начался в 2000 году. План предусматривал запуск двенадцати спутников, включая два запасных, на орбиты высотой 10400 км. Спутники делятся на две группы по шесть спутников, каждая из которых летает по орбите с наклоном 45. Предполагается использовать спутники для передачи оцифрованного голоса, данных, факсов, уведомлений и сообщений.

Среднеорбитальные спутники обеспечивают более высокие характеристики, чем геостационарные, за счет увеличения рабочих углов места и числа спутников, находящихся одновременно в поле зрения наблюдателя. Радиовидимость двух спутников в системе Odyssey или ICO обеспечивается в течение 95% суточного времени. Для глобального охвата необходимо 7–12 спутников. Полная задержка распространения сигналов составляет не более 130 мс. Период обращения вокруг Земли составляет около 6 часов.

К достоинствам ССС на низких орбитах относятся, как уже отмечалось, сравнительная дешевизна вывода их на орбиту и более простая бортовая аппаратура. Это позволяет использовать дешевые малогабаритные терминалы и небольшие антенны для обеспечения глобальной персональной связи с помощью терминала типа «телефонная трубка». Время распространения сигнала значительно меньше, чем в случае геостационарных спутников. Кроме того, сигнал низкоорбитального спутника при той же мощности передатчика гораздо сильнее, чем у геостационарного. Зона обслуживания низкоорбитального спутника значительно уже, чем у геостационарного, что позволяет экономичнее использовать частотный диапазон. По этим причинам данная технология сегодня предлагается для мобильных и персональных терминалов, которым необходим сильный сигнал.

К недостаткам относится трудность поддержания непрерывной круглосуточной связи, усложнения наземной аппаратуры за счет применения следящих антенных устройств. Требуется много низкоорбитальных спутников. Так, компания Motorola для своей системы Iridium запустила 66 спутников.

Низкоорбитальные ССС могут оказаться эффективными в тех случаях, когда не требуется двусторонняя непрерывно действующая связь (например, если нужна лишь периодическая передача данных).

В мире насчитывается более 30 национальных и международных низкоорбитальных спутниковых систем, среди которых наиболее известны Globalstar, Iridium (США) и «Гонец», «Сигнал» (Россия).

5.3.4. Системы с геостационарными ИСЗ

На сегодня наиболее распространенными являются геостационарные спутники (GEO stationary Satellite, GEOS), называемыми часто СИСЗ (стационарные ИСЗ). Если спутник находится на круговой орбите, на высоте 35 838 км над уровнем океана и вращается в экваториальной плоскости, его угловая скорость будет совпадать со скоростью вращения Земли. В результате спутник будет все время оставаться над одной и той же точкой на экваторе. Они применяются для телефонно-телеграфной связи, радио- и телевидения. Создаются геостационарные космические аппараты комплексного типа для метеорологических целей, изучения природных ресурсов Земли, контроля среды обитания, выполнения других задач.

Такое расположение спутника обладает рядом достоинств.

1. Поскольку спутник неподвижен относительно Земли, не возникает проблем, связанных с эффектом Доплера, то есть с изменением частоты, вызванным движением спутника относительно антенны.

2. Упрощается задача наведения антенны на спутник.

3. С высоты 35 838 км спутник может охватить примерно четверть поверхности Земли. Трех равноудаленных друг от друга геостационарных спутников достаточно, чтобы охватить самые населенные районы земного шара, кроме, разве что, полярных регионов.

Важнейшим **достоинством** геостационарных ИСЗ является образование огромной постоянной зоны видимости для многочисленных пунктов на Земле, охват обширных территорий, возможность организации связи на большую дальность и со значительным числом корреспондентов.

Существенное преимущество ССС со спутниками на геостационарных орбитах состоит в том, что при их использовании снижаются требования к наземным системам слежения и связи, при этом упрощаются или устраняются и устройства наведения бортовых антенн. С помощью трех таких спутников, расположенных друг относительно друга под углами 120° , можно создать глобальную систему связи, т. е. систему, практически охватывающую всю Землю (рис. 5.5).

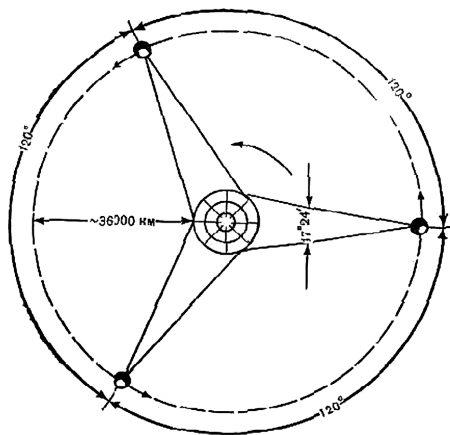


Рис. 5.5. Три ИСЗ на геостационарных равноудаленных орбитах

Геостационарные спутники связи, которые образно можно себе представить как телебашни, поднятые на высоту 36 тыс. км, позволяют вести и прямые передачи без помощи местных телецентров, непосредственно на абонентские антенны.

Геостационарные спутники выполняют на сегодняшний день *множество задач*, таких как: телекоммуникация, радиоместоопределение (системы навигации GPS, ГЛОНАСС и др.), главной задачей большинства геостационарных спутников является формирование изображений видимой земной поверхности. Спутниковые системы связи с геостационарными спутниками-ретрансляторами идеально подходят для решения таких задач, как организация телевизионного и звукового вещания на обширных территориях и предоставление высококачественных телекоммуникационных услуг абонентам в удаленных и труднодоступных регионах. Кроме того, с их помощью можно быстро создавать крупномасштабные корпоративные сети и резервировать наземные магистральные каналы связи большой протяженности. Также сейчас проводится создание мультисервисных сетей (объединяющих в едином пакете такие услуги, как передача данных, телефония, цифровое телевидение, видеоконференция и доступ в Интернет) на основе технологии VSAT.

Несмотря на свои достоинства, геостационары, однако, не во всех случаях выгодны в технико-экономическом отношении. При определенных условиях более рационально использование ИСЗ на высокоэллиптических орбитах, например типа «Молния».

С использованием геостационарных спутников связаны определенные проблемы.

1. После прохождения более 35000 км сигнал довольно сильно ослабевает.

2. Полярные регионы через геостационарные спутники недоступны.

3. Поскольку спутник находится очень далеко от Земли, задержка распространения сигнала даже со скоростью света (300000 км/с) оказывается весьма существенной.

Таким образом, геостационарные спутники можно с успехом использовать для систем радио- и телевизионного вещания, где задержки в 250 мс в каждом направлении не сказываются на качестве, а в системах персональной радиотелефонной связи суммарная задержка составляет 600 мс, что затрудняет общение абонентов.

Например, задержка распространения сигнала между двумя находящимися точно под геостационарным спутником терминалами равна $2 \cdot 35838 \text{ км} / 300000 \text{ км/с} = 0,24 \text{ с}$. Если же терминалы находятся не точно под спутником, то задержка оказывается еще больше. Время прохождения сигнала в оба конца (запрос и ответ) равна удвоенной задержке, то есть почти 0,5 с. Такая задержка ощутима даже на слух при телефонном разговоре.

Другая особенность геостационарных спутников состоит в том, что они пользуются выделенными им частотами на очень большой территории. С позиций приложений для широковещательной рассылки, таких как телевизионное вещание, это может быть достоинством, но для двухточечных соединений это недостаток, так как невозможно использовать одну и ту же частоту в двух удаленных друг от друга местах для соединения с одним и тем же спутником. Для ограничения обслуживаемой области поверхности можно задействовать специальные направленные антенны. Решить некоторые из перечисленных выше проблем помогают спутники, находящиеся на более низких орбитах. В системах третьего поколения особое место занимают *низкоорбитальные спутники* (Low-Earth-Orbiting Satellite, LEOS) и *среднеорбитальные спутники* (Medium-Earth-Orbiting Satellite, MEOS).

Кроме того, вывод аппарата на геостационарную орбиту осуществляется сложнее, чем на низкую или даже на высокоэллиптическую. Например, доставка 1 кг полезного груза на геостационарную орбиту обходится значительно дороже. Для удержания СИЗ в заданной точке «стояния» на нужной долготе требуется регулярная корректировка орбиты с помощью микродвигателей, а на борту спутника необходимы для этих целей запасы топлива. Усложняется управление в полете.

Развитие космонавтики позволяет, однако, рассчитывать на быстрое и успешное преодоление всех затруднений, возникающих при создании и эксплуатации спутниковых систем связи на геостационарах.

5.3.5. Системы связи с ИСЗ на высокоэллиптических орбитах

Чтобы избежать недостатков, свойственных спутниковой системе связи на низких орбитах, надо повышать высоту орбит. Возможны два варианта таких орбит — *высокие круговые и высокоэллипти-*

ческие. Выведение ИСЗ на высокоэллиптические орбиты (рис. 5.6) в некоторых случаях имеет известные преимущества.

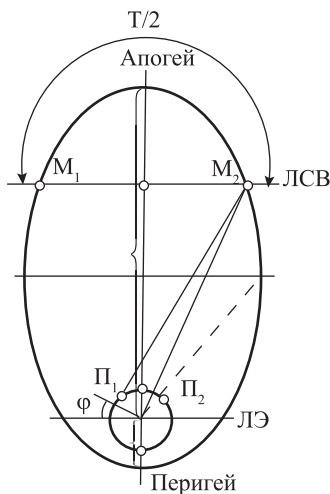


Рис. 5.6. Высокоэллиптическая орбита с двумя ИСЗ

M_1 и M_2 — спутники связи; P_1 и P_2 — пункты, между которыми планируется организовать круглосуточную связь, ЛЭ — линия экватора, ЛСВ — линия симметрии времени, φ — угол, определяющий широту.

За счет высоты орбиты длительность связи увеличится. Причем она дополнительно возрастет еще вследствие того, что отношение времени видимости находящегося близко к апогею спутника в заданной зоне к периоду его обращения у спутников с эллиптической орбитой оказывается существенно больше.

Согласно законам небесной механики (второму закону Кеплера), при движении спутника по эллиптической орбите его угловая скорость тем меньше, чем дальше он находится от центра Земли. Иными словами, спутник в районе апогея движется существенно медленнее, чем в районе перигея. При определении расчетных параметров орбит спутников связи, естественно, учитываются также энергетические характеристики ракеты-носителя, возможности космодрома и командно-измерительного комплекса и другие факторы, обуславливающие вывод спутника на орбиту и управление им в полете.

К спутникам с эллиптической орбитой относятся, например, американские спутники связи «Тельстар» (перигей — около 1 тыс. км, апогей — около 11 тыс. км).

Хорошим примером спутников с высокоэллиптической орбитой служат советские спутники связи типа «Молния». Для спутников этого класса выбрана орбита с апогеем над северным полушарием около 40 тыс. км и перигеем около 500 км, при наклонении 65° и периоде обращения, равном 12 ч. При периоде обращения спутника класса «Молния», равном 12 ч, обеспечивается одновременно радиовидимость между Москвой и Дальним Востоком в течение 8–9 ч на одном витке.

6. Сетевые технологии

6.1. Общие сведения о сетях телекоммуникаций

Локальные (Local Area Network, LAN), региональные (Metropolitan Area Network, MAN) и глобальные сети (Wide-Area Network, WAN) являются примерами коммуникационных сетей. Коммуникационная сеть представляет собой систему, которая соединяет некоторое число устройств и обеспечивает передачу данных между этими устройствами [7,15].

Существует несколько способов классификации коммуникационных сетей. Коммуникационные сети можно классифицировать в зависимости от их топологии и используемых физических носителей. Однако сначала полезно рассмотреть другой распространенный метод классификации, при котором коммуникационные сети различаются по их географическому охвату. Как правило, сети делят на локальные и глобальные. Иногда встречается также понятие региональной сети. Эти категории, а также некоторые специальные случаи иллюстрирует рис. 6.1. Для сравнения на рисунке также изображен типичный диапазон скоростей обработки данных мультипроцессором.

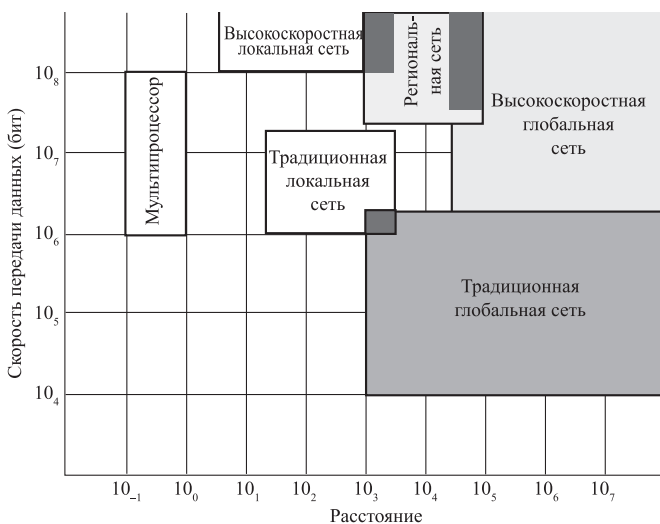


Рис. 6.1. Сравнение мультимплексных систем, а также локальных, региональных и глобальных сетей

6.1.1. Глобальные сети

Глобальные сети покрывают огромные географические пространства, для них могут требоваться права на пересечение чужой территории и, частично, каналы, предлагаемые общественными линиями с поддержкой несущей. Как правило, глобальная сеть состоит из нескольких соединенных друг с другом коммутаторов. Данные от любого устройства направляются через эти внутренние узлы сети к указанному устройству назначения.

Традиционно глобальные сети предоставляли своим клиентам относительно скромную пропускную способность. Обычно данные со скоростью 64000 бит/с или меньше попадали в глобальную сеть либо через цифровую сеть, либо через телефонную сеть с модемом.

6.1.2. Локальные сети

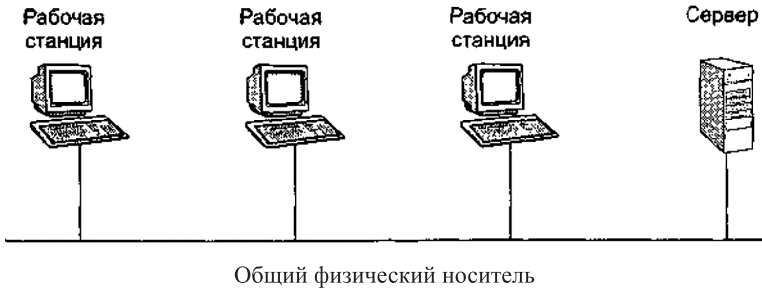
Как и глобальная сеть, локальная сеть представляет собой коммуникационную сеть, соединяющую различные устройства и обеспечивающую обмен информацией между этими устройствами. Между локальными и глобальными сетями есть несколько ключевых различий:

Область охвата локальной сети невелика, как правило, это отдельное здание или комплекс зданий. Как мы увидим, это различие в масштабах приводит к различным техническим решениям.

Как правило, локальной сетью владеет та же организация, которой принадлежат присоединенные к сети устройства. Для глобальных сетей обычно это не так. У данного явления два следствия. Во-первых, выбирать локальную сеть следует, хорошо подумав, так как ее приобретение и поддержка может потребовать существенных капиталовложений (по сравнению с расходами на пользование глобальной сетью по временным соединениям или выделенным линиям). Во-вторых, ответственность за управление локальной сетью лежит целиком на ее пользователе.

Скорости передачи данных в локальных сетях, как правило, значительно выше, чем в глобальных сетях.

Простой пример локальной сети, демонстрирующий некоторые из ее характеристик, показан на рис. 6.2. Все устройства присоединены к общему физическому носителю. Данные, передаваемые любым устройством, могут приниматься всеми остальными устройствами, присоединенными к той же сети.



Общий физический носитель
Рис. 6.2. Простая локальная сеть

Традиционные локальные сети переносят данные в диапазоне скоростей приблизительно от 1 до 20 Мбит/с. Хотя эти скорости достаточно велики, со временем, благодаря распространению устройств, развитию мультимедийных приложений и росту популярности архитектуры клиент-сервер, они становились все более неадекватными. В результате развития локальных сетей были разработаны высокоскоростные локальные сети со скоростями передачи данных от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с.

6.1.3. Региональные сети

Как можно догадаться по названию, региональные сети занимают нишу между локальными и глобальными сетями. Интерес к региональным сетям явился результатом осознания того факта, что традиционные технологии двухточечных соединений и коммутируемых сетей, применяемые в глобальных сетях, могут оказаться неадекватными растущим потребностям организации. Хотя технологии frame relay и ATM обещают удовлетворить широкий спектр требований к высокоскоростной передаче данных, при разработке частных и общедоступных сетей необходимо учитывать также такой фактор, как стоимость. Метод коллективного использования высокоскоростного физического носителя, применяемый в локальных сетях, предоставляет ряд преимуществ, которые можно реализовать в региональных масштабах. Как видно из рис. 6.1, региональная сеть покрывает большие расстояния и передает данные на более высоких скоростях, чем локальная, хотя географически области охвата региональных и локальных сетей перекрываются.

В основном рынок региональных сетей состоит из клиентов, которым необходима высокоскоростная передача данных на средние

расстояния. Региональная сеть должна предоставлять требуемую пропускную способность с меньшими издержками и большей эффективностью, чем местная телефонная компания.

6.2. Сетевая топология

В контексте компьютерной сети понятие *топологии* означает способ соединения друг с другом конечных систем или станций.

Распространенными сетевыми топологиями являются: *шинные* (линейные), *иерархические* (древовидные), *кольцевые* (петлевые), *радиальные* (звездообразные) (рис. 6.3), *полносвязные* (сетка), *распределенные радиальные* (сотовые), *смешанные* (гибридные).

Общую шину можно рассматривать как вырожденный случай дерева без ветвей. Когда это различие будет для нас не принципиально, мы используем термин *шина* или *дерево*.

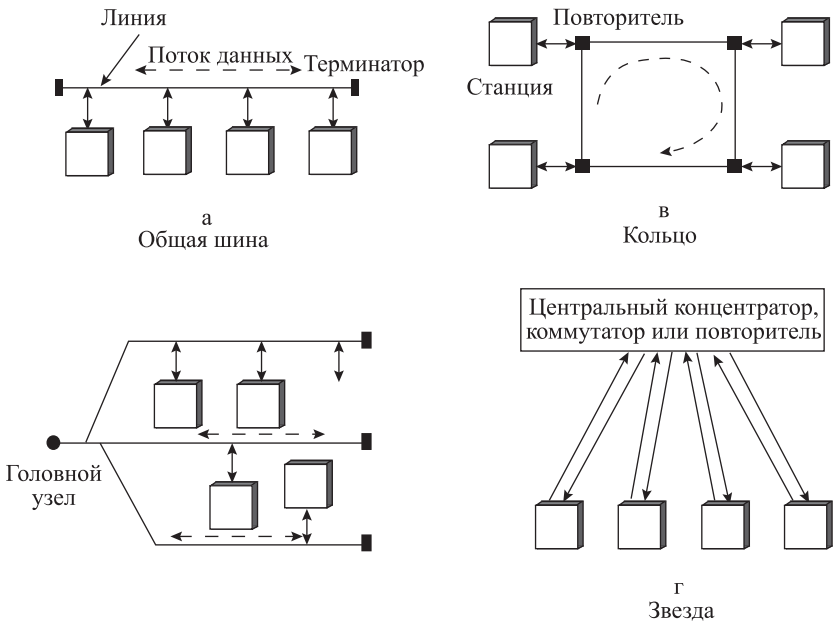


Рис. 6.3. Топологии локальных сетей

Общая шина

Топология локальной сети, при которой станции присоединяются к общей среде передачи, представляющей собой линейный ка-

бель. Передаваемый сигнал распространяется по всей длине кабеля и принимается всеми станциями.

Топологии общей шины и дерева характеризуются использованием многоточечной среды передачи. В сети с топологией *общей шины* все станции напрямую соединены с линейной средой передачи через соответствующий аппаратный интерфейс. Дуплексная операция между станцией и интерфейсом позволяет передавать данные в шину и принимать их из шины. Сигнал, передаваемый одной станцией, распространяется по всей длине шины в обе стороны и принимается всеми станциями. На обоих концах шины устанавливаются терминаторы, поглощающие любые сигналы.

«**Дерево**» — топология локальной сети с общей средой передачи, представляющей собой ветвящийся кабель, выходящий из головного узла. Передаваемый сигнал распространяется от станции до головного узла, а оттуда по всей среде.

Топология дерева представляет собой обобщение топологии общей шины. Среда передачи представляет собой ветвящийся кабель без замкнутых контуров. Дерево начинается в точке, называемой *головным узлом*. В головном узле начинается один или несколько кабелей, каждый из которых может иметь ответвления. Эти ответвления также могут ветвиться, что позволяет получать довольно сложную схему сети. Как и в сети с топологией общей шины, сигнал, передаваемый одной станцией, распространяется по всей среде и принимается всеми станциями.

При использовании такой топологии возникают две проблемы. Во-первых, поскольку передаваемый одной станцией сигнал принимается всеми станциями, необходимо каким-то образом указывать, кому предназначаются передаваемые данные. Во-вторых, необходим специальный механизм управления доступом к каналу. Если две станции, присоединенные к общей шине, попытаются передать данные одновременно, их сигналы будут накладываться друг на друга, в результате получится неразборчивый шум. Если же какая-либо станция решит передать данные непрерывно в течение долгого времени, всем остальным станциям придется ждать.

Например, станция С хочет передать кадр станции А. Заголовок кадра включает адрес станции А. Распространяясь по шине, кадр проходит мимо станции В. Станция В считывает кадр с шины, исследует адрес и игнорирует этот кадр. Станция А, напротив, обна-

руживает, что проходящий кадр адресован именно ей, и поэтому копирует данные кадра.

Таким образом, структура кадра позволяет решить упоминавшуюся выше проблему выяснения получателя данных. Она также позволяет решить вторую проблему, связанную с управлением доступом к среде передачи. В частности, станции передают кадры поочередно, взаимодействуя друг с другом. Эта процедура требует помещать в заголовок дополнительную управляющую информацию, о чем будет рассказано далее.

В сетях с топологией общей шины или дерева не нужно предпринимать специальных мер по удалению кадра из среды передачи. Когда сигнал достигает конечной точки среды передачи, он поглощается терминатором.

Кольцевая топология

При *кольцевой* топологии (рис. 6.4) сеть состоит из множества *повторителей*, соединенных двухточечными линиями в замкнутое кольцо. Повторитель представляет собой относительно простое устройство, способное принимать данные по входной линии и передавать их, бит за битом, по выходной линии с той же скоростью, с которой они поступают. Все используемые линии связи однопольные, то есть данные передаются только в одном направлении, так что переданный станцией кадр циркулирует по кольцу (по часовой стрелке или против часовой стрелки).

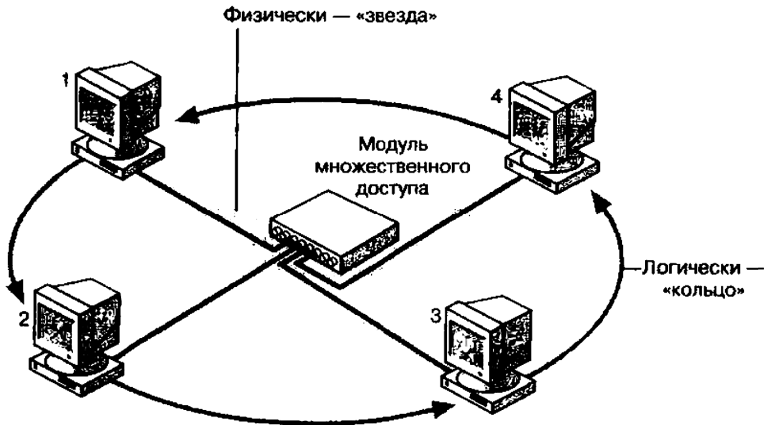


Рис. 6.4. В топологии «кольцо» физические кабели располагаются в форме звезды, а логически образуют кольцо

Передаваемые сигналы распространяются по кольцу в одном направлении и могут приниматься всеми станциями.

Каждая станция присоединяется к повторителю и может передавать через него данные в сеть. Как и в случае сетей с топологией общей шины или дерева, данные передаются по кадрам. Когда кадр проходит станцию, которой он адресован, станция распознает адрес и копирует кадр в свой локальный буфер. Кадр продолжает циркулировать по кольцу до тех пор, пока не возвращается к отправившей его станции, которая удаляет его из кольца. Поскольку кольцом пользуется множество станций, для определения момента времени, когда станция может начать передачу, необходим протокол управления доступом к среде.

Топология «кольцо» применяется в сетях, в которых управление доступом к среде осуществляется с помощью маркеров, например в сетях Token Ring. Важно понимать, что в большинстве случаев «кольцо» — это логическая, а не физическая конструкция. Точнее, под «кольцом» подразумевается схема подключения проводов, а не способ прокладки кабелей.

Пусть Вас не смущает, что внешне сеть с топологией «кольцо» похожа на сеть с топологией «звезда» (рис. 6.5). Фактически кабели в сети с топологией «кольцо» также подключаются к концентратору, из-за чего она и выглядит как «звезда». Сетевое «кольцо» реализовано логически с помощью соединения проводов внутри кабелей и специального концентратора — модуля множественного доступа (Multistation Access Unit, MAU). Он получает данные через один порт и по очереди передает их через все остальные (не одновременно, как концентратор Ethernet). В конце концов, пакет попадает в компьютер, который его сгенерировал, и там уничтожается [11].

Использование физической топологии «звезда» в сети с топологией «кольцо» обеспечивает функционирование сети даже в случае повреждения кабеля или разъема. С помощью специальной схемы модуль множественного доступа просто исключает неисправную рабочую станцию из кольца, сохраняя его логическую топологию. Если бы кабель был проложен буквально по кольцу, без модуля множественного доступа, любое его повреждение приводило бы к прекращению работы сети. Тем не менее среди популярных сетевых протоколов имеется один — FDDI (Fiber Distributed Data Interface) — в котором допускается соединение кабелей в физическое кольцо.

Кольцо это должно состоять из двух отдельных физических колец, трафик по которым передается в противоположных направлениях. Если компьютеры подключены к обоим кольцам, сеть может функционировать, даже если одно из них выйдет из строя.

Топология «звезда»

В локальной сети с топологией *звезды* (рис. 6.5) каждая станция напрямую соединена с общим центральным узлом. Как правило, для этого используются две двухточечные линии связи, одна для передачи и одна для приема.

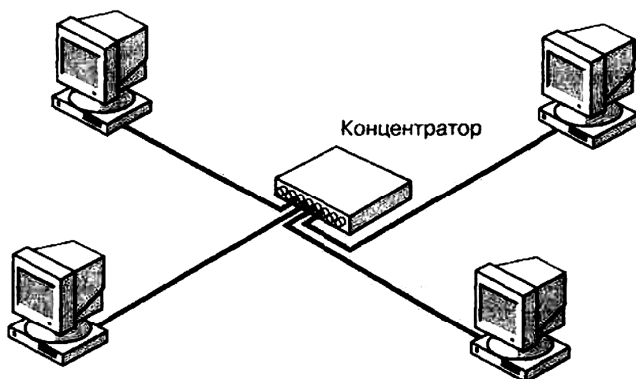


Рис. 6.5. «Топология кольцо»

Существуют два альтернативных режима работы центрального узла. **Во-первых**, центральный узел может передавать кадры путем широковещательной рассылки. В этом случае кадр, переданный одной станцией центральному узлу, ретранслируется по всем исходящим линиям.

Таким образом, хотя физически локальная сеть представляет собой звезду, логически она работает как общая шина. Данные, передаваемые одной станцией, принимаются всеми остальными станциями, а чтобы передача была успешной, эту передачу должна вести только одна станция. В этом случае центральный узел называют *хабом*, или *концентратором*. **При другом подходе** центральный узел играет роль коммутатора кадров. Принимаемый им кадр помещается в буфер, а затем передается по исходящей линии той станции, которой он предназначен. Эти подходы рассматриваются в вопросе «Коммутаторы уровней 2 и 3».

Топология «иерархическая звезда»

Может показаться, что размер сети Ethernet с топологией «звезда» ограничен количеством портов в концентраторе. Но, когда Ваша сеть достигнет этого предела, ее можно расширить, добавив второй концентратор, а иногда и третий, и четвертый. Чтобы подключить к сети с топологией «звезда» второй концентратор, подсоедините его к первому концентратору с помощью обычного кабеля и специального каскадирующего (uplink) порта на одном из концентраторов (рис. 6.6).

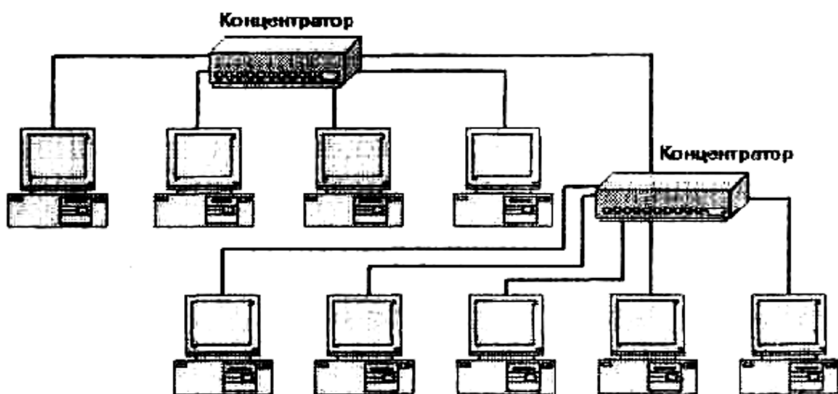


Рис. 6.6. Иерархическая звезда

Так создается сеть с топологией «иерархическая звезда» (hierarchical star), которую иногда называют также сетью с древовидной структурой (branching tree network). В обычную сеть Ethernet со скоростью передачи 10 Мбит/с таким способом можно включить до четырех концентраторов, а в сеть Fast Ethernet — как правило, только два.

Топология полностью связной (сеточной) вычислительной сети представлена на рис. 6.7.

При построении сетей с подобной топологией каждое из сетевых устройств или компьютеров соединяется с каждым другим компонентом сети. Эта топология обладает значительной избыточностью и считается непрактичной для организации крупных сетей. Необходимость наличия большого числа коммуникационных портов для каждого из узлов и отдельных электрических линий связи делает такой вариант построения громоздким и неэффективным.

Несмотря на отмеченные недостатки, полносвязная топология обладает высокой отказоустойчивостью.

На практике находит применение частичная сеточная топология — структура, при которой некоторые звенья полносвязной топологии пропускаются, и ряд узлов может связываться с другими только через промежуточные узлы. Такая конфигурация является более практичной: узлы, которые имеют большой трафик, соединяются напрямую, а остальные узлы — через промежуточные [13,15].

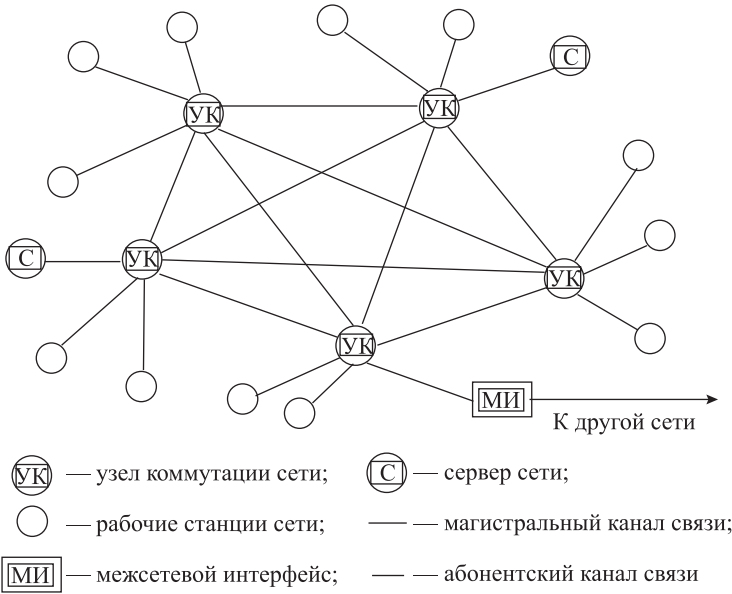


Рис. 6.7. Полносвязная топология

Одна из разновидностей сеточной топологии — *сотовая (cellular)*, использующая беспроводные соединения между узлами сети. В ней сетевые устройства и компьютеры объединяются в зоны — ячейки (cell), взаимодействуя только с приемо-передающим устройством ячейки. Передача информации между ячейками осуществляется приемо-передающими устройствами.

Небольшие сети, как правило, имеют типовую топологию. Для крупных сетей характерно наличие разнообразных связей между узлами. В таких сетях можно выделить отдельные фрагменты (подсети) с типовой топологией, а топологию сети в целом называют *гибридной (смешанной)*.

6.3. Эталонная модель взаимодействия открытых систем

6.3.1. Концепция открытости сетевых технологий

Передача и обработка данных в разветвленной сети — сложный процесс, использующий многочисленную и разнообразную аппаратуру. Управление таким процессом требует формализации и стандартизации ряда процедур, таких как:

- 1) выделение и освобождение ресурсов компьютеров и системы телекоммуникации;
- 2) установление и разъединение соединений;
- 3) маршрутизация, согласование, преобразование и передача данных;
- 4) контроль правильности передачи; исправление ошибок и т. д.

Необходимость стандартизации протоколов важна для «понимания» сетями друг друга при их взаимодействии.

Перечисленные задачи решаются с помощью системы протоколов и стандартов, регламентирующих нормализованные процедуры взаимодействия элементов сети при установлении связи и передаче данных.

Эталонная модель OSI (Open Systems Interconnection — взаимодействие открытых систем) была разработана международной организацией по стандартизации (ISO) как модель архитектуры протоколов, устанавливающая рамки разработки стандартов протоколов. Как и протоколы TCP, модель OSI структурируется по уровням. Функции передачи данных распределены между рядом уровней. Каждый уровень выполняет определенный набор функций, необходимых для взаимодействия систем. Каждый уровень ниже по иерархии выполняет более простые функции. При этом обеспечивается маскировка конкретных функций, необходимых для передачи данных. В идеальном случае разбиение на уровни нужно выполнять так, чтобы изменение одного уровня не требовало внесения изменений в остальные. Таким образом, мы разделяем одну задачу на ряд более простых подзадач.

Эталонная модель взаимодействия открытых систем — модель, описывающая взаимодействие устройств. Определяет семиуровневую архитектуру коммуникационных функций.

Задача международной организации по стандартизации состояла в описании набора уровней и определения функций каждого

из них. При таком разбиении подобные функции должны логически группироваться вместе, а число уровней должно быть достаточным для того, чтобы каждый уровень был прост и легко управляем. Вместе с тем число уровней должно быть не слишком большим, чтобы объем служебных данных, формируемых на каждом уровне, был не слишком обременителен. Получившаяся эталонная модель состоит из семи уровней (табл. 6.1). Цель модели OSI — разработка протоколов для реализации функций каждого уровня.

Разработчики модели взаимодействия открытых систем предполагали, что она вместе со своими протоколами станет доминировать в области взаимодействия компьютеров, вытеснив фирменные реализации протоколов, а также версии протоколов, объединившие усилия нескольких разработчиков, такие как TCP/IP. Однако этого не произошло.

К тому моменту, когда бизнес осознал необходимость в межсетевом взаимодействии, реально доступными и работоспособными были только протоколы TCP/IP. Кроме того, модель OSI оказалась излишне сложной, ее семь уровней решают те же задачи, что и стек TCP/IP с меньшим числом уровней.

Протокол представляет собой набор правил и методов взаимодействия объектов сети, охватывающий основные процедуры, алгоритмы и форматы взаимодействия, обеспечивающие корректность согласования, преобразования и передачи данных в сети. Реализацией протокольных процедур обычно управляют специальные программы, реже — аппаратные средства. Внутри сети протоколы обеспечивают разные варианты обращения с информацией, разные виды сервиса при работе с ней. От эффективности этих сервисов, их надежности, простоты, удобства и распространенности зависит то, насколько эффективна и удобна работа в сети.

Открытая система — система, доступная для взаимодействия с другими системами в соответствии с принятыми стандартами, определяющими содержание, форму и порядок информационного обмена.

Построение сетей в области телекоммуникаций согласуется с концепцией открытых систем, поскольку соблюдение принципов открытости дает очевидные преимущества.

Эта система протоколов базируется на технологии разделения всех процедур взаимодействия на отдельные мелкие функциональ-

Функциональные уровни модели OSI

Уровень OSI	Назначение	Примеры протоколов
7 Прикладной	Обеспечивает прикладным процессам пользователя средства доступа к сетевым ресурсам; является интерфейсом между программами пользователя и сетью. Имеет интерфейс с пользователем	X. 400, NCR HTTP, SMTP, FTP, FTAM, SAP, DNS, Telnet и т. д.
6 Представления	Устанавливает стандартные способы представления данных, которые удобны для всех взаимодействующих объектов прикладного уровня. Имеет интерфейс с прикладными программами	X. 226
5 Сеансовый	Обеспечивает средства, необходимые сетевым объектам для организации, синхронизации и административного управления обменом данных между ними	X. 225, RPC, NetBEUT и т. д.
4 Транспортный	Обеспечивает надежную, экономичную и «прозрачную» передачу данных между взаимодействующими объектами сеансового уровня	X. 224, TCP, UDP, NSP, SPX, SPP, RN и т. д.
3 Сетевой	Обеспечивает маршрутизацию передачи данных в сети, устанавливает логический канал между объектами для реализации протоколов транспортного уровня	X. 25, X. 75, IP, IPX, IDP, TH, DNA-4 и т. д.
2 Канальный	Обеспечивает непосредственную связь объектов сетевого уровня, функциональные и процедурные средства ее поддержки для эффективной реализации протоколов сетевого уровня	LAP-B, HDLC, SNAP, SDLC, IEEE 802.2 и т. д.
1 Физический	Формирует физическую среду передачи данных, устанавливает соединения объектов сети с этой средой	Ethernet, Arcnet, Token Ring, IEEE 802.3

ные уровни, для каждого из которых легче создать стандартные алгоритмы их построения.

Модель OSI представляет собой самые общие рекомендации для построения стандартов совместимых сетевых программных продуктов, она же служит базой для производителей при разработке совместимого сетевого оборудования, т. е. эти рекомендации должны быть реализованы как в аппаратуре, так и в программных средствах телекоммуникационных сетей.

Для упорядочения функций управления и протоколов сети вводятся функциональные уровни. В общем случае в сети принято различать 7 функциональных уровней (табл. 6.1: физический (Physical — 1), канальный (Data-Link — 2), сетевой (Network — 3), транспортный (Transport — 4), сеансовый (Session — 5), представления данных (Presentation — 6) и прикладной (Application — 7). Поэтому модель OSI называют также *эталонной семиуровневой логической моделью открытых систем*.

Назначение каждого уровня — описывать путь передачи информации от одного прикладного процесса одного сетевого узла до другого процесса другого сетевого узла через сетевую среду. При этом информация проходит через все уровни системы сначала вниз на передающем сетевом узле, а затем вверх на приемном.

Модель OSI (рис. 6.8) описывает только системные средства взаимодействия, не касаясь приложений конечных пользователей.

Пользовательские приложения реализуют свои собственные протоколы взаимодействия, обращаясь к системным средствам. Следует иметь в виду, что приложение может взять на себя функции некоторых верхних уровней модели OSI, в таком случае при необходимости обмена данными оно обращается напрямую к системным средствам, выполняющим функции оставшихся нижних уровней модели OSI.

Приложение конечного пользователя может использовать системные средства взаимодействия не только для организации диалога с другим приложением, выполняющимся на другой машине, но и для получения услуг того или иного сетевого сервиса, например доступа к удаленным файлам, получение почты или печати на разделяемом принтере.

Типичный пример — приложение обращается с запросом к прикладному уровню, например к файловому сервису. На основа-

нии этого запроса программное обеспечение прикладного уровня формирует сообщение стандартного формата, в которое помещает служебную информацию (заголовок) и, возможно, передаваемые данные. Стандартный формат блоков информации, передаваемых между уровнями: заголовок (header), служебная информация, данные, концевик. Затем сформированное сообщение направляется представительному уровню.

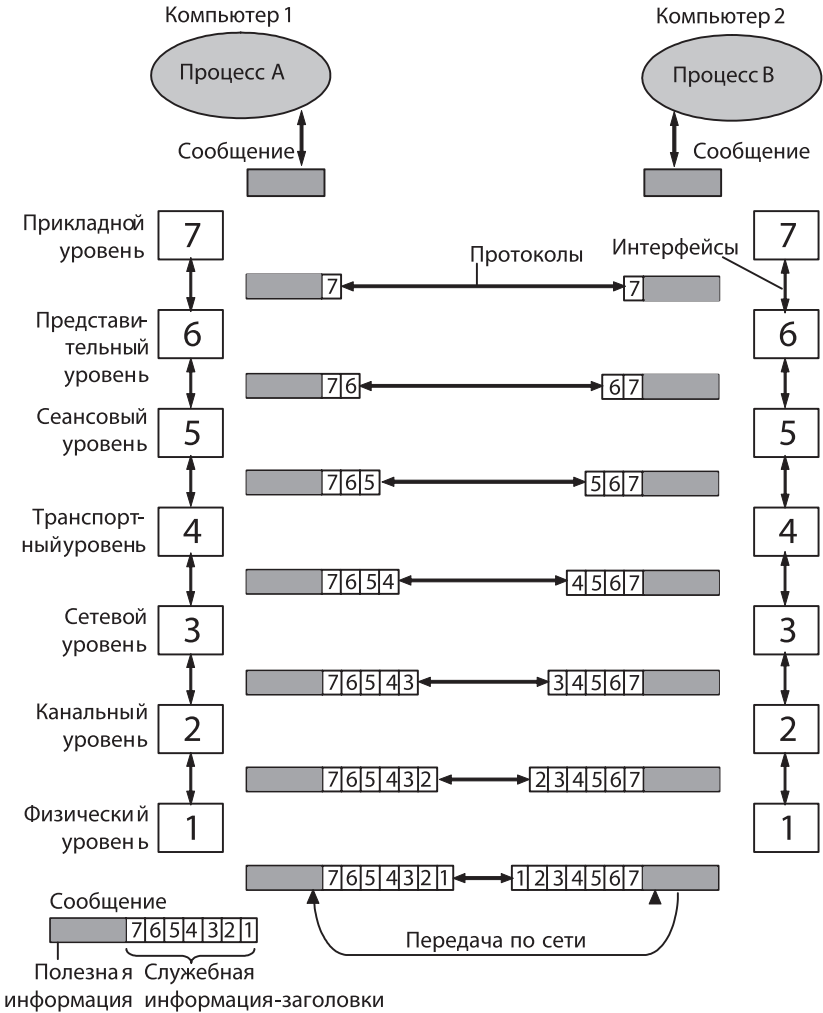


Рис. 6.8. Модель взаимодействия открытых систем OSI

Представительный уровень добавляет к сообщению свой заголовок и передает результат вниз сеансовому уровню, который в свою очередь добавляет свой заголовок и т. д. Наконец, сообщение достигает самого низкого, физического уровня, который непосредственно передает его по линиям связи. Когда сообщение по сети поступает на другую машину, оно последовательно перемещается вверх с уровня на уровень. Каждый уровень анализирует, обрабатывает и удаляет заголовок своего уровня, выполняет соответствующие данному уровню функции и передает сообщение вышележащему уровню. На рис. 6.9 показана структура передачи данных модели OSI с добавленными заголовками.

Средства каждого уровня обрабатывают протокол своего уровня и интерфейсы с соседними уровнями. Нижестоящие уровни обеспечивают возможность функционирования вышестоящих; при этом каждый уровень имеет интерфейс только с соседними уровнями и на каждом уровне управления оговаривается: спецификация услуг; спецификация протоколов.

В модели OSI используются два основных типа протоколов: протоколы *с установлением соединения* (Connection-Oriented Network Service, CONS) перед обменом данными и протоколы *без предварительного установления* соединения (Connection Less Network Service, CLNS).

6.3.2. Назначение уровней OSI

Прикладной уровень (*application*) — управление терминалами сети и прикладными процессами, которые являются источниками и потребителями информации, передаваемой в сети. Ведает запуском программ пользователя, их выполнением, вводом-выводом данных, управлением терминалами, административным управлением сетью. На этом уровне обеспечивается предоставление пользователям различных услуг, связанных с запуском его программ, начиная от простой передачи данных и до формирования технологии виртуальной реальности. На этом уровне функционируют технологии, являющиеся как бы надстройкой над инфраструктурой собственно передачи данных: электронной почты, теле- и видеоконференций, удаленного доступа к ресурсам, работы в среде всемирной информационной паутины и т. д.

Уровень представления (*presentation*) — интерпретация и преобразование передаваемых в сети данных к виду, удобному для при-

Уровни OSI		ПРОТОКОЛЫ		Уровни OSI
	data	7	Прикладной	7
			Управление прикладными процессами	Прикладной
	N1	6	Представления	6
			Управление представлением данных	Представления
	N2	5	Сеансовый	5
			Управление сеансами	Сеансовый
	N3	4	Транспортный	4
			Управление трафиком	Транспортный
	N4	3	Сетевой	3
			Управление сетью	Сетевой
	N5	2	Канальный	2
			Управление информационным каналом	Канальный
	N5	1	Физический	1
			Управление физическим каналом	Физический
ПЕРЕДАВАЕМЫЙ ПАКЕТ		ПЕРЕДАЮЩАЯ СРЕДА (коммуникационная подсеть)		

Рис. 6.9. Структура передачи данных модели OSI

кладных процессов. Обеспечивает представление данных в согласованных форматах и синтаксисе, трансляцию и интерпретацию программ с разных языков, шифрование данных. На практике многие функции этого уровня задействованы на прикладном уровне, поэтому протоколы уровня представлений не получили развития и во многих сетях практически не используются.

Сеансовый уровень (session) — организация и проведение сеансов связи между прикладными процессами (инициализация и поддержание сеанса между абонентами сети, управление очередностью и режимами передачи данных: симплекс, полудуплекс, дуплекс, например). Многие функции этого уровня в части установления соединения и поддержания упорядоченного обмена данными на практике реализуются на транспортном уровне, поэтому протоколы сеансового уровня имеют ограниченное применение.

Транспортный уровень (transport) — управление сегментированием данных (сегмент — блок данных транспортного уровня) и сквозной передачей (транспортировкой) данных от источника к потребителю (обмен управляющей информацией и установление между абонентами логического канала, обеспечение качества передачи данных). На этом уровне оптимизируется использование услуг, предоставляемых на сетевом уровне, в части обеспечения максимальной пропускной способности при минимальных затратах. Протоколы транспортного уровня развиты очень широко и интенсивно используются на практике. Большое внимание на этом уровне уделено контролю достоверности передаваемой информации.

Сетевой уровень (network) — управление логическим каналом передачи данных в сети (адресация и маршрутизация данных, коммутация: каналов, сообщений, пакетов и мультиплексирование). На этом уровне реализуется главная телекоммуникационная функция сетей — обеспечение связи ее пользователей. Каждый пользователь сети обязательно использует протоколы этого уровня и имеет свой уникальный сетевой адрес, используемый протоколами сетевого уровня. На этом уровне выполняется структуризация данных — разбивка их на пакеты и присвоение пакетам сетевых адресов (пакет — блок данных сетевого уровня).

Канальный уровень (data-link) — формирование и управление физическим каналом передачи данных между объектами сетевого уровня (установление, поддержание и разъединение логических

каналов), обеспечение прозрачности (кодонезависимости) физических соединений, контроля и исправления ошибок передачи). Протоколы этого уровня весьма многочисленны и существенно отличаются друг от друга своими функциональными возможностями. На этом уровне действуют, например, протоколы доступа к моноканалу. Управление выполняется на уровне кадров (кадр — блок данных на канальном уровне).

Физический уровень (*physical*) — установление, поддержание и расторжение соединений с физическим каналом сети (обеспечение нужными физическими реквизитами подключения к физическому каналу). Управление выполняется на уровне битов цифровых (импульсы, их амплитуда, форма) и аналоговых (амплитуда, частота, фаза непрерывного сигнала).

Указанные уровни управления можно по разным признакам объединять в группы:

- уровни 1, 2 и частично 3 реализуются в большей части за счет аппаратных средств; верхние уровни с 4 по 7 и частично 3 обеспечиваются программными средствами;
- уровни 1 и 2 обслуживают абонентскую подсеть, уровни 3 и 4 — коммуникационную подсеть, уровни 5–7 обслуживают прикладные процессы, выполняемые в сети;
- уровни 1 и 2 ответственны за физические соединения; уровни 3–6 заняты организацией передачи, передачей и преобразованием информации в понятную для абонентской аппаратуры форму; уровень 7 обеспечивает выполнение прикладных программ пользователя.

6.4. Стандартные стеки коммуникационных протоколов

6.4.1. Стандартизация коммуникационных протоколов

Средства взаимодействия компьютеров в сети организованы в виде многоуровневой структуры — стека протоколов. В однородной сети все компьютеры используют один и тот же стек. В контексте межсетевое взаимодействие понятие «сеть» можно определить как совокупность компьютеров, общающихся друг с другом с помощью единого стека протоколов. Проблема возникает тогда, когда требуется организовать взаимодействие компьютеров, принадлежащих разным сетям (в указанном выше смысле), т. е. организовать

взаимодействие компьютеров, на которых установлены разные стеки коммуникационных протоколов.

Стандартизация коммуникационных протоколов — важнейшее направление в области вычислительных сетей.

Чтобы упростить проектирование, анализ и реализацию процедуры обмена сообщениями между пользователями или прикладными программами, работающими на разных компьютерах, эту процедуру декомпозируют на несколько иерархически связанных между собой частных задач, то есть используют многоуровневый подход.

При передаче сообщений оба участника сетевого обмена должны принять множество соглашений. Например, они должны согласовать уровни и форму электрических сигналов, способ определения длины сообщений, договориться о методах контроля достоверности и т. п. Другими словами, соглашения должны быть приняты для всех уровней, начиная от самого низкого уровня передачи битов, до самого высокого уровня, детализирующего, как информация должна быть интерпретирована. Такие формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты, лежащие на одном уровне, но в разных узлах, называются *протоколами*.

Иерархически организованная совокупность протоколов, решающих задачу взаимодействия узлов сети, называется *стеком коммуникационных протоколов*.

Протоколы соседних уровней, находящихся в одном узле, взаимодействуют друг с другом также в соответствии с четко определенными правилами и с помощью стандартизованных форматов сообщений. Эти правила принято называть *интерфейсом*. Интерфейс определяет набор услуг, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему.

Стандартные стеки коммуникационных протоколов. Существует достаточно много стеков протоколов, широко применяемых в сетях. Это и стеки, являющиеся международными и национальными стандартами, и фирменные стеки, получившие распространение благодаря широкому использованию оборудования той или иной фирмы. Примерами популярных стеков протоколов могут служить: стек IPX/SPX фирмы Novell, стек TCP/IP, используемый в сети Internet и во многих сетях на основе операционной системы UNIX,

стек OSI международной организации по стандартизации, стек DECnet корпорации Digital Equipment и ряд других.

Использование в сети того или иного стека коммуникационных протоколов во многом определяет ее уровень и характеристики. В небольших сетях может использоваться исключительно один стек. В крупных корпоративных сетях, объединяющих различные сети, параллельно используются, как правило, несколько стеков.

В коммуникационном оборудовании реализуются протоколы нижних уровней, которые в большей степени стандартизованы, чем протоколы верхних уровней, и это является предпосылкой для успешной совместной работы оборудования различных производителей. Перечень протоколов, поддерживаемых тем или иным коммуникационным устройством, является одной из наиболее важных характеристик этого устройства.

Компьютеры реализуют коммуникационные протоколы в виде соответствующих программных элементов сетевой операционной системы, например, протоколы канального уровня, как правило, выполнены в виде драйверов сетевых адаптеров, а протоколы верхних уровней в виде серверных и клиентских компонент сетевых сервисов.

Способность качественно работать в среде той или иной операционной системы является важной характеристикой коммуникационного оборудования. Часто можно прочесть в рекламе сетевого адаптера или концентратора, что он разрабатывался специально для работы в сети NetWare или UNIX. Это означает, что разработчики аппаратуры оптимизировали ее характеристики применительно к тем протоколам, которые используются в этой сетевой операционной системе, или к данной версии их реализации, если эти протоколы используются в различных ОС. Из-за особенностей реализации протоколов в различных ОС в качестве одной из характеристик коммуникационного оборудования используется его сертифицированность на возможность работы в среде данной ОС.

На нижних уровнях — физическом и канальном — практически во всех стеках используются одни и те же протоколы. Это хорошо стандартизованные протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI и некоторые другие, которые позволяют использовать во всех сетях одну и ту же аппаратуру.

Протоколы сетевого и более высоких уровней существующих стандартных стеков отличаются большим разнообразием и, как правило, не соответствуют рекомендуемой модели ISO разбиению на уровни. В частности, в этих стеках функции сеансового и представительного уровней чаще всего объединены с прикладным уровнем. Такое несоответствие связано с тем, что модель ISO появилась как результат обобщения уже существующих и реально используемых стеков, а не наоборот.

Стеки протоколов наиболее распространенных сетей — сети X.25, глобальной сети Интернет и локальной вычислительной сети Novell Net Ware — показаны на рис. 6.10.

Рассмотрим наиболее широко используемые стеки коммуникационных протоколов: стек OSI и стек TCP/IP.

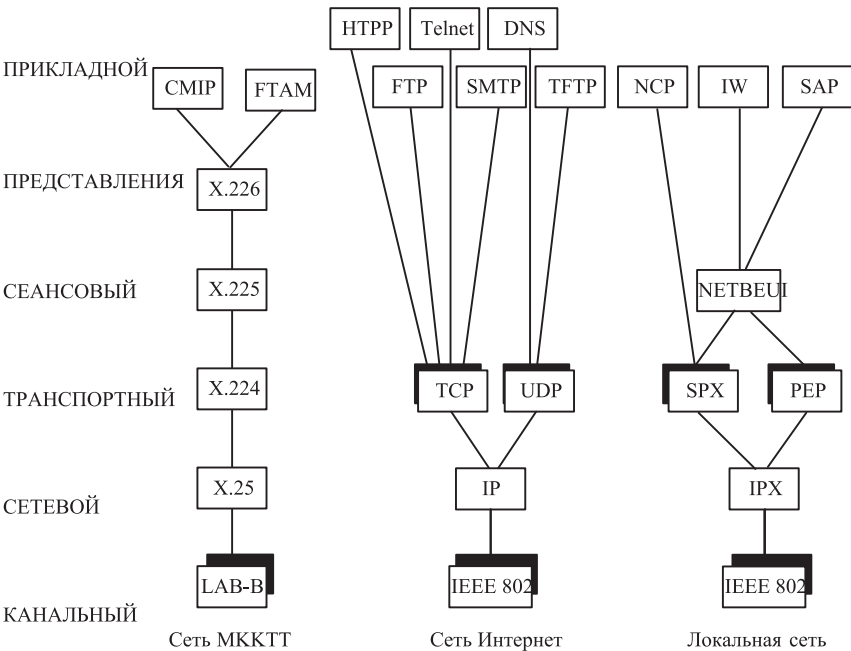


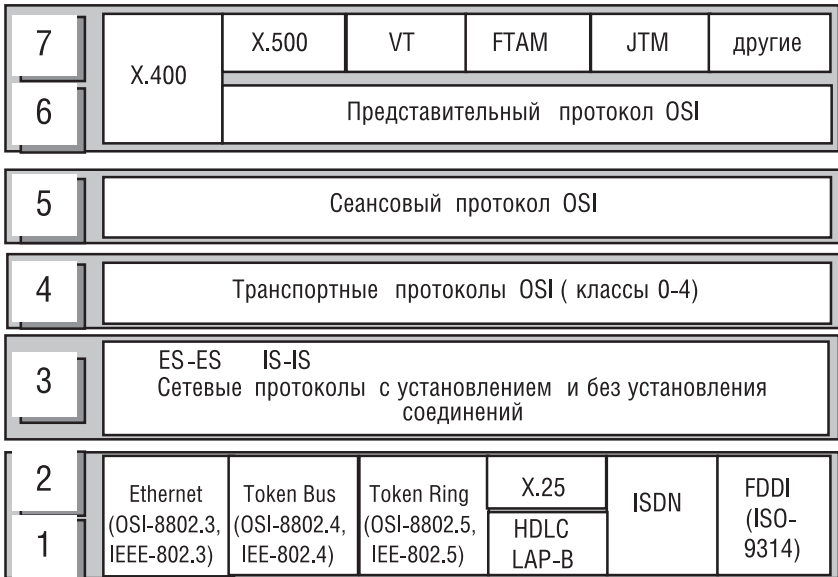
Рис. 6.10. Стеки протоколов некоторых известных сетей

6.4.2. Стек OSI

Следует четко различать модель OSI и стек OSI (рис. 6.11). В то время как модель OSI является концептуальной схемой взаи-

моделью открытых систем, стек OSI представляет собой набор вполне конкретных спецификаций протоколов.

В отличие от других стеков протоколов стек OSI полностью соответствует модели OSI, он включает спецификации протоколов для всех семи уровней взаимодействия, определенных в этой модели. На нижних уровнях OSI поддерживает Ethernet, Token Ring, FDDI, а также такие протоколы, как LLC, X.25 и ISDN. Сервисы сетевого, транспортного и сеансового уровней этого стека пока мало распространены. Наиболее популярными протоколами стека OSI являются протоколы, реализующие высокоуровневые сервисы по передаче файлов, эмуляции терминала, ведению каталогов имен и по организации электронной почты. Хотя в стеке OSI предусматривается еще ряд дополнительных высокоуровневых сервисов, многие из них пока не реализованы или реализованы частично.



Уровни модели OSI

Рис. 6.11. Стек OSI

Из-за своей сложности протоколы OSI требуют больших затрат вычислительной мощности центрального процессора, что делает

их более подходящими для мощных машин, а не для сетей персональных компьютеров.

Стек OSI — международный, независимый от производителей, стандарт.

По вполне очевидным причинам стек OSI, в отличие от других стандартных стеков, полностью соответствует модели взаимодействия OSI, он включает спецификации для всех семи уровней модели взаимодействия открытых систем.

6.4.3. Стек TCP/IP

Стек был разработан по инициативе Министерства обороны США (Department of Defense, DoD) для связи экспериментальной сети ARPAnet с другими сетями как набор общих протоколов для разнородной вычислительной среды. Большой вклад в развитие стека TCP/IP, который получил свое название по популярным транспортным протоколам IP и TCP, внес университет Беркли, реализовав протоколы стека в своей версии ОС UNIX. Популярность этой операционной системы привела к широкому распространению протоколов TCP, IP и других протоколов стека. Этот стек используется для связи компьютеров всемирной информационной сети Internet. Организация Internet Engineering Task Force (IETF) вносит основной вклад в совершенствование стандартов стека, публикуемых в форме спецификаций RFC.

Стек TCP/IP на нижнем уровне поддерживает все популярные стандарты физического и канального уровня: для локальных сетей это Ethernet, Token Ring, FDDI, для глобальных — протоколы работы на аналоговых коммутируемых и выделенных линиях SLIP/PPP, протоколы территориальных сетей X. 25 и ISDN.

В качестве основного протокола сетевого уровня в стеке используется Internet Protocol (IP), который изначально проектировался как протокол передачи пакетов в сетях, состоящих из большого количества локальных сетей, объединенных как локальными, так и глобальными связями. Поэтому стек TCP/IP хорошо работает в сетях со сложной топологией, рационально используя наличие в них подсистем и экономно расходуя пропускную способность низкоскоростных линий связи.

За долгие годы использования в сетях различных стран и организаций стек TCP/IP вобрал в себя большое количество протоколов

прикладного уровня. К ним относятся такие популярные протоколы, как протокол пересылки файлов FTP, протокол эмуляции терминала telnet, почтовый протокол SMTP, используемый в электронной почте сети Internet, гипертекстовые сервисы доступа к удаленной информации, такие как Mosaic, и многие другие.

Все говорит о том, что стек TCP/IP станет наиболее распространенным в ближайшем будущем. Если в настоящее время он распространен в основном в UNIX-сетях, то реализация его в последних версиях сетевых операционных систем для персональных компьютеров (Windows 95, Windows NT, NetWare 4.1) приведет к еще большему его распространению.

Так как стек TCP/IP был разработан до появления модели взаимодействия открытых систем ISO/OSI, то, хотя он также имеет многоуровневую структуру, соответствие уровней стека TCP/IP уровням модели OSI достаточно условно.

Структура протоколов TCP/IP приведена на рис. 6.12. Протоколы TCP/IP включают 4 уровня.

Самый нижний (*уровень IV*) — уровень межсетевых интерфейсов — соответствует физическому и каналному уровням модели OSI. Этот уровень в протоколах TCP/IP не регламентируется, но поддерживает все популярные стандарты физического и канального уровня: для локальных каналов это Ethernet, Token Ring, FDDI, для глобальных каналов — собственные протоколы работы на аналоговых коммутируемых и выделенных линиях SLIP/PPP, которые устанавливают соединения типа «точка-точка» через последовательные каналы глобальных сетей, и протоколы территориальных сетей X. 25 и ISDN. Также специально разработана спецификация, определяющая использование технологии ATM в качестве транспорта канального уровня.

Следующий уровень (*уровень III*) — это уровень меж сетевого взаимодействия, который занимается передачей дейтаграмм с использованием различных локальных сетей, территориальных сетей X. 25, линий специальной связи и т. п. В качестве основного протокола сетевого уровня (в терминах модели OSI) в стеке используется протокол IP, который изначально проектировался как протокол передачи пакетов в составных сетях, состоящих из большого количества локальных сетей, объединенных как локальными, так и глобальными связями. Протокол IP является дейтаграммным протоколом.

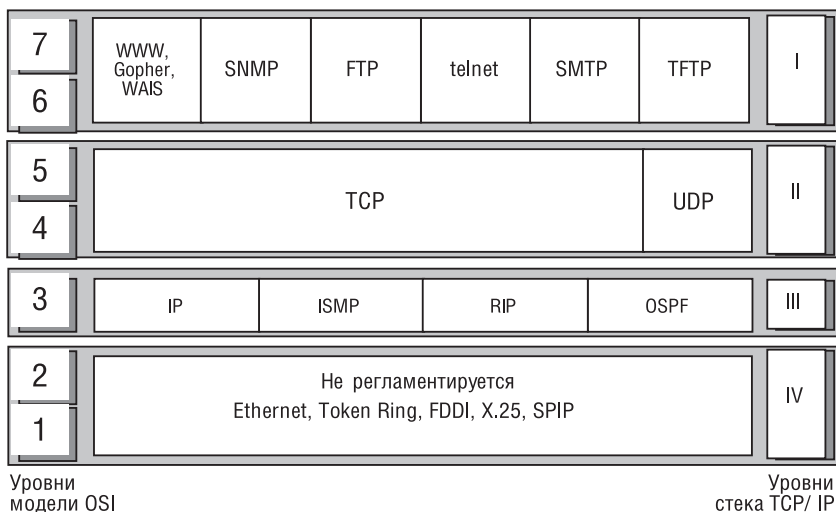


Рис. 6.12. Стек TCP/IP

К уровню межсетевому взаимодействию относятся и все протоколы, связанные с составлением и модификацией таблиц маршрутизации, такие как протоколы сбора маршрутной информации **RIP** (Routing Internet Protocol) и **OSPF** (Open Shortest Path First), а также протокол межсетевых управляющих сообщений **ICMP** (Internet Control Message Protocol). Последний протокол предназначен для обмена информацией об ошибках между системой-источником и системой-приемником, то есть для организации обратной связи. С помощью специальных пакетов ICMP сообщается о невозможности доставки пакета, о превышении времени жизни или продолжительности сборки пакета из фрагментов, об аномальных величинах параметров, об изменении маршрута пересылки и типа обслуживания, о состоянии системы и т. п.

Следующий уровень (**уровень II**) называется основным. На этом уровне функционируют протокол управления передачей **TCP** (Transmission Control Protocol) и протокол дейтаграмм пользователя **UDP** (User Datagram Protocol). Протокол TCP обеспечивает устойчивое виртуальное соединение между удаленными прикладными процессами. Протокол UDP обеспечивает передачу прикладных пакетов дейтаграммным методом, то есть без установления виртуального соединения, и поэтому требует меньших накладных расходов, чем TCP.

Верхний уровень (**уровень I**) называется прикладным. За долгие годы использования в сетях различных стран и организаций стек TCP/IP накопил большое количество протоколов и сервисов прикладного уровня. К ним относятся такие широко используемые протоколы, как протокол копирования файлов FTP, протокол эмуляции терминала telnet, почтовый протокол SMTP, используемый в электронной почте сети Internet и ее российской ветви РЕЛКОМ, гипертекстовые сервисы доступа к удаленной информации, такие как WWW и многие другие. Остановимся несколько подробнее на некоторых из них, наиболее тесно связанных с тематикой данного курса.

Протокол **SNMP** (Simple Network Management Protocol) используется для организации сетевого управления. Проблема управления разделяется здесь на две задачи. Первая задача связана с передачей информации. Протоколы передачи управляющей информации определяют процедуру взаимодействия сервера с программой-клиентом, работающей на хосте администратора. Они определяют форматы сообщений, которыми обмениваются клиенты и серверы, а также форматы имен и адресов. Вторая задача связана с контролируемые данными. Стандарты регламентируют, какие данные должны сохраняться и накапливаться в шлюзах, имена этих данных и синтаксис этих имен. В стандарте SNMP определена спецификация информационной базы данных управления сетью. Эта спецификация, известная как база данных MIB (Management Information Base), определяет те элементы данных, которые хост или шлюз должен сохранять, и допустимые операции над ними.

Протокол пересылки файлов **FTP** (File Transfer Protocol) реализует удаленный доступ к файлу. Для того чтобы обеспечить надежную передачу, FTP использует в качестве транспорта протокол с установлением соединений — TCP. Кроме пересылки файлов протокол FTP предлагает и другие услуги. Так, пользователю предоставляется возможность интерактивной работы с удаленной машиной, например, он может распечатать содержимое ее каталогов, FTP позволяет пользователю указывать тип и формат запоминаемых данных. Наконец, FTP выполняет аутентификацию пользователей. Прежде чем получить доступ к файлу, в соответствии с протоколом пользователи должны сообщить свое имя и пароль.

В стеке TCP/IP протокол FTP предлагает наиболее широкий набор услуг для работы с файлами, однако он является и самым сложным для программирования. Приложения, которым не требуются все возможности FTP, могут использовать другой, более экономичный протокол — простейший протокол пересылки файлов **TFTP** (Trivial File Transfer Protocol). Этот протокол реализует только передачу файлов, причем в качестве транспорта используется более простой, чем TCP, протокол без установления соединения — UDP.

Протокол **telnet** обеспечивает передачу потока байтов между процессами, а также между процессом и терминалом. Наиболее часто этот протокол используется для эмуляции терминала удаленной ЭВМ.

7. Сети и системы оперативной связи МВД России

7.1. Принципы построения системы цифро-аналоговой радиосвязи ОВД с передачей данных и голоса между абонентами

В соответствии с Федеральным законом № 126-ФЗ «О связи» от 07.07.2003 [5] система связи МВД России является составной частью единой сети электросвязи Российской Федерации, имея статус сети связи специального назначения, создающейся для нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка.

Система радиосвязи органов внутренних дел Российской Федерации является составной частью системы связи МВД России и, следовательно, также обладает статусом сети связи специального назначения. Система радиосвязи ОВД предназначена для обеспечения процессов управления мобильными силами органов внутренних дел Российской Федерации и стационарными подразделениями в случаях, когда организация иных каналов связи невозможна или экономически нецелесообразна, а также для создания резервных каналов связи.

Для построения системы цифро-аналоговой радиосвязи с передачей данных и голоса между абонентами по связанным зонам радиосети и диспетчеризации требуется наличие транспортной сети широкополосной передачи данных (ШПД), организованной по беспроводной, оптической или проводной технологии. Для организации внутрисистемных линий связи (межсайтовые соединения, удаленные объекты связи и прочее) в сетях УКВ-радиосвязи цифровых стандартов радиосвязи (APCO 25, DMR, IDAS) применяются общепринятые, широко применяемые в органах внутренних дел, интерфейсы (E1 G703, IP). Наиболее часто используются цифровые каналы, образованные с помощью волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) или радиорелейных линий (РРЛ), реже — медные линии связи. Как правило, это первичные каналы цифровой иерархии E1 пропускной способностью 2048 Кбит/с.

IP-соединение ретрансляторов также может применяться для увеличения географической зоны покрытия радиосвязью. Для подключения по IP также могут быть использованы ретрансляторы разных

диапазонов, например возможно подключить ретрансляторы диапазонов UHF и VHF.

Для подключения ретрансляторов может быть использована как локальная сеть LAN (Local Area Network — компьютерная сеть, покрывающая обычно относительно небольшую территорию), так и глобальная сеть WAN (Wide Area Network — компьютерная сеть, охватывающая большие территории и включающая в себя большое число компьютеров). На рис. 7.1 и 7.2 соответственно показаны примеры соединения ретрансляторов с использованием локальной и глобальной сети [6].

Требуемая полоса пропускания зависит от количества ретрансляторов в системе. Суммарная пропускная способность рассчитывается исходя из количества и радиоканальной ёмкости базовых станций и может составлять от 25 до 128000бит/с на один канал голосового трафика. Например, для систем цифровой радиосвязи стандарта DMR для одного ретранслятора требуется скорость канала 25 Кбит/с. Если общее количество ретрансляторов в системе N штук, требуемая скорость IP-канала определяется по выражению: $(N - 1) \times 25$ Кбит/с.

Большим преимуществом IP-соединения является возможность использования глобальной сети Интернет. При этом рекомендует-

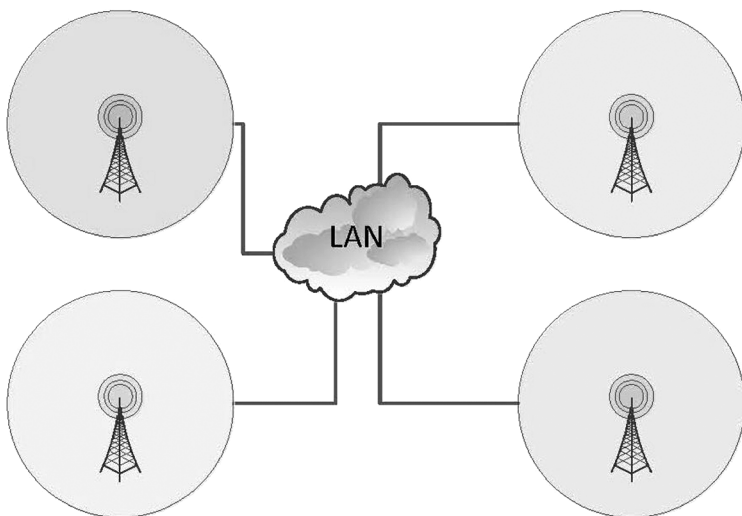


Рис. 7.1. Подключение ретрансляторов по локальной сети

ся использовать роутеры или другие устройства способные обеспечить функцию VPN (Virtual Private Network — виртуальная частная сеть — обобщённое название технологий, позволяющих обеспечить одно или несколько сетевых соединений (логическую сеть) поверх другой сети (например, Интернет)).

IP-сети находят применение не только для соединения компонентов цифровых сетей радиосвязи, но и в перспективных аналоговых сетях. Например, основное назначение системы «Радиокупол» — модернизация существующих аналоговых систем радиосвязи без замены абонентского оборудования. Основное назначение системы:

- «закрытие» зон с плохим приемом с помощью установки станций удаленного доступа;
- улучшение качества радиосвязи в зонах перекрытия базовых станций (ретрансляторов и станций удаленного доступа).

«Радиокупол» представляет собой специализированную RoIP-систему, разворачиваемую на базе RoIP-шлюзов, подключаемых к имеющемуся телекоммуникационному оборудованию и обеспечивающих коммутацию и диспетчеризацию радиосвязи. Для объединения зон действия разных ретрансляторов в общую зону радиопокрытия и подключения станций удаленного доступа используется опорная IP-сеть с пропускной способностью от 128000бит (при сжатии возможно снижение до 20000бит за каждый канал).

Также может быть использован смешанный вариант подключения: несколько ретрансляторов находятся в одной локальной сети, другие подключены к глобальной сети (рис. 7.3).

В настоящее время в МВД успешно функционирует Единая информационно-телекоммуникационная система органов внутренних дел (ЕИТКС ОВД) — информационно-телекоммуникационная система, основанная на интегрированной транспортной среде органов внутренних дел и обеспечивающая взаимодействие с телекоммуникационной системой внутренних войск МВД России, телекоммуникационными системами органов государственной власти, включая правоохранительные органы, а также доступ сотрудников внутренних дел к услугам публичных и специальных федеральных информационно-телекоммуникационных систем и состоящих из автоматизированных банков данных общего пользования на базе унифицированных программно-технических комплексов информационно-аналитических и экспертно-криминалистических центров органов внутренних дел.

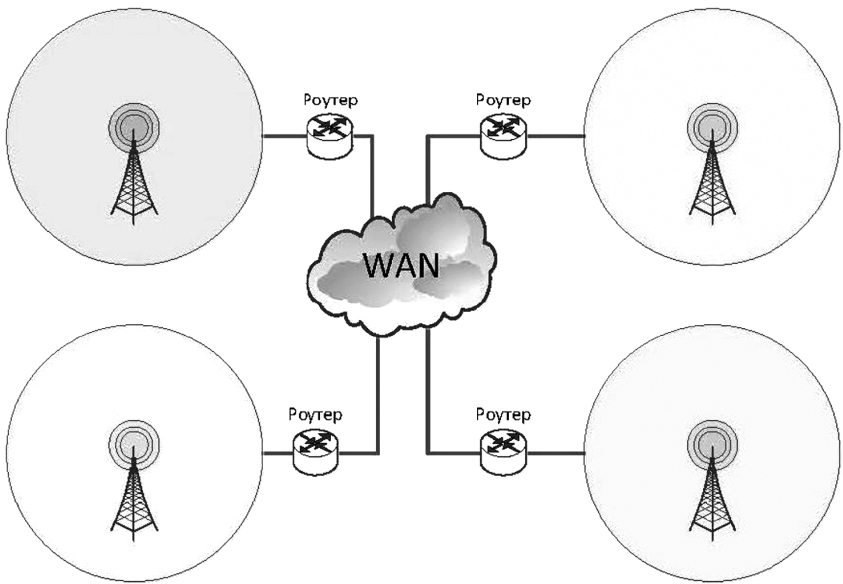


Рис. 7.2. Подключение ретрансляторов по глобальной сети

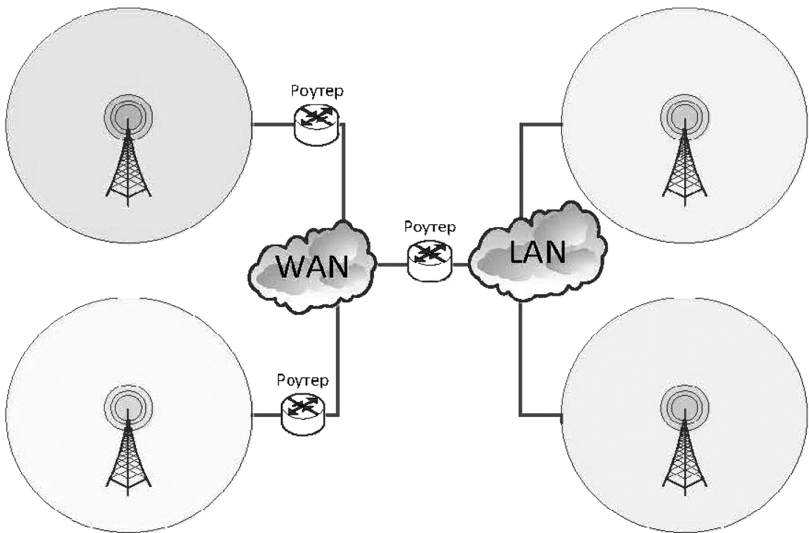


Рис. 7.3. Смешанный вариант подключения ретрансляторов

Очевидно, что для обеспечения функционирования базовой инфраструктуры ведомственной системы радиосвязи, а также передачи речевого трафика и данных на мобильные объекты органов внутренних дел в перспективных сетях радиосвязи ОВД МВД России наиболее предпочтительным вариантом является использование существующих ресурсов ЕИТКС, которая предоставит:

- единую сквозную транспортную среду для сигналов управления и информационных сигналов (речь, данные) на базе стека протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol — Протокол управления передачей/Протокол Internet), в том числе по потоку E1;
- IP-каналы связи ИМТС (интегрированные мультисервисные телекоммуникационные системы) ОВД, построенные на базе Ethernet-сетей с использованием протоколов TCP/IP, для передачи абонентского трафика и служебной информации между базовыми станциями, АРМ диспетчера, администратора и центра управления и коммутации в любом цифровом режиме.

Интегрированная мультисервисная телекоммуникационная система ОВД на уровне городских и районных центров субъектов Российской Федерации создается для обеспечения технической возможности подключения ОВД к ЕИТКС ОВД. ИМТС соединяются друг с другом и включаются в ЕИТКС по протоколу TCP/IP по собственным или арендованным каналам связи.

Для примера на рис. 7.4, 7.5 соответственно показаны обобщенные варианты использования ЕИТКС МВД России для организации внутрисистемных линий связи в сетях радиосвязи цифрового стандарта DMR (конвенциональная и транкинговая сети) [7].

Варианты реализации опорной транспортной сети ИМТС для каждой конкретной сети цифровой радиосвязи ОВД определяются на этапе предварительной проработки и проектирования с учетом конфигурации сети, требуемой пропускной способности каналов связи. Для обеспечения подключения коммутационного оборудования радиоцентров при необходимости следует предусмотреть необходимое количество портов с интерфейсом E1 G703 или IP-каналами.

Другим возможным вариантом для обеспечения функционирования базовой инфраструктуры ведомственной системы радиосвязи, а также передачи речевого трафика и данных на мобильные объекты органов внутренних дел в перспективных сетях радиосвязи

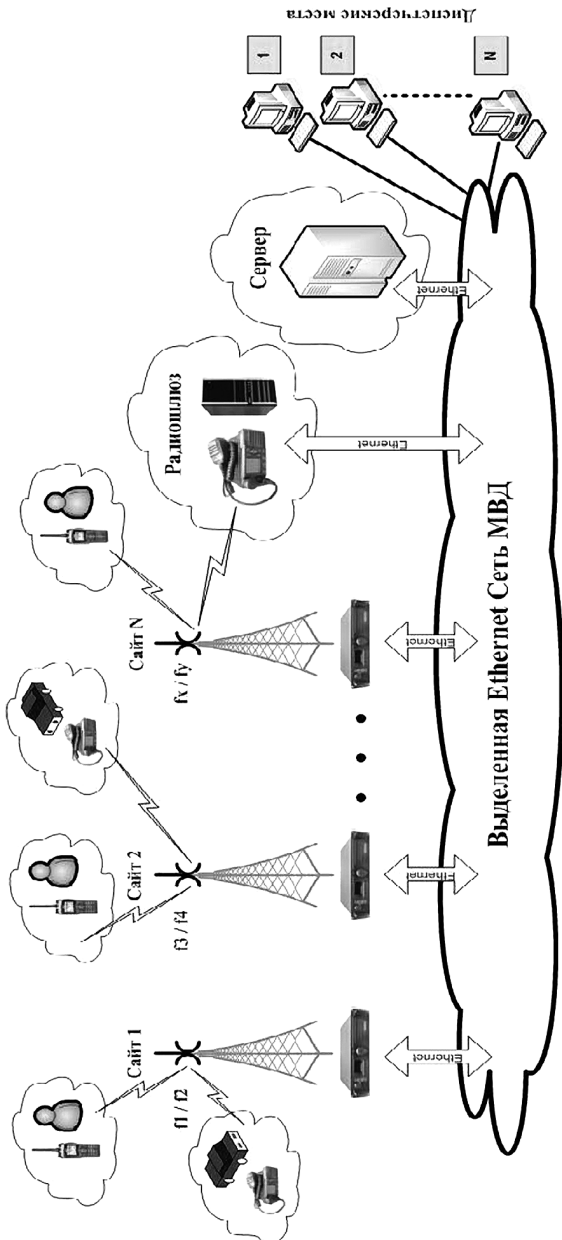


Рис. 7.4. Вариант использования ЕИТКС МВД России для организации внутрисистемных линий связи в сетях цифровой радиосвязи (стандарт DMР, конвенциональная связь)

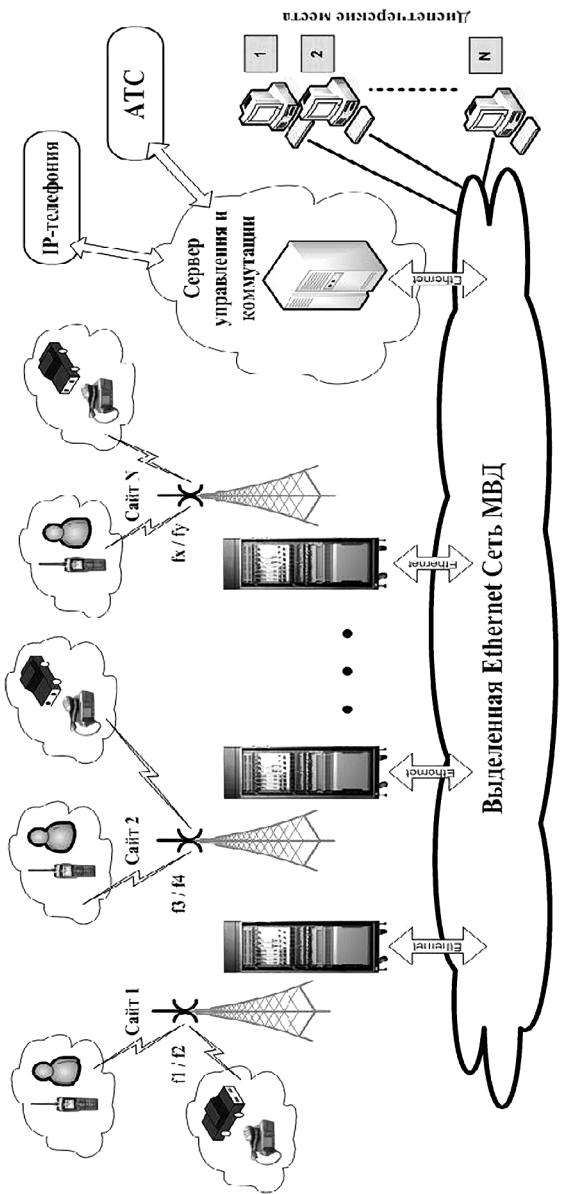


Рис. 7.5. Вариант использования ЕИТКС МВД России для организации внутрисистемных линий связи в сетях цифровой радиосвязи (стандарт DMR, транкинговая система)

ОВД МВД России является использование ресурсов единой системы электросвязи (ЕСЭ) Российской Федерации (аренда цифровых каналов связи E1 или IP-каналов у операторов связи).

В соответствии со ст. 16 Федерального закона № 126-ФЗ «О связи» подготовка и использование ресурсов единой сети электросвязи Российской Федерации для обеспечения функционирования сетей связи специального назначения осуществляются в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Данный порядок регламентирован соответствующим постановлением Правительства РФ от 22.02.2006 № 103 «Об утверждении Правил подготовки и использования ресурсов единой сети электросвязи Российской Федерации в целях обеспечения функционирования сетей связи специального назначения» [8].

7.2. Основные стандарты цифровой транкинговой радиосвязи

До настоящего времени сети связи для обеспечения общественной безопасности используют в основном узкополосные системы радиосвязи. Несмотря на стремительное развитие технологий широкополосного доступа говорить в ближайшие годы о вытеснении ими систем профессиональных стандартов радиосвязи, таких как APCO 25, преждевременно. Пока не будет развернута специализированная сеть широкополосной связи для обеспечения общественной безопасности в общенациональном масштабе, стандарты профессиональной радиосвязи, такие как APCO P25, смогут обеспечить надежное, работоспособное и безопасное соединение для критически важной голосовой связи типа «нажми и говори» (РТТ).

К наиболее популярным, заслужившим международное признание стандартам цифровой транкинговой радиосвязи, относятся открытые стандарты TETRA, APCO 25, корпоративный стандарт Tetrapol (Франция). Есть сведения об использовании в интересах правоохранительных органов стандарта GoTa компании ZTE, Китай (технология CDMA). Активно внедряются в деятельность правоохранительных органов относительно недавно появившиеся перспективные узкополосные технологии:

- DMR и dPMR, разработанные Европейским институтом стандартов связи;
- IDAS, разработанный фирмой Icom, Япония.

Системы на основе данных стандартов обеспечивают различные режимы передачи речи (индивидуальная связь, групповая связь, широковещательный вызов и т. п.) и данных (коммутируемые пакеты, передача данных с коммутацией цепей, короткие сообщения и т. п.) и возможность организации связи с различными системами по стандартным интерфейсам (с цифровой сетью с интеграцией услуг, с телефонной сетью общего пользования, с учрежденческими АТС и т. д.). В системах радиосвязи указанных стандартов применяются современные способы речепреобразования, совмещенные с эффективными методами помехоустойчивого кодирования информации.

Все стандарты обладают сравнимой степенью как защиты информации, так и защиты от несанкционированного доступа. Они обеспечивают возможность применения стандартных алгоритмов защиты информации, а также возможность использования оригинальных алгоритмов, разработанных пользователями сетей радиосвязи.

Для сетей связи с высокой плотностью пользователей и интенсивным трафиком предпочтительно использование систем с временным разделением каналов, к которым относится TETRA. Это подтверждено опытом успешного функционирования сетей TETRA практически во всех развитых европейских государствах (там построены сети масштаба страны), а также наличием сетей TETRA более чем в 60 странах мира. В 2010-м количество пользователей сетей TETRA в мире приблизилось к 10 млн.

Недостатки сетей на базе TETRA:

- сеть очень дорогая, как в части инфраструктуры, так и в части абонентского оборудования, требует больших средств на создание и последующую эксплуатацию и высокой квалификации обслуживающего персонала;
- TETRA — революционное решение. Сети TETRA строятся полностью с «нуля», не позволяя использовать инфраструктуру существующих конвенциональных сетей ОВД МВД России и тем более аналоговые терминалы.

Возможные перспективы по использованию в интересах МВД до 2020 г.:

Использование нецелесообразно, в первую очередь по экономическим причинам.

Для создания сетей связи с различной степенью нагрузки, широким территориальным охватом более оптимальным вариантом (в том числе и по стоимости) является использование систем с частотным разделением каналов, к которым в первую очередь необходимо отнести стандарт APCO 25 (Фаза I). Стандарт APCO 25 изначально ориентирован на совместную работу цифровых и аналоговых радиосредств.

Возможность до настоящего времени считать APCO 25 перспективным стандартом радиосвязи подтверждается опытом такой страны, как США, в которой исключительное внимание уделяется вопросам обеспечения общественной безопасности граждан. США, обладая огромным политическим, финансовым и научно-производственным потенциалом, позволяющим строить системы радиосвязи практически любого стандарта, для решения своих государственных задач выбирают надежные и проверенные временем системы стандарта APCO 25. К числу потребителей APCO 25 относятся ФБР, Министерство обороны, Федеральный комитет связи, полиции ряда штатов США, Государственный департамент, Секретная служба и многие другие государственные организации.

По состоянию на 2014 год, зарегистрировано более 660 крупных действующих систем P25 в 86 странах, включая большие города и сельскую местность. Счет числа пользователей также идет на миллионы. Только компания Motorola выпустила 3 млн 200 тыс. абонентских терминалов APCO 25.

Стандарт DMR, принятый ETSI как единый общеевропейский стандарт цифровой радиосвязи, может работать как в цифровом, так и в аналоговом режиме, что также дает возможность постепенного перехода от аналогового варианта к цифре. Сети этого стандарта отличаются относительно невысокой стоимостью как инфраструктурного, так и абонентского оборудования, позволяют сохранить целостность существующей сетки частот 12,5 кГц.

В настоящее время стандарт DMR является самым быстро развивающимся. Доля текущих продаж DMR в мире, по данным Ассоциации DMR, превышает 70%. Сейчас в мире действует несколько сотен крупных DMR-сетей, абонентская база сетей стандарта DMR в мире по прогнозам аналитиков, к 2017 г. составит более 7 млн. пользователей. Сети стандарта DMR развернуты в интересах правоохранительных органов ряда государств, например в Польше,

Китае, Казахстане, а также в большей части других азиатских стран. Наличие проектов, базирующихся на DMR, связано с традиционно сильными позициями, занимаемыми в странах Азии компанией Hytera. Например, компания Hytera поставила более 300 тыс. терминалов в интересах полиции Китая. Активно внедряется стандарт и в нашей стране, например крупнейшая в России DMR-сеть технологической радиосвязи создана для служб транспорта и инкассации Сбербанка (около 10 тыс. радиостанций).

Стандарт DMR сочетает в себе преимущества цифровых систем TETRA, APCO 25 и в то же время характеризуется меньшей стоимостью оборудования. По состоянию на 2013 год, цифровые системы радиосвязи стандарта DMR локально развернуты в интересах органов внутренних дел 35 регионов России. Как правило, системы этого стандарта развертываются в городах с населением до пятисот тысяч человек.

Достоинства:

- возможность плавного перехода к цифровой связи на частотах, которые ранее использовались для аналоговой связи в рамках имеющегося у МВД частотного ресурса. При этом емкость системы за счет применения TDMA увеличивается вдвое и экономится частотный ресурс;
- возможность применения встроенных в носимые и возимые радиостанции приемников ГЛОНАСС/GPS, при этом стоимость станции увеличивается незначительно, но отпадает необходимость в использовании дополнительного устройства — ГЛОНАСС-трекера;
- возможность построения систем различного масштаба, от простых конвенциональных до многозоновых транкинговых.

Возможные перспективы по использованию в интересах МВД до 2020 г.:

- крупные города с населением свыше 500 тыс. человек (при необходимости);
- добавление функции транкинга для имеющихся конвенциональных систем DMR. При этом потребуется;
- программный апгрейд всех терминалов (носимых, возимых и стационарных);
- установка новых ретрансляторов, поддерживающих возможность работы в транкинговом режиме. Высвобождаемые ре-

- трансляторы целесообразно передавать в районные ОВД с развертыванием конвенциональных малоканальных систем цифровой радиосвязи;
- установка ретрансляторов диапазона ОВЧ для организации связи в малонаселенных районах (радиус действия до 50 км).

7.3. Особенности построения сети оперативной радиосвязи МВД России

В настоящее время в отличие от других силовых ведомств (например, Единая сеть радиосвязи Министерства обороны Российской Федерации) сеть оперативной радиосвязи МВД России строится с использованием нескольких цифровых стандартов (APCO 25, DMR, IDAS). В ОВД некоторых регионов применяется российский комплекс цифроаналоговой радиосвязи «Альфа».

Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что все существующие открытые стандарты цифровой радиосвязи открыты условно, что обеспечивает совместимость оборудования различных производителей только на уровне абонентского оборудования. Существующая практика показывает, что на уровне инфраструктурного оборудования в отдельно взятом регионе (субъекте РФ) целесообразна его поставка только от одного производителя (вендора). Таким образом, в пределах отдельно взятого региона стандарт должен быть открытым, единым, что обеспечит возможность организации цифровых систем радиосвязи различных уровней сложности от одного ретранслятора до объединенных многосайтовых транкинговых сетей.

Для обеспечения целостности и устойчивости функционирования сети подвижной радиосвязи МВД России в каждом субъекте Российской Федерации возможно использование специального оборудования сопряжения сетей связи — межсетевых шлюзов, обеспечивающих взаимодействие между сетями подвижной радиосвязи различных стандартов, а также конвенциональными аналоговыми сетями оперативной радиосвязи.

Кроме того, производителями цифрового оборудования радиосвязи также принимаются меры по обеспечению совместимости стандартов между собой и с действующими в ОВД стандартами и системами радиосвязи. При этом решения по обеспечению взаимодействия закладываются уже на этапе разработки оборудования.

Особенности аппаратной и программной реализации некоторых шлюзов современных систем цифровой радиосвязи рассмотрим на примере построения транкинговой системы стандарта DMR производства ЗАО «Уральские радиостанции» [11]. Данная система обеспечивает поддержку различных интерфейсов: интерфейс с телефонной сетью ТФОП/УАТС, интерфейс связи с сетью аналоговой транкинговой радиосвязи МРТ1327, интерфейс связи с конвенциональной сетью DMR, интерфейс связи с сетью TETRA и т. д.

В соответствии с логической структурой транкингового коммутатора стандарта DMR (рис. 7.6) можно разделить на следующие части: центральный контроллер, база данных, система управления сетью, диспетчерская система, программный коммутатор, медиаблок и шлюзы (интерфейсы связи). Голосовой формат, используемый в радиосети транкинговой системы — AMBE, в то время, как в проводной сети (в шлюзе МРТ, шлюзе ТФОП/УАТС, в диспетчерском терминале) используется формат G. 711. При осуществлении вызова между беспроводным и проводным абонентами переключение между двумя голосовыми форматами осуществляется медиаблоком.

Коммутатор обеспечивает подключение к другим сетям через следующие шлюзы:

1. Шлюз (интерфейс связи) конвенциональный обеспечивает работу только с групповыми вызовами (не индивидуальными). На этапе настройки необходимо сконфигурировать шлюз и параметры интерфейса, разработать таблицу преобразования номеров и осуществлять ее поддержку с помощью программного обеспечения управления сетью. Топология интерфейса связи с конвенциональной сетью показана на рис. 7.7.

В состав шлюза могут входить такие модули, как: сервер-шлюз, многопортовая плата последовательного доступа, возимая конвенциональная радиостанция, шлюз VoIP и коммутатор.

Функции модулей из состава шлюза следующие:

- Сервер-шлюз: преобразование прокола, осуществления вызова, управление сигнализацией между конвенциональной системой и DMR транкинговой системой;
- Многопортовая плата последовательного доступа: дает возможность нескольким возимым радиостанциям получить доступ к серверу-шлюзу одновременно;

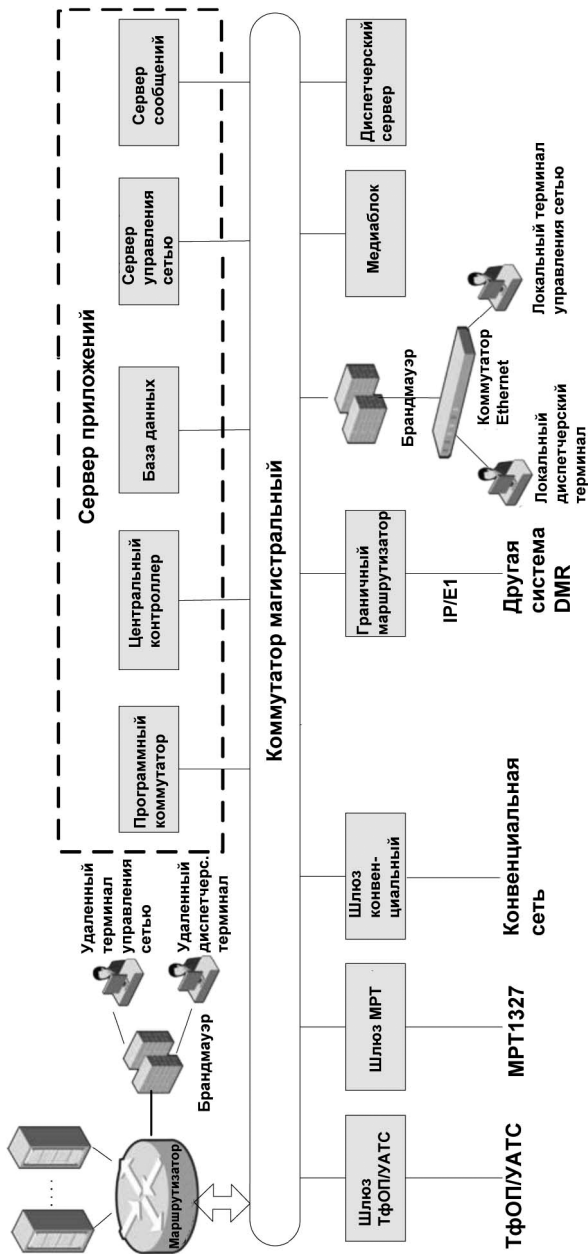


Рис. 7.6. Логическая структура транкингового коммутатора стандарта DMR, включая шлюзы

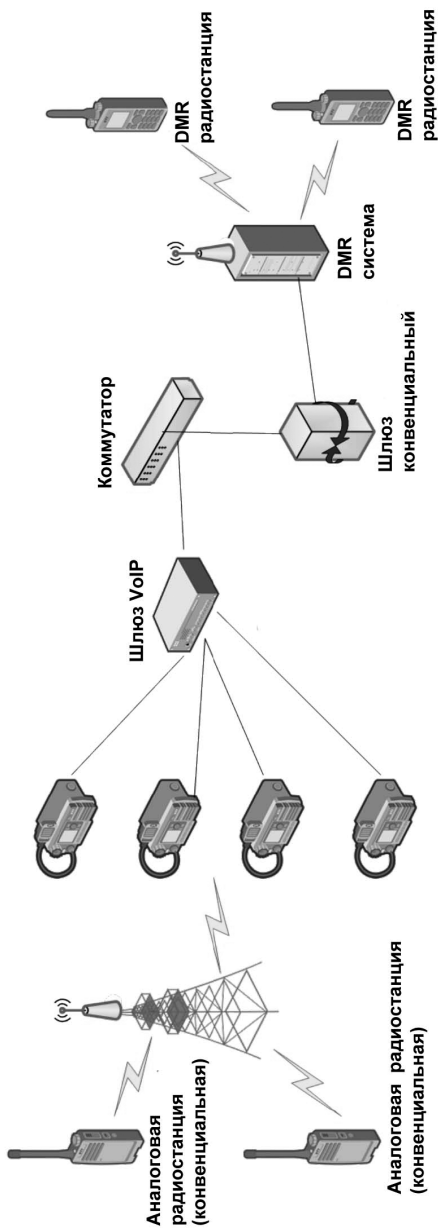


Рис. 7.7. Топология интерфейса сети связи DMR с конвенциональной сетью

- Возимая конвенциональная радиостанция: обеспечивает вход/выход аналогового сигнала и сигналы последовательной передачи;
- Шлюз VoIP: преобразует аналоговый сигнал с возимой конвенциональной радиостанции в цифровой сигнал;
- Коммутатор: связывает DMR систему со шлюзом VoIP.

2. Шлюз ТФОП/УАТС подключен к транкинговой системе DMR и соединяет все устройства в системе с помощью магистрального коммутатора. Шлюз связывается с SIP прокси-сервером с помощью SIP протокола. Транкинговый коммутатор подключается к IP-сети с помощью магистрального коммутатора для осуществления связи с базовой станцией.

Шлюз подключается к телефонному терминалу сети ТфОП через каналы E1 или FXO (foreign exchange office — телефонный сигнальный интерфейс в традиционных аналоговых телефонных сетях) для осуществления связи между DMR транкинговой системой и телефонным терминалом.

Шлюз подключается к УАТС через каналы E1 или FXO для осуществления связи между DMR транкинговой системой и телефонным терминалом.

Аналогично рассмотренной выше транкинговой сети DMR цифровая сеть стандарта APCO 25 также позволяет подключаться к аналоговой сети радиосвязи. Цифровое оборудование APCO 25 имеет возможность организации шлюза в конвенциональную аналоговую радиосеть. В случае перехода аналоговой радиосети ОВЧ в цифровую радиосеть УВЧ на ретрансляторе или канальной группе есть необходимость временной работы обеих радиосетей одновременно. Организация шлюза осуществляется подключением абонентской радиостанции радиосети ОВЧ к ретранслятору цифровой радиосети через интерфейсные разъемы, протоколы — E&M, TRC. В случае перехода на транкинговую систему организуется объединение аналоговой радиосети с транкинговой группой по средствам транкингового аналогового шлюза. Объединение радиосетей также можно организовать при помощи диспетчерской системы, объединив подключенные ресурсы (patch). Оборудование центра управления, а именно центральный контроллер, подсистема коммутации и маршрутизации, система диспетчеризации позволяют организовывать интерфейсы для объединения систем цифровой радиосвязи

APCO 25, подключения аналоговых, цифровых конвенциональных систем радиосвязи, а также телефонии.

Например, в транкинговой системе ООО «АСТРАКОМ» используется транкинговый аналоговый шлюз APCO25 TAG — это интерфейс транкинговой сети APCO 25 для подключения аналоговых диспетчерских консолей сторонних производителей [12].

Каждый шлюз предоставляет диспетчеру «канал» для подключения к сети. Подключение шлюза к диспетчерской консоли производится с помощью 4-проводной E&M линии, а к транкинговому контроллеру с помощью IP/Ethernet (рис. 7.8).

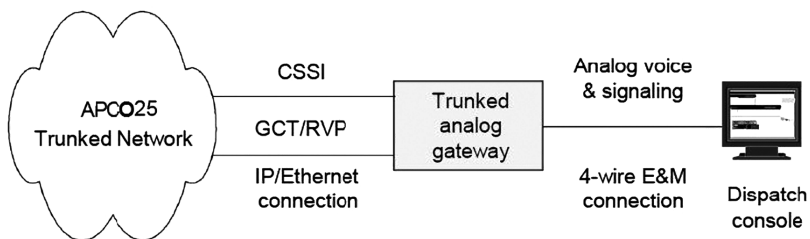


Рис. 7.8. Транкинговый аналоговый шлюз APCO25 TAG

В каждый момент времени шлюз может поддерживать только один разговор, групповой или индивидуальный. По существу, транкинговый аналоговый шлюз является конвертером протоколов между цифровым голосом P25 (IMBE) и аналоговым голосом, а также между цифровым сигналингом P25 и старым аналоговым сигналингом различного типа (E&M, tone remote и MDC1200). Шлюз подключается к транкинговой сети по протоколу P25 CSSI и двум традиционным протоколам EADS Group Control Tree (GCT) и RFSS Voice Protocol (RVP).

Для каждой группы, которой управляет диспетчер, нужен свой шлюз. Однако диспетчер может использовать тональную сигнализацию для переключения групп (путем выбора одного из 16 профилей).

Кроме перечисленных примеров построения шлюзов с отдельными стандартами и системами радиосвязи, обеспечиваемых производителями цифрового оборудования радиосвязи, существуют варианты реализации глобальных коммутационных систем.

Например, еще в начале 2000 гг. была практически реализована концепция командного центра управления, который объединяет в себе традиционные глобальные коммуникационные системы на основе сетевой информационной поисковой системы WAIS контроллера (Wide Area Information Servers, WAIS использует протокол TCP/IP для взаимодействия клиентской прикладной программы с информационным сервером) и коммутационную систему, обеспечивающую работу телефонных систем передачи речи через интернет (VoIP). Концепция предусматривает наличие нескольких независимых подчиненных центров, снабженных различными коммутационными возможностями и одного главного командного центра, имеющего возможность подключаться к любому радиооборудованию или диспетчеру, а также коммутировать различное коммуникационное оборудование между собой в пределах системы. Уровень доступа может контролироваться на каждом этапе с помощью конфигурации системы безопасности и паролирования. Предполагается, что каждый центр имеет рабочую сеть с пропускной способностью, достаточной для коммутации удаленных центров между собой.

Основой системы является устройство, позволяющее коммутировать аудиосигналы от портативных радиостанций, КВ радиостанций, мобильных наземных радио, военного тактического оборудования, спутниковых терминалов, телефонных систем, включая сотовые телефоны, как с шифрованием, так и без, а также транкинговых систем всех типов, обеспечивая универсальность всех коммуникаций в критических приложениях. Это цифровой автоматический коммутатор ACU-1000, предлагаемый в России компанией «Форрман» [13].

На рис. 7.9 представлена обобщенная схема функционирования коммуникационного центра.

Она может слегка отличаться количеством и типом радиооборудования и может быть изменена в зависимости от требований приложений. Каждый центр имеет в своем составе локальную SIP систему, в которую входит SIP мини-АТС и радиоинтерфейсное оборудование и оперативный тактический коммутатор ACU-1000, обеспечивающий взаимодействие и работу всего центра.

SIP мини-АТС берет на себя традиционные телефонные функции учреждения и может иметь дополнительные возможности, которые предоставляет VoIP технология. Кроме традиционных телефонных

коммуникаций мини-АТС обеспечивает взаимодействие с различным коммутационным радиооборудованием на уровне телефонной связи через тактический коммутатор АСУ-1000 и модуль аналогового телефона (АТА). Модуль АТА предназначен для преобразования сигналов общественной телефонной сети в цифровой SIP-сигнал и обеспечения совместимости системы с существующими традиционными каналами связи. Мини-АТС также способна обеспечить конференцсвязь между абонентами SIP-телефонов, а также радиооборудования.

Коммутационная радиосистема состоит из оперативного цифрового автоматического коммутатора АСУ-1000, консоли диспетчера, программного обеспечения глобальной коммутационной системой (WAIS) и различных радиостанций, которые могут включать HF, UHF, VHF станции, системы спутниковой и транковой связи, сотовые телефоны и другое коммуникационное оборудование.

Основная функция цифрового коммутатора АСУ-1000 — обеспечивать подключение к любой радиостанции, сотовому или проводному телефону, спутниковому каналу с последующей совместной коммутацией устройств в различные коммуникационные сети. Создание сети и управление ее участниками осуществляется с помощью специального программного обеспечения на WAIS контроллере с сенсорным экраном.

Функциональные особенности коммутатора АСУ-1000:

- Взаимная программируемая коммутация различных аудиосигналов, поступающих на пульт управления по различным радиоканалам, включая сигналы транкинговых систем;
- Возможность взаимного подключения радиосистем различных частотных диапазонов для координации действий различных аварийно-спасательных служб, использующих различные форматы связи;
- Поддержка до семи независимых диалогов и сеансов конференцсвязи одновременно;
- Автоматическая цифровая обработка сигналов для надежности соединения и высокого качества сигнала;
- Управление и контроль системы с помощью программного обеспечения;
- Возможность внешнего управления с помощью DTMF;

- Специально разработанный алгоритм цифровой обработки сигналов, обеспечивающий адаптацию различных приложений, распознавания человеческого голоса на фоне других шумов, а также снижения уровня шумов.

Предусмотрено подключение к вычислительной сети для программирования, контроля и дистанционного управления всеми функциями. Существует возможность управления через последовательный порт RS-232.

Преимущества:

- Коммутатор ACU-1000 будет взаимодействовать как с узкополосными, так и широкополосными радиостанциями, аналоговыми и цифровыми каналами связи, портативными УКВ и СВЧ станциями и каналами связи с пользователями транкинговых радиостанций. Предусмотрено подключение различных транкинговых радиостанций, в том числе стандартов APCO 25, TETRA и других. Кроме этого, коммутатор ACU-1000 способен обеспечивать взаимодействие любого типа радиостанций с любыми каналами связи общественной телефонной сети, частными мини-АТС, терминалами спутниковой связи, сотовыми и GSM терминалами;
- ACU-1000 имеет возможность взаимной коммутации радиосетей с различными методами шифрования сигнала. К каждому шасси устройства может быть подключено до 12 коммуникационных устройств;
- Для управления ACU-1000 используется программное обеспечение на основе операционной системы семейства Windows с дружественным графическим интерфейсом, позволяющим пользователю управлять системой и программировать ее функции;
- Предусмотрено дистанционное управление через последовательный порт RS-232. Пакет программного обеспечения позволяет подключать и разъединять любой коммуникационный канал с любым другим коммуникационным каналом;
- Предусмотрено программирование функций взаимодействия со всеми типами радиостанций, а также телефонного оборудования, терминалов спутниковой связи;
- Программное обеспечение позволяет вести журнал событий, позволяющий отслеживать все совершенные коммутационные соединения в каждый момент времени;

- Имеется возможность простой и эффективной передачи аварийного вызова по всем каналам одновременно. Кроме этого, система способна обеспечивать мониторинг любой комбинации нескольких скоммутированных каналов одновременно. Каждый коммутационный блок в сети может обеспечивать до семи сетевых соединений одновременно. Программное обеспечение может управлять каналами коммутации для централизации всех коммутационных мощностей в единую глобальную систему коммутации;
- Коммутатор АСУ-1000 использует специальный алгоритм цифровой обработки сигнала от радиисточников, который позволяет выделять речевой спектр в условиях повышенного уровня помех и управлять радиостанцией, подключаемой на другой стороне диалога, без дополнительных управляющих сигналов. Подобная схема выделения речевого спектра во входном сигнале позволяет избежать ложной коммутации оборудования от сигналов сирен, свистов и других типов помех. Кроме этого, в задачи блока цифровой обработки сигнала входит снижение уровня шумов во входном сигнале, его «очистка» перед дальнейшей ретрансляцией по каналам связи;
- Цифровой коммутатор АСУ-1000 подключается к радиооборудованию любого типа с помощью целого спектра кабелей сопряжения с радиостанциями. Решение проблемы подключения конкретного радиооборудования сводится к выбору необходимого кабеля сопряжения с радиостанцией, что можно сделать на этапе планирования создания центра управления. Устройство позволяет осуществить подключение нового радиооборудования в течение 5 мин;
- Цифровой коммутатор АСУ-1000 использует цифровую задержку, гарантирующую отсутствие провалов в сигнале, из-за наличия времени опроса канала при коммутации различных транкинговых радиостанций. Функция внесения задержки в сигнал контролируется блоком цифровой обработки, который осуществляет задержку подачи аудиосигнала на передающую сторону до момента завершения опроса канала;
- Цифровой коммутатор АСУ-1000 способен взаимодействовать с удаленными радиостанциями через телефонные соединения, выделенные линии, СВЧ соединения, локальные и глобаль-

ные вычислительные сети или интернет. Функции передачи речи по сети интернет VoIP оптимизированы для наиболее эффективной работы удаленных радиостанций. Для подключения удаленного радиооборудования могут быть использованы самые различные проводные и DSL модемы. Эффективное использование технологии VoIP позволяет осуществлять передачу излучаемых аудио и принимаемых аудиосигналов совместно с различными сигналами управления передатчиком и приемником по глобальной вычислительной сети;

- Коммутатор АСУ-1000 может функционировать в качестве управляемого или неуправляемого шлюза между радиостанциями различного типа. Специальный телефонный интерфейс позволяет руководителю штаба чрезвычайной ситуации принимать участие в решении любых коммутационных задач, находясь вне зоны основных событий.
- Коммутатор АСУ-1000 имеет в своем составе блок дистанционного управления «вычислительная сеть — последовательный порт», позволяющий программному обеспечению управлять коммутатором с нескольких удаленных диспетчерских пунктов. Кроме этого, имеется возможность работы в режиме нескольких коммутационных шлюзов, управляемых с нескольких компьютеров. Устройство предоставляет возможность коммутации нескольких радиостанций одного центра с несколькими радиостанциями другого центра путем соединения одного или нескольких коммутационных устройств между собой.

Российские компании также предлагают решения по организации взаимодействия цифровых систем профессиональной радиосвязи различных стандартов. Например ООО, «АСТРАКОМ» одновременно с модернизацией существующей сети радиосвязи стандарта АРСО 25 ГУ МВД по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области компания решила комплексную задачу по объединению всех систем связи органов государственной власти федерального и регионального уровней, предназначенных для оперативного управления службами городского хозяйства и силовыми структурами.

В первую очередь ставилась задача обеспечить совместимость с оборудованием Единой цифровой радиосвязи Комплексной автоматизированной системы информационной поддержки антитеррористической защищенности метрополитена (ЕЦРС КАСИП АЗМ) Санкт-Петербургского метрополитена. Строительству ЕЦРС КА-

СИП АЗМ на территории объектов Санкт-Петербургского метрополитена проводится с 2007 года за счет средств федерального бюджета в стандарте TETRA на оборудовании Motorola Dimetra IP.

За период 2007–2013 гг. были построены 33 базовые станции на линиях Петербургского метрополитена, в Административном здании Санкт-Петербургского метрополитена и двух площадках депо. В 2013 году были выполнены работы по проектированию ЕЦРС еще на двух линиях метро и осуществлена закупка оборудования для 37 станций. В 2014 году планируется выполнить проектирование трех оставшихся депо и строительство 40 станций.

Помимо совместимости с ЕЦРС КАСИП АЗМ коммутатор должен был удовлетворять следующим требованиям:

- архитектура сети должна максимально соответствовать требованиям открытого стандарта Р25. Требование установлено для обеспечения совместимости с абонентским оборудованием всех производителей, поддерживающих стандарт Р25;
- сеть должна обеспечивать абонентам установленные стандартом сервисы (индивидуальный, групповой, широкополосный, системный и экстренный вызовы).

Стык между сетями TETRA на оборудовании Motorola Dimetra IP и APCO 25 на оборудовании Tait реализован компанией «АСТРАКОМ» на основе шлюза конвенциональных каналов. Шлюзы конвенциональных каналов используются для подключения источников аналоговых звуковых сигналов, например соединительных линий приемопередатчиков аналоговой конвенциональной системы радиосвязи, предоставляя оператору диспетчерской консоли возможность приема и передачи этих сигналов, а также их коммутирования с другими ресурсами систем, организуя таким образом взаимодействие.

В табл. 7.1 представлены характеристики интерфейса конвенциональных каналов, используемого для подключения источников аналоговых звуковых сигналов, а на рис. 7.10 показана схема соединения сетей.

При этом непосредственное взаимодействие осуществляется через:

- шлюз конвенциональных каналов CCGW компании Motorola, представляющий собой мультиплексор с возможностью организовать 4 интерфейса E&M;
- транкинговый аналоговый шлюз TN9111-0010-A300-10 компании Tait, который представляет собой одноканальный блок коммутации TG/E&M.

Характеристики интерфейса конвенциональных каналов.

Параметр	Значение
Физическое соединение	RJ-45
Тип интерфейса	4-wire E&M
Тип сигнализации	E&M type 2 в соответствии с требованиями TIA/EIA-464
Соппротивление	600 Ом или > 10 кОм
Уровень срабатывания автоматического контроля усиления сигнала (AGC)	Регулируемый от -40 дБм до -10 дБм
Уровень выходного сигнала	регулируемый от -20 дБм до +5 дБм

Для соединения сетей используется Единая мультисервисная телекоммуникационная сеть г. Санкт-Петербурга (ЕМТС).

Если у оператора диспетчерской консоли возникает необходимость в передаче одного сообщения нескольким разговорным группам одновременно или же необходимость разрешить пользователям различных разговорных групп связываться между собой, в системах это может быть реализовано с помощью функций мультиселекторного вызова (Multi-Select) и временного объединения ресурсов (Patch).

Переход радиосети ГУ МВД на данный коммутатор «Радон» производства ООО «АСТРАКОМ» позволил построить шлюз на уровне коммутаторов с ЕЦРС КАСИП АЗМ Санкт-Петербурга и обеспечить абонентов сетей устойчивой двусторонней связью по схеме «группа TETRA — группа APCO25».

Другой перспективной разработкой в этом направлении является созданный специалистами компании «АСТРАКОМ» Мобильный Узел Связи Оперативного Назначения (МУСОН) [14]. Передвижной комплекс МУСОН позволяет организовать рабочие места и предоставить услуги связи должностным лицам мобильного штаба руководства в случае проведения специальных мероприятий.

Комплекс обеспечивает оперативное (в течение не более 30 мин по прибытии на место проведения операции) развертывание техники в состояние готовности приёма и передачи информации. В основе МУСОНа лежит разработка специалистов компании «АСТРАКОМ» — мультипротокольная система объединения и управления сетями «АстраНод». Эта коммутационная платформа разработана

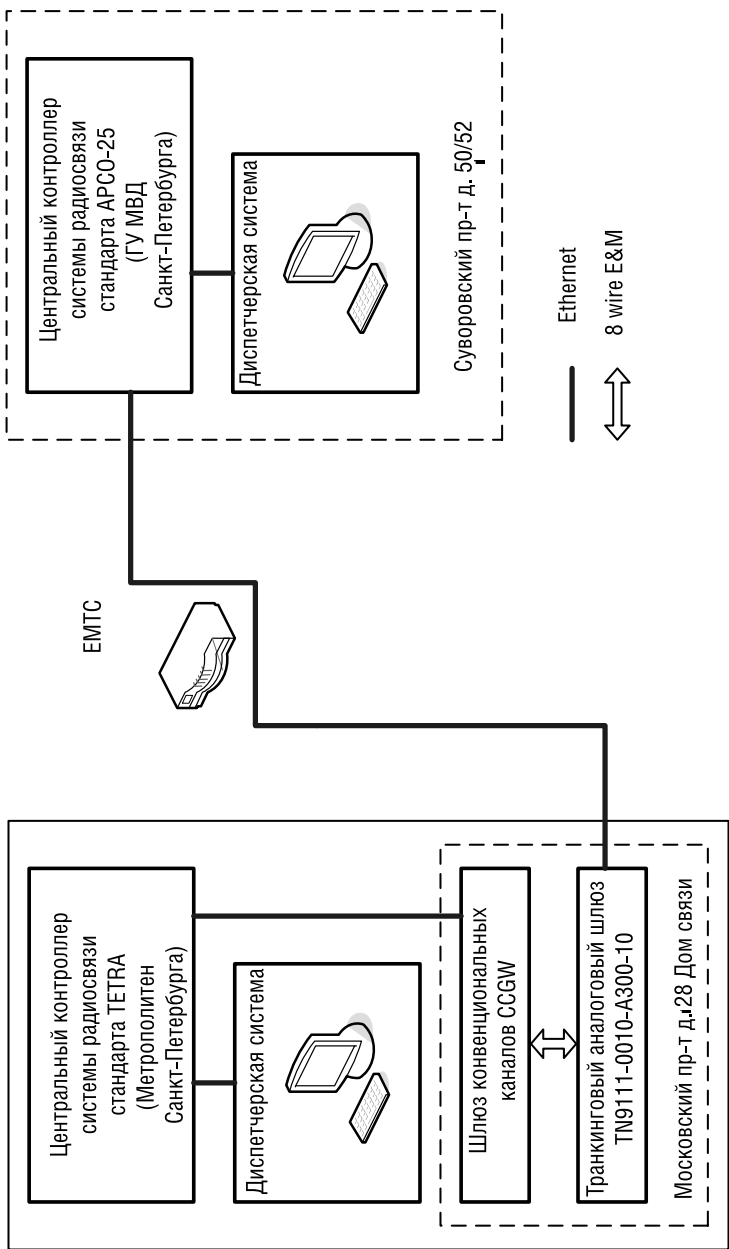


Рис. 7.10. Схема соединения сети TETRA метрополитена и сети APCO 25 ГУ МВД г. Санкт-Петербурга

как универсальная база для организации единой структуры подвижной связи. «АстраНод» объединяет различные радиопротоколы на одной коммутационной платформе (TETRA, APCO 25, MPT 1327, аналоговые радиостанции) и предоставляет возможность выхода в телефонные сети общего пользования и GSM. Благодаря этому МУСОН позволяет организовать радиосвязь за пределами зоны покрытия существующих сетей радиосвязи и наладить взаимодействие подразделений, пользующихся оборудованием радиосвязи различных стандартов. Различные варианты организации связи с использованием комплекса МУСОН показаны на рис 7.11 и 7.12.

МУСОН может быть оперативно направлен в зону чрезвычайной ситуации. В радиусе 10–15 км он обеспечит устойчивую связь и координацию действий между различными системами. Всем участникам спасательной операции или другого мероприятия надо всего лишь подключить средства связи, которые у них на вооружении. Это избавляет их от необходимости постоянно иметь с собой набор возимых и носимых радиостанций, работающих в разных диапазонах.

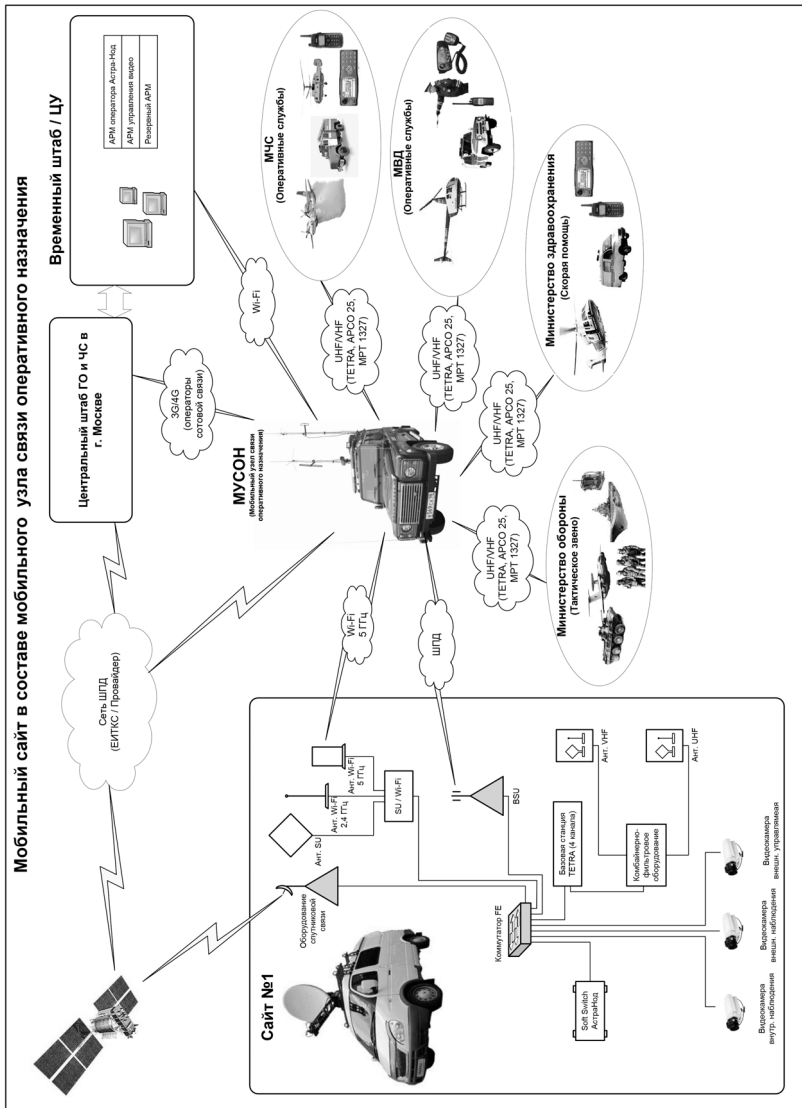
Существуют еще несколько перспективных разработок российских производителей, которые могут быть использованы для обеспечения взаимодействия цифровых сетей радиосвязи различных стандартов.

Компания «Центр Новых Технологий» разработала мобильный узел связи «Атлант-1» [15]. Этот передвижной комплекс призван обеспечить рабочие места и услуги связи должностным лицам мобильного штаба руководства в случае проведения специальных мероприятий. Создан также переносной вариант комплекса «Атлант-1П».

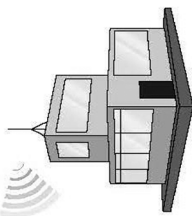
На рис. 7.13 и 7.14 показаны варианты организации взаимодействия различных ведомств с использованием комплекса «Атлант».

Назначение и области применения комплекса «Атлант-1»:

- организация системы оперативного управления при проведении специальных мероприятий ОВД и ВВ МВД России;
- обеспечение связью руководства МВД России, региональных ОВД и ВВ МВД России при проведении специальных мероприятий по борьбе с терроризмом, в период возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечения правового режима чрезвычайного положения;



Центральный штаб в г. Москве



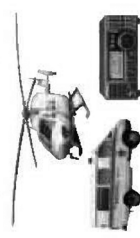
Выход на спутник

Временный штаб 100 км



3G/4G
(операторы сотовой связи)

МЧС
(оперативные службы)



UHF/VHF
TETRA, APCO25,
MPRT1327

МВД
(оперативные службы)



UHF/VHF
TETRA, APCO25,
MPRT1327

Министерство здравоохранения
(скорая помощь)



ТФОП



UHF/VHF
TETRA, APCO25,
MPRT1327



Рис. 7.13. Организация взаимодействия с помощью мобильного узла связи «Атлант-1»

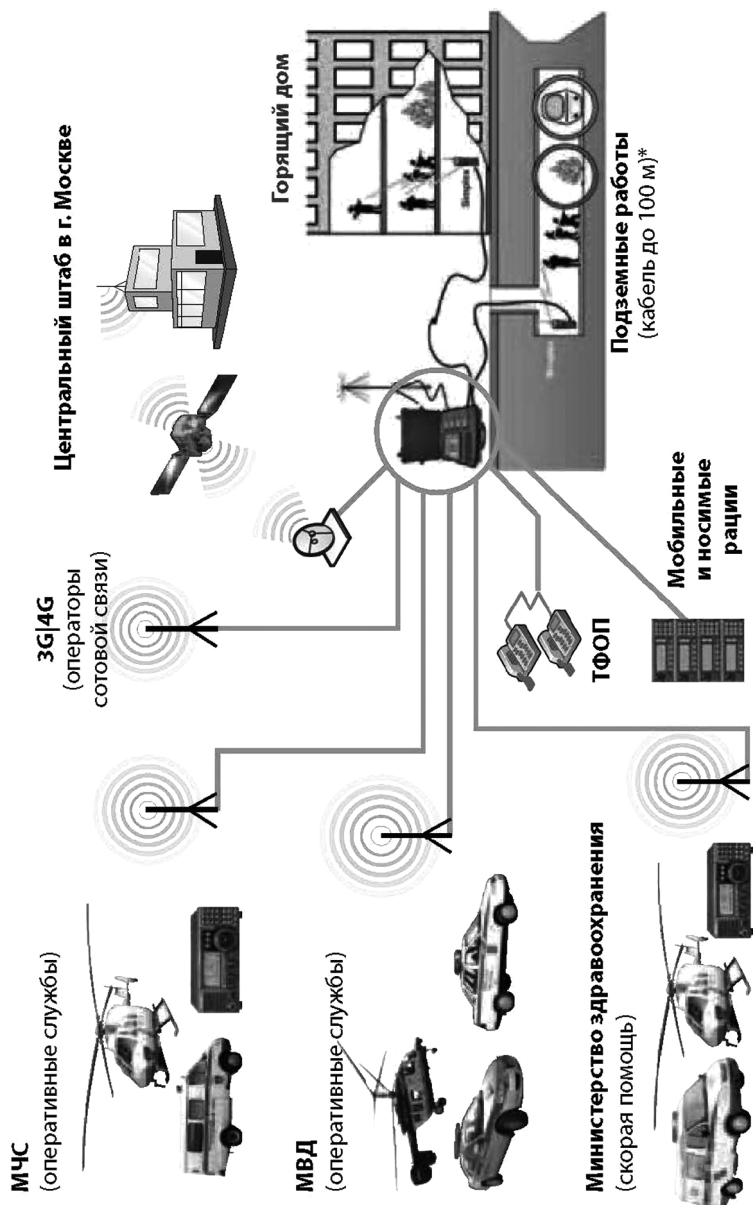


Рис. 7.14. Организация взаимодействия с помощью переносного комплекса «Атлант-1П»

- оперативный выезд к месту проведения операции;
- оперативное развертывание техники в состоянии готовности приёма и передачи информации;
- оперативное развертывание сетей подвижной радиосвязи в ходе проведения специальных мероприятий в неоснащённых связью районах либо в районах с разрушенной инфраструктурой связи.

Комплекс «Атлант-1» позволяет объединить в единую сеть не только силовые структуры, но и МЧС, «скорую помощь», администрацию: всем участникам проводимой операции достаточно лишь подключить имеющиеся на вооружении радиостанции, независимо от их типа и диапазона. Управление осуществляется из единого диспетчерского пункта, что исключает задержки и возможную несогласованность действий.

7.4. Технические требования к оборудованию и системе радиосвязи органов внутренних дел

Технические требования к оборудованию и системе радиосвязи органов внутренних дел [15]:

1) конвенциональные радиосети должны обеспечивать работу в режиме одночастотного симплекса и двухчастотного симплекса с ретрансляцией сигнала;

2) система радиосвязи должна обеспечивать радиосвязь 2 класса качества разборчивости речи (согласно ГОСТ 16600–72) между радиоабонентами, диспетчерами и абонентами других систем и радиосетей органов внутренних дел;

- 3) должна обеспечиваться возможность построения радиосетей:
- цифровых транкинговых;
 - цифровых конвенциональных;
 - аналоговых конвенциональных;
 - транкинговый цифровой, конвенциональный цифровой и конвенциональный аналоговый режимы работы (каждый из радиоканалов любой базовой станции радиосети должен иметь возможность функционирования в каждом из перечисленных режимов);

4) в конвенциональном режиме должна обеспечиваться возможность использования технологии одновременной синхронной передачи информации по радиоканалам, при этом:

- должна использоваться одна пара частот для работы нескольких одноканальных базовых станций, имеющих пересекающиеся зоны обслуживания;
- при использовании нескольких многоканальных базовых станций должна обеспечиваться их работа на единых для всех станций частотах;
- должно обеспечиваться перемещение абонентов между сайтами без потери радиосвязи;

5) для всех типов радиосетей органов внутренних дел должны обеспечиваться следующие возможности:

- построение односайтовых и многосайтовых систем радиосвязи с централизованным коммутатором и территориально-разнесенными стационарными диспетчерскими пультами;
- круглосуточный режим работы радиосетей;
- выбор абонентской радиостанцией наилучшего источника принимаемого радиосигнала при использовании в радиосетях технологии разнесенного приема;
- защищенный доступ к ресурсам (защиту от несанкционированного использования базового радиооборудования);
- индикация статуса входящего радиоканала (занят/свободен) на основе соответствующих статусных символов во всех передаваемых сообщениях на исходящем радиоканале;
- совместная работа с другим радиооборудованием, используемым в органах внутренних дел;
- автоматический многостанционный доступ к ограниченному количеству радиоканалов в цифровом транкинговом режиме;
- количество каналов базовых станций не менее трех с возможностью дальнейшего наращивания во всех режимах работы;
- возможность использования канала управления в качестве трафикового в цифровом транкинговом режиме;
- возможность использования аппаратуры разнесенного приёма во всех режимах работы;
- наличие центра управления и коммутации цифровой транкинговой системы радиосвязи и возможность управления не ме-

- нее чем шестью многоканальными базовыми станциями в любом режиме работы;
- подключение не менее 16 автоматизированных мест диспетчера (АРМ-Д) в любом режиме работы;
 - автоматическая регистрация радиоабонентов транкинговой радиосети в зоне действия базового оборудования в цифровом транкинговом режиме;
 - автоматическая связь радиоабонентов транкинговой радиосети, находящихся в зоне действия одной базовой станции, с радиоабонентами, находящимися в зоне действия любой другой базовой станции радиосети в цифровом транкинговом режиме;
 - автоматическая перерегистрация радиоабонентов транкинговой радиосети при переходе из зоны действия одной базовой станции в зону действия любой другой базовой станции радиосети в цифровом транкинговом режиме;
 - сохранение транкингового режима работы в пределах зоны действия каждой базовой станции без предоставления автоматической связи между радиоабонентами, находящимися в зонах действия разных базовых станций, и автоматической перерегистрации радиоабонентов при отказе центра управления и коммутации в цифровом транкинговом режиме;
 - индивидуальный, групповой и циркулярный вызовы радиоабонентов в любом цифровом режиме;
 - прием и подтверждение приёма аварийного сообщения в любом цифровом режиме;
 - идентификация работы номера активного радиоабонента на пульте АРМ дежурного в любом цифровом режиме;
 - возможность дистанционного блокирования и разблокирования любой цифровой радиостанции радиосети, дистанционного прослушивания и дистанционной проверки нахождения радиоабонента в зоне обслуживания базовых станций в любом цифровом режиме;
 - дистанционная проверка присутствия радиостанции в зоне действия системы в любом цифровом режиме;
 - дистанционное аудиопрослушивание обстановки рядом с любой радиостанцией во всех цифровых режимах;

- возможность организации групп, состоящих из транкинговых и конвенциональных радиоабонентов;
- единая сквозная транспортная среда для сигналов управления и информационных сигналов (речь, данные) на базе стека протоколов TCP/IP, в том числе по потоку E1;
- возможность использования IP-каналов связи ИМТС ОВД, построенных на базе Ethernet-сетей с использованием протоколов TCP/IP, для передачи абонентского трафика и служебной информации между базовыми станциями, АРМ диспетчера, администратора и центра управления и коммутации в любом цифровом режиме;
- пакетная передача данных между абонентскими радиостанциями в любом цифровом режиме;
- канальная передача данных между абонентскими радиостанциями в любом цифровом режиме;
- пакетная передача данных между абонентскими радиостанциями и стационарными серверами информационных систем (базами данных), взаимодействующих с центром управления и коммутации на основе стека протоколов TCP/IP в любом цифровом режиме;
- возможность передачи и приема сообщений (речевых сообщений, данных, команд управления), несущих информацию, преобразованную по алгоритму шифрования ГОСТ 28147–89 с длиной ключа до 55 бит, в любом цифровом режиме;
- доступ радиоабонентов транкинговой радиосети в базы данных органов внутренних дел, серверы которых взаимодействуют с центром управления и коммутации на основе стека протоколов TCP/IP;
- взаимодействие радиоабонентов с абонентами УПАТС (ограниченный выход на ведомственную телефонную сеть) в цифровом транкинговом режиме;
- взаимодействие радиоабонентов транкинговой радиосети с радиоабонентами существующих конвенциональных радиосетей органов внутренних дел в УВЧ и ОВЧ диапазонах;
- запись, архивирование с хранением не менее одного месяца и возможностью воспроизведения информации всех сеансов связи в радиосетях во всех режимах работы;

- возможность дистанционной диагностики оборудования во всех режимах работы;
- автоматический переход оборудования на резервное электропитание при пропадании основного и обратно во всех режимах работы;
- диапазон рабочих радиочастот базовых радиостанций 148–172 МГц 450–463 МГц;
- шаг сетки рабочих частот 12,5 кГц в любом цифровом режиме работы;
- шаг сетки рабочих частот 25,0 и 12,5 кГц в любом конвенциональном режиме работы;
- передачу и декодирование субтональных сигналов формата CTCSS и кодов DCS нормальной и инверсной полярности в конвенциональном режиме работы;
- возможность программирования при работе в аналоговом режиме различных субтонов CTCSS по передаче и приему, различных кодов DCS по передаче и приему, субтона CTCSS по передаче и кода DCS по приему, кода DCS по передаче и субтона CTCSS по приему, субтона CTCSS или кода DCS только по передаче, субтона CTCSS или кода DCS только по приему.

7.5. Схемы организации радиосвязи для территориальных органов МВД России

7.5.1. Типовые схемы организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе выбранного оборудования

Требования к типовым схемам организации радиосвязи для территориальных органов МВД России

Схемы организации радиосвязи для территориальных органов МВД России могут иметь значительные различия в зависимости от количества и численности подразделений территориальных органов внутренних дел конкретного региона, его географических особенностей, сложившейся схемы административно-территориального деления и пр. Однако при построении любой сети цифровой радиосвязи в той или иной степени целесообразно использование решений, характерных для типовых схем организации радиосвязи.

Структурно цифровая система радиосвязи является взаимосвязанной организационно, технически и логически единой сетью, обеспечивающей радиосвязью структурные подразделения УМВД России, функционирующие на территории субъекта Российской Федерации.

На этапе проектирования должен быть решен вопрос о типе сети. Построение конвенциональной сети оправданно, если на сайтах менее четырех каналов. Транкинговые радиосистемы способны использовать каналы более эффективно, если их более четырех на каждом сайте.

Функционально цифровая система радиосвязи должна строиться как совокупность следующих взаимосвязанных составных частей:

а) Центр радиосвязи министерства внутренних дел республик, Центр радиосвязи управлений (главных управлений) Министерства внутренних дел Российской Федерации по областям (краям) — главное диспетчерское место.

В ЦРС необходимо установить центральное коммутационное оборудование и оборудование управления, рабочее место оператора и локальное рабочее место диспетчера ЦРС МВД республик, УМВД России по областям (краям).

Окончательное место установки центра радиосвязи определяется на этапе предварительной проработки и проектирования системы.

Количество и адресация стыков по подключению конвенциональных сетей районов определяется на этапе предварительной проработки и проектирования системы;

б) радиоцентры:

- РЦ № 1 — адрес;
- РЦ № 2 — адрес и т. д.

Окончательно места установки РЦ, их количество и канальность определяются и согласовывается с заказчиком на этапе предварительной проработки и проектирования системы.

Типовой радиоцентр (сайт) представляет собой совокупность нескольких ретрансляторов (базовых станций), работающих на одну антенну. Типовой сайт должен иметь модульную конструкцию и обеспечивать:

- режим работы оборудования — круглосуточный, необслуживаемый;
- грозозащиту;

- резервирование электропитания;
 - возможность автономной работы при обрыве линий связи между БС и центром коммутации;
 - групповые и индивидуальные радиовыводы;
 - связь радиобонентов с ведомственной телефонной сетью;
 - удалённую диспетчеризацию и управления оборудованием системы радиосвязи;
- в) центры управления и диспетчеризации:
- ЦУД № 1;
 - ЦУД № 2 и т. д.

Количество автоматизированных рабочих мест операторов радиосвязи для каждого ЦУД уточняется в процессе проектирования.

В каждом из центров управления и диспетчеризации должна быть предусмотрена установка не менее одного стационарного диспетчерского терминала. Конкретные адреса установки диспетчерских мест и их размещение внутри зданий требуется согласовать на этапе проектирования;

г) цифровые абонентские станции:

- стационарные;
- возимые;
- носимые упрощённого функционала (безклавиатурные);
- носимые с клавиатурой и дисплеем.

Также должны быть определены требования ко всем абонентским станциям (или части станций) по необходимости обеспечения:

- маскирования информации в соответствии с ГОСТ 28147–89;
- позиционирования подвижных объектов с использованием системы ГЛОНАСС.

Окончательное количество цифровых абонентов, а также количество и порядок разделения на группы определяется и согласовывается с заказчиком в процессе проектирования;

д) опорная транспортная сеть.

В качестве каналов связи для подключения центра радиосвязи к радиоцентрам и ЦУД предпочтительно использовать ЛВС, ИМТС МВД Республик, УМВД России по областям (краям) и каналы ЕИТКС.

В случае необходимости допускается использование арендованных каналов связи.

Помещения и антенные площадки для размещения оборудования ЦРС определяются в ходе проектирования. Предпочтения отдаются зданиям и сооружениям органов и подразделений МВД или иным, находящимся в государственной собственности.

Радиоцентры размещаются автономно, в приоритетных точках по высоте над уровнем моря.

7.5.2. Типовые схемы организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе оборудования APCO 25

При построении системы радиосвязи в интересах территориальных органов МВД России на базе оборудования APCO 25 необходимо учесть, что данный стандарт обеспечивает:

- возможность переиспользовать существующий частотный ресурс, выделенный МВД России в полосах частот 148–174 МГц и 450–470 МГц;
- высокую энерговооруженность абонентского и базового оборудования, что обеспечивает стабильно широкие зоны покрытия, не уступающие по своим характеристикам зонам покрытия существующих аналоговых сетей радиосвязи;
- возможность плавного перехода с аналоговой связи на цифроаналоговую и, впоследствии, на цифровую радиосвязь без потери функционала и использования существующего парка аналоговых станций до полной выработки ими эксплуатационного ресурса;
- масштабируемость и гибкость. Производители оборудования стандарта APCO 25 обеспечивают полный спектр технических решений для организации различных сетей УКВ-радиосвязи;
- использование унифицированного абонентского парка. Стандарт APCO 25 является открытым стандартом, что позволяет использовать абонентское оборудование разных производителей без ущерба для основного функционала и качественных показателей;
- для организации внутрисистемных линий связи (межсайтовые соединения, удаленные объекты связи и прочее) в сетях УКВ-радиосвязи стандарта APCO 25 применяются общепринятые, широко применяемые в органах внутренних дел, интерфейсы (E1 G703, IP), что позволяет использовать существующие ресурсы ЕИТКС.

Типовую схему организации связи на базе оборудования APCO 25, с использованием различных стандартных вариантов ее реализации (транковый сегмент, конвенциональный сегмент с обычным режимом работы, конвенциональный сегмент синхронного вещания) наиболее целесообразно рассмотреть на примере реализации сети, в которой на практике подтверждена возможность и эффективность использования данных режимов на базе типового оборудования. Это система радиосвязи ГУ МВД по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области, которая в настоящее время обеспечивает 100-ное покрытие территории города и области в расчёте на пользователя с возимой радиостанцией.

Развёртывание сети протокола APCO 25 в конвенциональном режиме началось к празднованию 300-летия Санкт-Петербурга в 2003 году. Сеть представляла собой 15 ретрансляторов, объединённых в группы и размещённых на 3 сайтах. В 2006 году конвенциональная радиосеть APCO 25 была модернизирована до транкинговой. Был установлен транкинговый коммутатор, увеличено количество сайтов и ретрансляторов.

В 2008 г. при разработке технического задания для выбора оборудования территориального сегмента сети был учтен опыт функционирования сети в масштабах города и определены требования к дальнейшему развитию системы цифровой радиосвязи [23]:

- радиосеть должна быть цифровой. При одних и тех же условиях в цифровом и аналоговом виде цифровая связь обеспечивает явное преимущество в качестве, и это качество стабильно в зоне действия сети;
- должен быть обеспечен плавный переход от аналоговых к цифровым сетям. При более чем 20-тысячном парке аналоговых средств связи, находящихся в эксплуатации в ГУ МВД по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области, постепенный переход к цифровым сетям более чем актуален;
- радиосеть должна быть единой, иметь центральный коммутатор, к которому подключаются радиосети, системы, ресурсы и т. д. На базе центрального коммутатора функционирует главная радиостанция ГУ МВД, которая должна иметь возможность входить во ВСЕ радиосети и установить устойчивую двустороннюю связь с любым абонентом подчинённых радиосетей (в основном для передачи циркулярных сообщений);

- при построении сети должен использоваться принцип территориальности. Это означает, что абоненты разделены по территориальному признаку в жёстких границах административных районов и в 99% случаев, покидать эти границы им категорически запрещено. На основе территориальных сегментов строятся радиосети территориальных подразделений ГУ МВД на районном уровне, обеспечивается работа главных радиостанций У (О) МВД, стационарных, возимых и носимых абонентских радиостанций территориального органа;
- радиосеть должна обладать живучестью. Даже при выходе из строя центрального коммутатора территориальные сегменты должны функционировать;
- в административных границах районов Санкт-Петербурга при оценке качества связи и покрытия сети необходимо ориентироваться на абонента с носимой радиостанцией;
- На территории Ленинградской области, при оценке качества связи и покрытия сети, необходимо ориентироваться на абонента с возимой радиостанцией;
- оборудование должно отвечать современным требованиям по построению сетей, типу используемых каналов для организации межсайтовых соединений и максимально использовать уже имеющиеся ресурсы (в первую очередь — ресурсы ЕИТКС МВД).

В результате проведённого Администрацией Санкт-Петербурга конкурса выбор был остановлен на оборудовании производства Taït. Оно отвечало всем требованиям, и уже на тот момент в ретрансляторах имелись встроенные сетевые карты, использовалась технология Ethernet для организации межсайтовых связей, компаратор для построения сетей разнесённого приёма конструктивно являлся частью ретранслятора и при этом массогабаритные показатели позволяли в 2–3 раза сократить размеры аппаратных шкафов по сравнению с оборудованием Motorola, установленным в ГУ МВД ранее.

В результате реализации выбранной стратегии к 2012 году в ГУ МВД по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области система цифровой радиосвязи представляла собой следующий комплекс:

а) транкинговый цифровой сегмент сети, развернутый в диапазоне УВЧ.

Эта часть сети является основой для всей системы радиосвязи ГУ МВД и на базе транкинговой сети АРСО 25 функционально реа-

лизована главная радиостанция дежурной части ГУ МВД. Транкинговый сегмент состоит из 28 ретрансляторов, расположенных на 7 сайтах. В этом сегменте работает порядка 1300 абонентов. Расположение сайтов ТЦРС АРСО-25 показано на рис. 7.15.

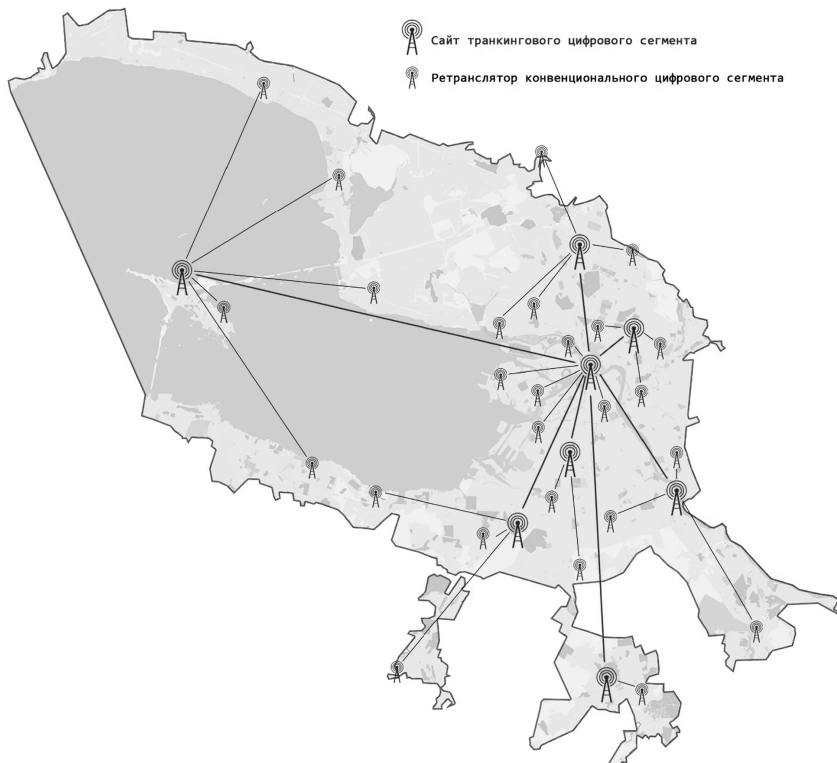


Рис. 7.15. Расположение базового оборудования сети радиосвязи ГУ МВД на территории Санкт-Петербурга

Транкинговая сеть используется в первую очередь для организации связи при проведении общественно-массовых, спортивных и культурных мероприятий, в том числе международного уровня.

В транкинговой сети работают подразделения, не имеющие чёткой территориальной привязки к какому-либо административному району Санкт-Петербурга, например такие, как полк патрульно-постовой службы, ОМОН, батальон по охране дипломатических представительств и консульств иностранных государств, подразде-

ления конвоирования, специальные подразделения и службы полиции и т. д.

На основе транкинговой сети развёрнута сеть управления и взаимодействия. Во всех дежурных частях территориальных органов на районном уровне, взаимодействующих структурах органов государственной власти, оперативных штабах при проведении разного рода мероприятий, установлены абонентские радиостанции транкинговой сети, настроенные на единую, сквозную группу управления. Это позволяет абонентам транкинговой цифровой радиосети АРСО 25 быстро и эффективно решать задачи управления, не теряя времени на выбор канала, группы, сети и, не важно, на территории какого административного района Санкт-Петербурга;

б) конвенциональный цифровой сегмент сети, развернутый в диапазоне ОВЧ на территории Санкт-Петербурга.

Здесь при выборе стратегии учитывались следующие факторы:

- данный сегмент сети предназначен для работы всех служб территориального органа на районном уровне, за исключением территориальных подразделений вневедомственной охраны и дорожно-патрульной службы, которые работают в отдельных радиосетях;
- зона обслуживания абонентов ограничена территориальными границами административного района;
- покрытие сети рассчитано на абонента с носимой радиостанцией;
- пропускная способность сети рассчитана не более чем на 100 активных абонентов, заступающих ежедневно на службу;
- активность абонентов при стандартном варианте несения службы не очень высока.

В Санкт-Петербурге насчитывается 18 административных районов и, соответственно, 18 территориальных управлений (отделов) МВД на районном уровне. Районы города различны по площади и конфигурации.

Для построения этого сегмента сети использовались цифровые ретрансляторы «Радон». Данные ретрансляторы имеют функциональные возможности для объединения (сетевые интерфейсы, в частности Ethernet) для построения сетей с разнесённым приёмом, обеспечивают работу в режиме simulcast (встроенный компаратор сигналов).

На территории Санкт-Петербурга развёрнуто 33 таких ретранслятора в 18 радиосетях территориальных органов, при этом каждая состоит из 1–3 ретрансляторов, объединённых в группы. Расположение ретрансляторов также показано на рис. 7.15.

Один из ретрансляторов в группе является приёмо-передающим. Он же выполняет функции компаратора — при многостанционном приёме выбирает из всех принятых сигналов лучший и его ретранслирует в эфир. Другие ретрансляторы в группе являются выносными приёмниками. При этом передающим может быть назначен любой из ретрансляторов группы, а переключение производится удаленно с помощью специального программного обеспечения оператором радиосети. Для организации межсайтовых связей используются возможности ЕИТКС МВД и сеть широкополосного радиодоступа ГУ МВД.

Известно, что дальность связи определяется по самому худшему элементу (в данном случае это носимая радиостанция). Мощности одного передатчика достаточно для покрытия территории в радиусе до 20 км (при протяжённости Санкт-Петербурга с севера на юг порядка 40 км), а разнесённые приёмники обеспечивают уверенный приём в радиусе до 5 км. Таким образом, используемая схема включения ретрансляторов обеспечивает дальность связи в условиях городской застройки до 10–15 км;

г) конвенциональная сеть с использованием ретрансляторов в виде линейной схемы.

Такая схема может быть использована вдоль автомобильных дорог и железнодорожных путей. В такой схеме частоты могут чередоваться. Необходимо лишь обеспечить различные частоты в зонах наложения;

д) транкинговая система радиосвязи стандарта DMR Tier III.

Основные преимущества транкинговой системы стандарта DMR Tier III:

- решения базируются на сетях IP, с невысокими требованиями к полосе пропускания каналов;
- эффективное использование частотного ресурса;
- гибкость построения системы. Устройства и компоненты в существующей системе связи легко могут быть перераспределены в любые точки сети;

- масштабируемость системы. В случае необходимости система легко может быть расширена;
- через сайты транкинговой системы реализован автоматический роуминг всех зарегистрированных абонентов;
- система предоставляет большой выбор сервисов DMR для абонентских радиостанций.

Как правило, системы этого стандарта развертываются в городах с населением до пятисот тысяч человек, хотя есть примеры использования в центрах субъектов федерации с населением до миллиона. Основная часть построенных систем — конвенциональные. С 2013 г. вновь развертываемые системы изначально строятся как транкинговые (Киров, Тюмень, Челябинск). Такая ситуация сложилась в связи с тем, что российские поставщики только год назад начали предлагать на рынке оборудование, позволяющее строить полноценные транкинговые сети. Для существующих систем в столицах центров субъектов Российской Федерации по мере необходимости также планируется добавление функции транкинга для имеющихся конвенциональных сетей DMR.

Таким образом, можно выделить две типовые схемы организации связи на базе оборудования DMR — конвенциональная или транкинговая сеть, для которых на практике подтверждена возможность и эффективность использования данных режимов.

На рис. 7.16 представлена типовая схема организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе оборудования DMR, конвенциональный режим (сеть радиосвязи МВД Удмуртской Республике, поставщик — ЗАО «Уральские радиостанции», комплекс «ЭРИКА»). Применение данной схемы оправданно для городов с численностью населения до 500 тыс. человек с небольшим количеством подразделений органов внутренних дел.

К основному оборудованию сети относятся:

- четыре двухканальных ретранслятора ЭРИКА-Р161 (два независимых канала связи на каждой дуплексной частоте);
- автоматизированное рабочее место администратора сети с предустановленным программным обеспечением ЭРИКА-АРМ-Д;
- стационарные DMR радиостанции ЭРИКА-160 с ПО ЭРИКА АРМ-Д;
- возимые и носимые DMR радиостанции.

Все ретрансляторы соединены с АРД диспетчера и между собой по сети IP/Ethernet.

На рис. 7.17 представлена типовая схема организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе оборудования DMR, транк (сеть радиосвязи УМВД России по Челябинской области, поставщик — ЗАО «Уральские радиостанции», комплекс «ЭРИКА»).

Применение данной схемы наиболее целесообразно для городов с численностью населения свыше 500 тыс. человек со значительным количеством подразделений органов внутренних дел.

К основному оборудованию сети относятся:

- четыре шестиканальные базовые станции ЭРИКА-Р161. В состав каждой базовой станции входят шесть приемопередатчиков (два независимых канала связи на каждой дуплексной частоте), контроллер (коммутатор) и комплект ПО;
- транкинговый коммутатор (Mobile Switch Office — MSO) с комплектом ПО;
- автоматизированное рабочее место администратора сети с предустановленным программным обеспечением ЭРИКА-АРМ-Д;
- система записи голосовых сообщений с комплектом ПО;
- стационарные DMR радиостанции ЭРИКА-160 с ПО Эрика АРМ-Д;
- возимые и носимые DMR радиостанции.

7.6. Организации защищенных оперативных сетей подвижной радиосвязи ОВД

В соответствии с ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ для ОВД МВД России основными целями защиты информации, циркулирующей в каналах радиосвязи подразделений и служб, являются:

- предотвращение утечки и искажения информации;
- предотвращение угроз безопасности личности, общества, государства;
- предотвращение несанкционированных действий по уничтожению, модификации, копированию, блокированию информации;
- предотвращение различных форм незаконного вмешательства в информационные ресурсы и информационные системы, обе-

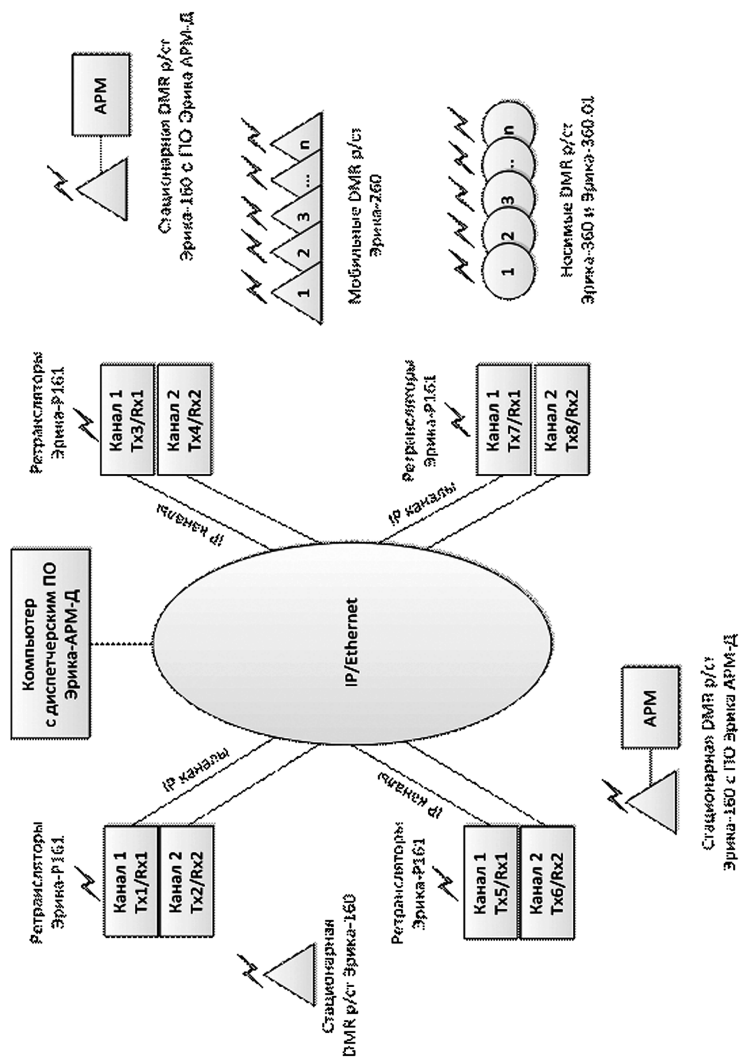


Рис. 7.16. Типовая схема организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе оборудования DMR (сеть радиосвязи МВД Удмуртской Республике, конвенционный режим)

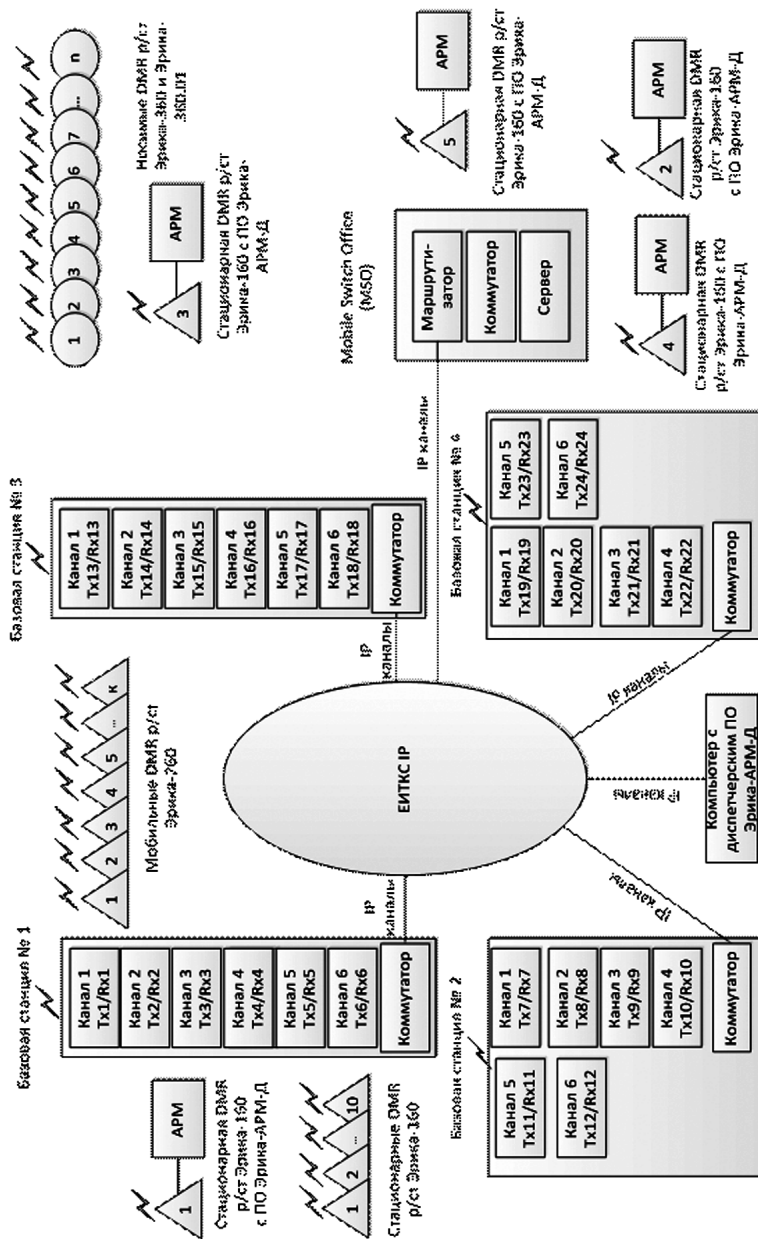


Рис. 7.17. Типовая схема организации радиосвязи для территориальных органов МВД России на базе оборудования DMR, транк (сеть радиосвязи УМВД России по Челябинской области)

спечение правового режима документированной информации как объекта собственности;

- защита конституционных прав граждан на сохранение личной и семейной тайн и конфиденциальности персональных данных, имеющихся в информационных системах и средствах информатизации.

В качестве главного вероятного противника по отношению к МВД России следует рассматривать организованные преступные и террористические группировки, действующие на территории Российской Федерации, а также спецслужбы иностранных государств в условиях сложившегося в последнее время противостояния России западному миру. Анализ угроз информационной безопасности показывает, что со стороны потенциального противника следует ожидать ряда действий:

- искажение (подмена) передаваемой в системе информации, навязывание ложных или ранее переданных сообщений с конкретной целью препятствовать передаче достоверной информации;
- попытка получения всего объема конфиденциальной информации, циркулирующей в системе;
- попытка нарушения аутентификации источников информации.

Защита информации в сетях радиосвязи ОВД предусматривает необходимость принятия мер по следующим направлениям:

- оснащение органов внутренних дел оборудованием в защищенном исполнении;
- препятствование несанкционированным действиям обслуживающего персонала, а также других лиц, не допущенных к работе с оборудованием;
- проверка программного обеспечения, используемого в системах радиосвязи на отсутствие недеklarированных возможностей;
- использование комплексов средств защиты информации при ее передаче по радиоканалам связи.

Широко используемые в настоящее время некриптографические способы защиты информации (экранирование, зашумление, маскирование), а также организационные меры по ограничению несанкционированного доступа нарушителей к оборудованию и телекоммуникациям — все это не в силах полностью исключить утечку информации, циркулирующей в системе по радиоканалам.

Гарантированный уровень защиты информации в сетях радиосвязи ОВД с точки зрения информационной безопасности может быть обеспечен только за счет применения средств криптографической защиты информации. Это полностью соответствует требованиям ФСБ России в части передачи конфиденциальной речевой информации и данных только с использованием сертифицированных СКЗИ.

Внедрение СКЗИ в системы радиосвязи ОВД целесообразно проводить по нескольким направлениям:

- приобретение и применение средств, сертифицированных ФСБ России;
- разработка устройств защиты собственными средствами с последующим использованием в системах радиосвязи ОВД.

С учетом завершения в 2014 г. ряда ОКР в области создания комплексов и систем защищенной радиосвязи целесообразно сформировать следующие рекомендации по защите информации, передаваемой в сетях радиосвязи органов внутренних дел:

1. Создание защищенных сетей радиосвязи ОВД на базе комплекса технических средств «Радиозанавес».

Комплекс средств криптографической защиты информации (СКЗИ) «Радиозанавес» рекомендуется для организации защищенных оперативных сетей подвижной радиосвязи ОВД, предназначенных для передачи конфиденциальной информации, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну. Оборудование комплекса СКЗИ «Радиозанавес» принято на снабжение МВД России в 2013 г. Оборудование комплекса рекомендуется для построения защищенных радиосетей радиосвязи одно- и двухчастотного симплекса для использования как в условиях повседневной деятельности, так и в условиях проведения специальных мероприятий.

Состав комплекса:

- абонентские СКЗИ 603Н (носимое), 603В (возимое) и 603С (стационарное) предназначены для обеспечения криптографической защиты передаваемой по каналам УКВ радиосвязи конфиденциальной служебной речевой информации, не составляющей государственной тайны, организации защищенной циркулярной, групповой и индивидуальной связи на каналах одно- и двухчастотного симплекса, а также для работы

- в открытом режиме передачи речевой информации по каналам УКВ радиосвязи;
- изделие 603Р (ретранслятор с функциями СКЗИ) предназначено для обеспечения ретрансляции и регенерации криптографически защищенной конфиденциальной служебной речевой информации, не содержащей сведений составляющих государственную тайну, передаваемой по каналам УКВ радиосвязи абонентскими СКЗИ (изделиями 603Н, 603В, 603С) и диспетчерскими СКЗИ (изделиями 603Д, 603Д1). Ретранслятор с функциями СКЗИ позволяет организовать доступ к каналу связи только разрешенным (авторизованным) пользователям и закрывает канал ретранслятора (ограничивая доступ) для посторонних пользователей;
 - аппаратура ДПУБ (диспетчерский пункт управления безопасностью защищенной радиосети) предназначена для обеспечения дистанционного управления СКЗИ и ретрансляторами с функциями СКЗИ по каналу связи, организации системы дистанционного мониторинга и управления безопасностью в сети конфиденциальной радиосвязи, децентрализованного изготовления и распределения шифрключей для радиостанций с функциями СКЗИ по каналам радиосвязи, хранения базы данных ключевой информации в зашифрованном виде, регистрации событий и вывода на печать электронного журнала учета событий, а также отметок о выполняемых действиях, в том числе в реальном масштабе времени;
 - аппаратура ДПОД (диспетчерский пункт оперативного дежурного защищенной радиосети) предназначена для оперативного управления оперативным дежурным абонентами защищенной радиосети с помощью голосовой связи. Она обеспечивает контроль за соблюдением корреспондентами защищенной радиосети регламента связи, запись радиопереговоров и данных о параметрах сеансов связи, а также просмотр и анализ информации о фактах выхода радиостанций с функцией СКЗИ в эфир;
 - устройство ввода ключей и программирования (УВКиП) предназначено для ввода ключей, радиоданных и списка скомпрометированных криптономеров в абонентские и диспетчерские

СКЗИ и в ретрансляторы с функциями СКЗИ, а также для ввода баз данных ретрансляторов с функциями СКЗИ.

Особенности разработанного комплекса СКЗИ:

- разработка всех типов СКЗИ осуществлена на базе комплекса аналоговых радиостанций «Гранит» производства ЗАО «САН-ТЭЛ», г. Москва, принятых на снабжение ОВД России;
- создание всех типов СКЗИ велось с применением унифицированных аппаратно-программных решений по защите информации, реализованных в рамках специального универсального модуля (СУМ), встраиваемого во все типы радиосредств. Специальное программное обеспечение СУМ обеспечивает возможность выполнения функций криптографической защиты информации, управления приемопередатчиком и функционирования СКЗИ в радиосети согласно единому протоколу;
- алгоритмы шифрования обеспечивают быстрое вхождение в синхронизм СКЗИ. Время вхождения в синхронизм двух аппаратов шифрования, в режиме прямой связи, не более 500 мс;
- комплекс обеспечивает построение защищенных радиосетей на базе СКЗИ различного типа (носимых, мобильных, стационарных), в которых используются принципы унификации в части криптографических преобразований, обработки речи, данных и ключевых структур. Все СКЗИ имеют возможность получения ключевой информации, команд управления и мониторинга по каналу радиосвязи от единого пункта управления безопасностью;
- впервые в России при создании СКЗИ для защищенных сетей подвижной радиосвязи реализована защита конфиденциальной информации по классу КВ2 с возможностью децентрализованного изготовления ключей на местах эксплуатации, передачи и смены ключей по радиоканалу, автоматизированного управления безопасностью СКЗИ по каналу радиосвязи. В функции автоматизированного управления безопасностью включены механизмы ввода и стирания скомпрометированных криптономеров, функции удаленного прослушивания акустической обстановки абонента, запрета выхода в эфир, выключения абонента со стиранием ключей, а также отсле-

живание отсутствия фактов НСД к средствам криптографической защиты.

Примененные ключевые структуры позволяют обеспечить допустимый уровень компрометации абонентов и оптимальный объем ключевой информации, который необходимо передавать по радиоканалу связи для обеспечения или восстановления радиосети с числом абонентов до 1500.

Предлагаются следующие варианты использования комплекса «Радиозанавес» для построения защищенных сетей радиосвязи.

На рис. 7.18 приведена структура однозоновой защищенной радиосети. Данная структура радиосети наиболее простая и широко используется при организации связи в интересах оперативных служб ОВД.

Комплекс защищенной радиосвязи позволяет строить как простейшие схемы организации связи для автономных подвижных групп абонентов, использующих один радиочастотный канал, так и более сложные схемы организации с взаимодействием нескольких групп, использующих несколько радиочастотных каналов, в том числе и под управлением единого автоматизированного диспетчерского пункта управления радиосетью.

На рис. 7.19 представлен вариант построения радиосети взаимодействия для двух территориально разнесённых радиосистем. На рис. 7.20 представлен типовой вариант построения многозональной системы защищенной радиосвязи линейной конфигурации.

2. Развитие существующих защищенных сетей радиосвязи ОВД на базе комплекса цифроаналоговой защищенной радиосвязи «Альфа», принятого на снабжение МВД РФ.

В отличие от зарубежных аналогов, комплекс «Альфа» имеет сертифицированные ФСБ России средства криптографической защиты передаваемой информации и обеспечивает полный контроль систем связи, созданных на его основе. Криптографическая защита в этих системах связи обеспечивается в абонентских аппаратах от трубки до трубки. Для защиты переговоров, ведущихся по радиоканалам, используются абонентские радиостанции стационарного и мобильного базирования «Альфа-102», «Альфа-112» и «Альфа-202», а также носимые радиостанции «Альфа-302» комплекса технических средств защищенной радиосвязи «Альфа-160».

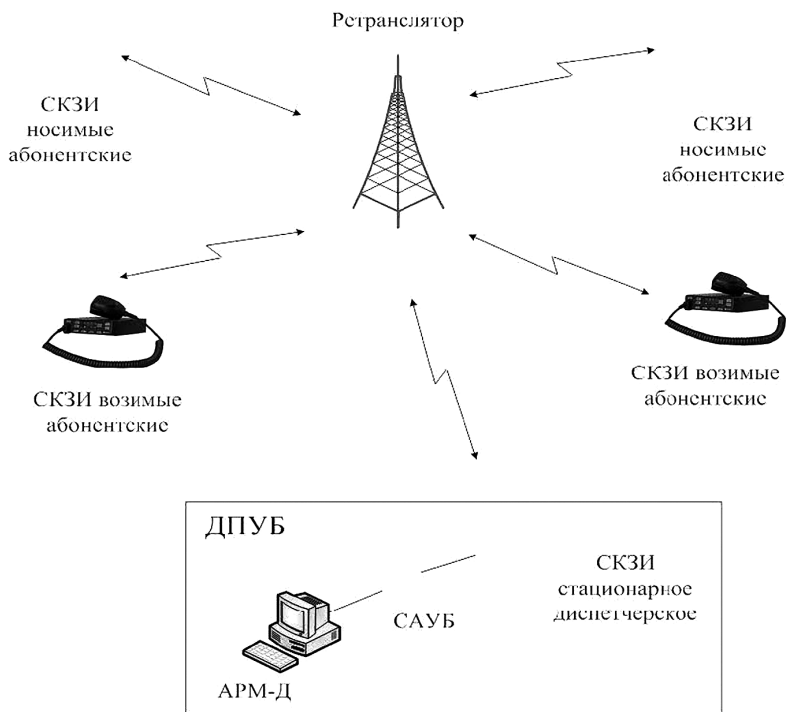


Рис. 7.18. Однозонавая защищенная сеть радиосвязи

Комплекс находит применение в сетях связи отдельных структур ОВД. В настоящее время на основе комплекса действуют цифровые сети радиосвязи, построенные в интересах органов внутренних дел Республик Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкесия, Северная Осетия-Алания. Всего в настоящее время в Северокавказском регионе установлено несколько десятков ретрансляторов и более 2000 сотрудников ОВД оснащены цифро-аналоговыми терминалами закрытой радиосвязи. Например, в Республике Дагестан вдоль границы с Чеченской Республикой установлено 9 ретрансляторов, вдоль границы с Азербайджаном — 7 ретрансляторов, развернуто 4 сайта в Махачкале и несколько локальных сетей в отдельных районах республики.

При необходимости возможно расширение действующих сетей путем подключения новых ретрансляторов КТС «Альфа» и увеличения числа абонентов.

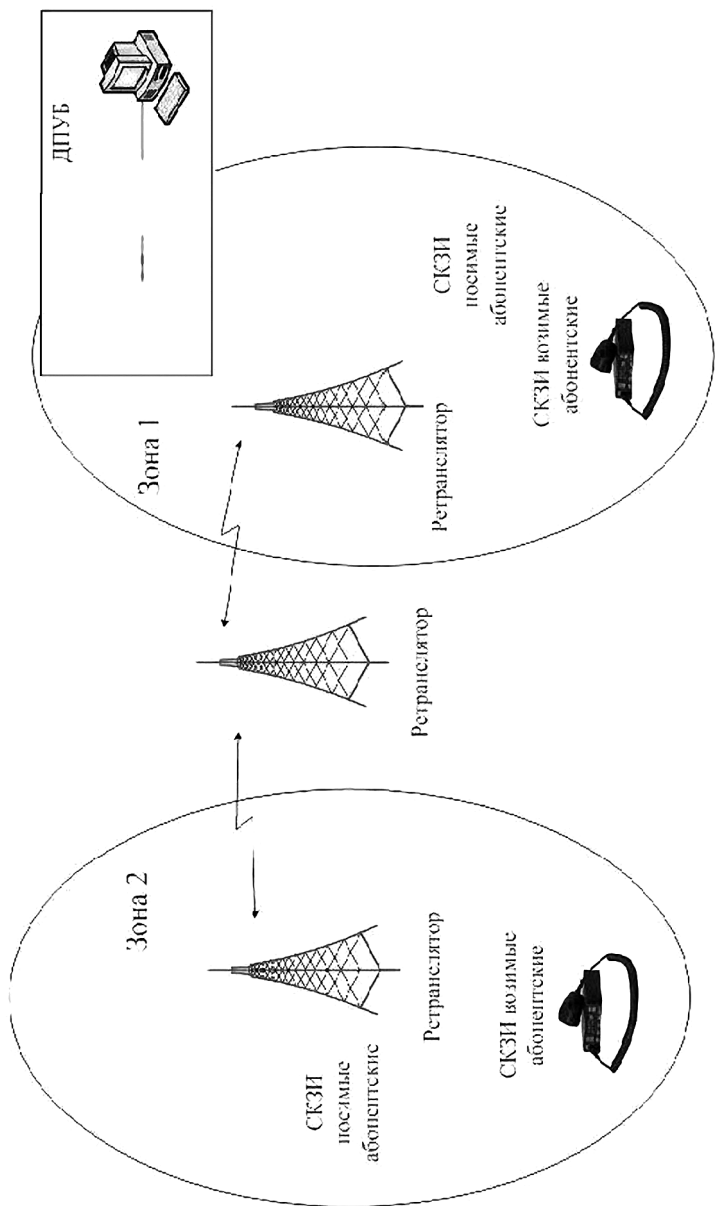


Рис. 7.19. Радиосеть взаимодействия для двух территориально разнесённых защищённых радиосистем

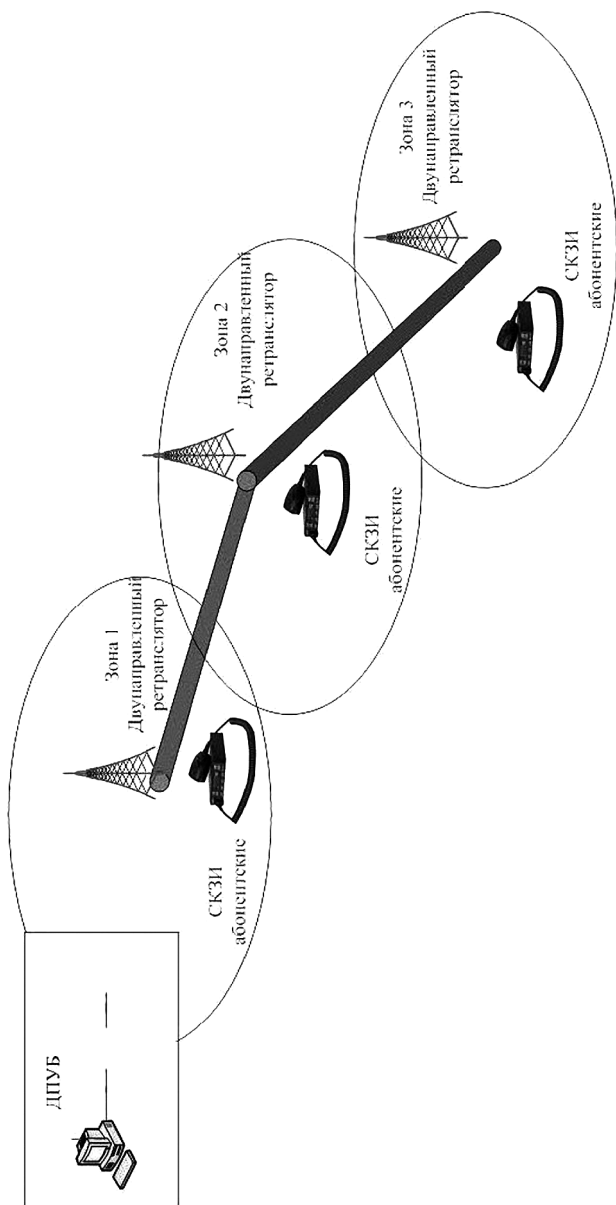


Рис. 7.20. Многозонавая система защищенной линейной конфигурации

3. Создание защищенных сетей радиосвязи ОВД на базе комплекса технических средств «Альфа-М».

В 2014 г. в рамках выполнения ОКР «Разработка средств криптографической защиты информации для комплекса «Альфа-М» (шифр «Альфа-М-СКЗИ») планируется завершение разработки средств криптографической защиты информации для комплекса средств цифровой радиосвязи «Альфа-М», которые позволят обеспечить возможность создания сетей подвижной радиосвязи для обмена конфиденциальной информацией, не содержащей сведений, составляющих государственную тайну.

Заключение

В данном учебном пособии дается представление об основных принципах построения различных телекоммуникационных систем и сетей, определяется назначение систем и сетей передачи информации, рассматривается взаимосвязь между радиотехническими и информационными процессами в каналах, системах и сетях. За рамками пособия остались материалы, касающиеся протоколов управления каналом связи, методов случайного доступа, коммутации и маршрутизации коммуникационных сетей, которые будут рассмотрены в дальнейшем.

На базе единого системного подхода изложены современные принципы построения телекоммуникационных систем различного назначения. Инфокоммуникационные системы составляют основу современных информационных технологий, в которых сбор первичной информации, передача отображающих их сигналов по каналу связи на расстояние и прием этих сигналов обеспечиваются радиотехническими устройствами и системами, а обработка информации — средствами вычислительной техники.

Внедрение в информационные технологии средств вычислительной техники во многом изменило как привычные способы построения радиотехнических систем, так и способы передачи и обработки сигналов в них. Знание архитектуры сетей, способов коммутации сигналов и сообщений становится необходимым для специалистов различных отраслей.

Данное учебное пособие позволит курсантам и слушателям, изучающим системы и сети передачи информации, сконцентрировать свое внимание на основных разделах курса, а также получить представление о способах построения и принципах функционирования основных типов телекоммуникационных сетей, основных возможностях и характеристиках различных телекоммуникационных сетей, структурных и функциональных схемах систем и сетей, перспективах их развития. В дальнейшем эти сведения будут полезными при прохождении практики и стажировки в отделах внутренних дел, а также при подготовке дипломных работ.

Представленный материал ориентирован на использование при подготовке специалистов по направлению подготовки 11.03.02, 11.04.02 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи квалификации (степени) «бакалавр», «магистр» и 11.05.04 — Инфокоммуникационные технологии и системы связи квалификации «специалист».

Литература

1. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебник для вузов/В. В. Крухмалёв [и др.]; под ред. В. Н. Гордиенко и В. В. Крухмалёва. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 510 с.: ил.
2. Гаранин М. В. Системы и сети передачи информации: учеб. пособие: Рек. Учебно-методич. объединением по образованию в обл. информац. безопасности/М. В. Гаранин, В. И. Журавлев, С. В. Кунегин. — М.: Радио и связь, 2007. — 333с.
3. Системы мобильной связи: учеб. пособие: Рек. УМО по образованию/В. П. Ипатов [и др.]; под ред. В. П. Ипатова. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 272с. — ISBN 5-93517-137-6.
4. Сети и системы радиосвязи ОВД и средства их информационной защиты: учебное пособие/О. И. Бокова [и др.]; под ред. Н. С. Хохлова. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2012. — 228 с.: ил.
5. Радиорелейные и спутниковые системы передачи/под ред. А. С. Немировского. — М.: Радио и связь, 1986. — 392 с.: ил.
6. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов/Б. Уидроу, С. Стирнз. — М.: Радио и связь, 1989.
7. В. Ю. Шишмарёв Типовые элементы систем автоматического управления: учебник для вузов/В. Ю. Шишмарёв. — М.: Академия, 2004. — 304 с.
8. В. И. Кирилов Многоканальные системы передачи: учебник/В. И. Кирилов. — 2-е изд. — М.: Новое знание, 2003. — 751 с.: ил.
9. И. М. Тепляков Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебное пособие/И. М. Тепляков. — М.: Радио и связь, 2004. — 328 с.: ил.
10. В. И. Адрианов Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи/В. И. Адрианов, А. В. Соколов. — СПб.: ВНУ — Санкт-Петербург; Арлит, 2001.
11. Долуханов, М. П. Распространение радиоволн/М. П. Долуханов. — М.: Связь, 1972.
12. Ф. Б. Чёрный Распространение радиоволн/Ф. Б. Чёрный. — М.: Сов. радио, 1972. — 463 с.

13. Основы построения систем и сетей передачи информации: учебное пособие для вузов/В. В. Ломовицкий [и др.]; под ред. В. М. Щекотихина. — М.: Горячая линия-Телеком, 2005. — 382 с.

14. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь: учебное пособие для вузов/В. А. Галкин. — М.: Горячая линия— Телеком, 2007. — 432 с.

15. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети/В. Столлингс; пер. с англ. А. В. Высоцкого и др. — М.: Вильямс, 2003. — 640 с.

16. В. Ю. Бабков Системы мобильной связи: термины и определения/В. Ю. Бабков, Г. З. Галант, А. В. Русаков. — Горячая линия— Телеком, 2009. — 158 с.

17. Возенкрафт Дж. Теоретические основы техники связи/Дж. Возенкрафт, И. Джекобс; пер. с англ. под ред. Р. Л. Дробушина. — М.: Мир, 1969.

18. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы/С. И. Баскаков. — М.: Высшая школа, 1988. — 446 с.

19. Фомин Н. Н. Радиоприемные устройства: учебник/Н. Н. Фомин, Н. Н. Буга, О. В. Головин. — М.: Радио и связь, 2003—520 с.

Оксана Игоревна Бокова,
доктор технических наук, профессор;
Денис Александрович Жайворонок,
кандидат технических наук, доцент;
Николай Степанович Хохлов,
доктор технических наук, профессор
(Воронежский институт МВД России)

Николай Николаевич Оськин,
кандидат технических наук
(ДИТСиЗИ МВД России)

СИСТЕМЫ И СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебное пособие

Оригинал-макет Воронежского института
МВД России

Ответственный за выпуск *Е.И. Фельдман*

Редактор *Н.В. Соболева*
Корректор *Ю.И. Свердлова*

Компьютерная верстка *В.В. Павлов*
(Воронежский институт МВД России)

Подписано в печать 12.05.2015
Формат 60×90^{1/16}. Бумага офсетная. Печ. л. 12,0. Тираж 1000 экз.
Заказ № 9332.

Макет подготовлен и отпечатан ООО ИПК «Медиа-Принт»
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК