

*Факультет дистанционного
обучения ТУСУР*

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
«Радиосвязь, радиовещание
и телевидение»**

Учебное пособие

ТОМСК – 2010

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР)

С.И. Богомолов

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
«Радиосвязь, радиовещание
и телевидение»**

Учебное пособие

2010

Рецензент:

Зав. кафедрой ТОР ТУСУР, д.т.н., профессор А.В. Пуговкин

Корректор: Воронина М.А.

Богомолов С.И.

Введение в специальность «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»: Учебное пособие. – Томск: факультет дистанционного обучения ТУСУР, 2010. – 162 с.

В учебном пособии представлены установочные сведения подготовки специалистов по специальности «Радиосвязь, радиовещание и телевидение». Дана характеристика средств радиосвязи и их место в процессе передачи информации. Рассмотрены основные понятия в области телекоммуникаций, элементы систем радиосвязи, модели сигналов и их основные преобразования в радиотехнических устройствах.

Затронуты вопросы подготовки специалистов в области радиосвязи с учетом основных положений государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования для данной специальности.

© Богомолов Сергей Ильич, 2010
© факультет дистанционного
обучения ТУСУР, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Предисловие..... | 5 |
| 1 РОЛЬ И МЕСТО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ..... | 7 |
| 2 ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ РАДИОСВЯЗИ | 11 |
| 2.1 Радио на начальном этапе..... | 11 |
| 2.2 Становление радио | 14 |
| 2.3 Из истории развития радиосвязи и радиовещания на Томской земле | 18 |
| 2.4 Из истории ТУСУРа..... | 21 |
| 3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ СВЯЗИ | 24 |
| 3.1 Основные понятия и определения в области связи | 24 |
| 3.2 Обобщенная структурная схема системы связи | 26 |
| 3.3 Основные характеристики сигналов электросвязи | 29 |
| 3.4 Каналы электрической связи | 31 |
| 3.5 Общие сведения о сетях связи..... | 33 |
| 4 СИГНАЛЫ И ПОМЕХИ | 39 |
| 4.1 Модели радиотехнических сигналов | 39 |
| 4.2 Гармонический анализ и синтез сигналов..... | 42 |
| 4.3 Первичные сигналы электросвязи | 45 |
| 4.4 Помехи радиосвязи..... | 49 |
| 5 МОДУЛЯЦИЯ | 53 |
| 5.1 Общие сведения о модуляции | 53 |
| 5.2 Амплитудная модуляция | 54 |
| 5.3 Частотная модуляция | 58 |
| 5.4 Фазовая модуляция..... | 60 |
| 5.5 Модулирование импульсных последовательностей | 62 |
| 6 РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН | 64 |
| 6.1 Общие сведения о радиоволнах | 64 |
| 6.2 Физические характеристики среды распространения радиоволн..... | 66 |
| 6.3 Особенности распространения радиоволн различных диапазонов | 72 |

| | | |
|------|---|-----|
| 7 | ОБОРУДОВАНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ | 78 |
| 7.1 | Антенно-фидерные устройства | 78 |
| 7.2 | Радиоприемные устройства | 82 |
| 7.3 | Радиопередающие устройства..... | 87 |
| 8 | РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ..... | 93 |
| 8.1 | Радиорелейные системы связи | 93 |
| 8.2 | Спутниковые системы связи. Общие сведения | 98 |
| 8.3 | Основные характеристики спутниковых систем связи... | 101 |
| 8.4 | Службы спутниковой связи | 106 |
| 9 | ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ | 108 |
| 9.1 | Физические основы передачи оптических изображений .. | 108 |
| 9.2 | Структурная схема системы передачи черно-белого изображения..... | 113 |
| 9.3 | Передача цветных изображений | 118 |
| 10 | СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ | 123 |
| 10.1 | Системы персонального радиовызова | 123 |
| 10.2 | Профессиональная подвижная радиосвязь | 127 |
| 10.3 | Системы сотовой подвижной связи | 130 |
| 10.4 | Системы беспроводных телефонов..... | 137 |
| 11 | МЕЖДУНАРОДНЫЕ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ В СВЯЗИ | 140 |
| 11.1 | Организации стандартизации в связи | 140 |
| 11.2 | Общие сведения о связи в Российской Федерации | 142 |
| 11.3 | Стандартизация высшего профессионального образования в РФ | 146 |
| | ЛИТЕРАТУРА | 150 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ | 151 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Средства радиосвязи в современном мире играют одну из ведущих ролей в процессе передачи и обработки информации. От первых опытов по беспроводной электросвязи прошло каких-то 100 лет, но за это время средства и технологии радиосвязи, как составная часть научно-технического прогресса, проникли во многие области современного общества. Современные средства радиосвязи, несмотря на незначительные габариты и вес, зачастую представляют собой достаточно сложные технические устройства, требующие квалифицированных специалистов по проектированию таких систем и поддержанию их высоких эксплуатационных характеристик.

Содержание дисциплины «Введение в специальность» представляет материал, который дает первое знакомство с различными аспектами как самих средств и систем радиосвязи, так и с некоторыми вопросами подготовки специалистов для этой отрасли. Для понимания излагаемого материала требуются знания в объеме учебной программы общеобразовательной школы, в частности, по физике и математике, но в то же время не выходящие за ее рамки.

Структура данного учебного пособия формируется следующим образом:

В разделе 1 дается знакомство с основными понятиями в области телекоммуникаций, указаны роль и место радиосвязи в современном мире. В разделе 2 проведен краткий обзор развития средств радиосвязи. Отмечены первые этапы развития радиосвязи во всемирном масштабе, на территории нашей страны, а также Томской области. Последняя секция этого раздела знакомит с историей создания и становления ТУСУРа – первого за Уралом ВУЗа радиотехнического профиля.

В разделах с 3 по 10 рассмотрены общие вопросы, относящиеся к различным аспектам деятельности средств радиосвязи: даны общие понятия и определения в области связи, приведены структурные схемы основных систем связи, рассмотрены понятия: канал связи, сети связи. В последующих разделах рассмотрены основные характеристики сигналов электросвязи и их образования при передаче и приеме, необходимые для уяснения

последующего материала. Приведены краткие сведения о распространении радиоволн и оборудовании каналов связи. Изложены сведения о радиосистемах, которые составляют ядро специальности.

В разделе 11 изложены вопросы, связанные с получением высшего профессионального образования в России. В качестве примера в приложении приведены выдержки из Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки «Телекоммуникации». В этом стандарте дана основная характеристика специальности и изложены требования, предъявляемые к дипломированным специалистам по окончании обучения.

1 РОЛЬ И МЕСТО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Область электрической связи в настоящее время испытывает революционные преобразования, связанные с глобализацией производственных и экономических процессов в мировом обществе; этому соответствует зарождение и развитие новых технологий: слияние компьютерных и телекоммуникационных систем, внедрение волоконно-оптической техники, развитие цифровых методов и устройств передачи, хранение и обработка информации.

Для того, чтобы оценить роль электросвязи в обществе, рассмотрим те виды информации, которые она способна передавать. На рисунке 1 изображены основные источники информации в системе координат «время сеанса связи» – «скорость передачи информации». Самые низкие требования к системам электросвязи предъявляет телеметрия – область связи, где нужно передавать сигналы от разных датчиков производственных и бытовых систем (температура, влажность, давление и т.п.). Здесь объемы передаваемой информации невелики, поэтому их

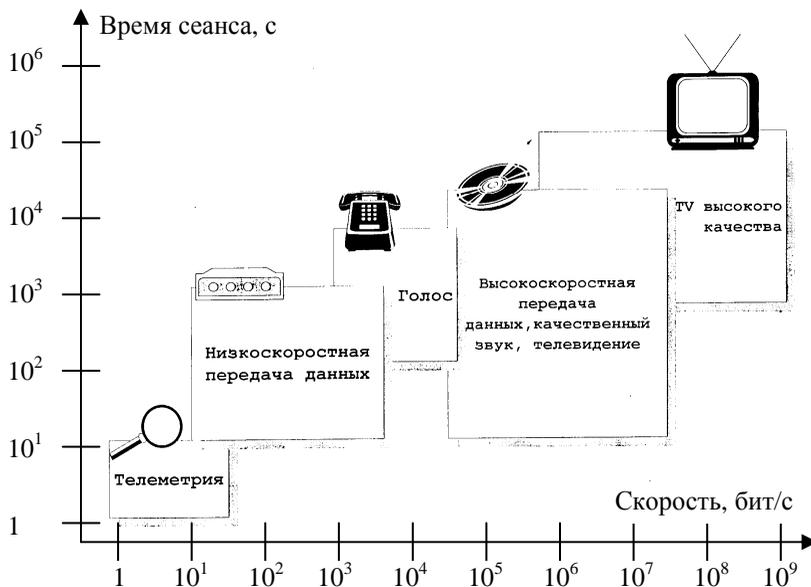


Рис. 1.1 – Современные технологии передачи информации

передача обеспечивается на малых скоростях и за короткие промежутки времени.

Скорости в единицы и десятки килобит в секунду и времена занятия канала, исчисляемые минутами, характерны для передачи данных с помощью обычных модемов с коммутируемым соединением. Еще больше увеличивается диапазон изменения скорости и времени для передачи голоса, как при телефонной связи, включая цифровую телефонию, так и при радиовещании. Переход к телевизионной, качественной передаче звука, скоростному Интернету требует скоростей в единицы, десятки и сотни мегабит в секунду.

Приведенная диаграмма показывает, что сигналы, передаваемые в современных телекоммуникационных системах, очень отличаются друг от друга. Можно выделить три вида информационных потоков (трафика):

- голосовой трафик (передача звука);
- данные (трафик компьютерных сетей);
- телевидение.

Другой важный вывод, следующий из диаграммы, – это чрезвычайно большой диапазон требуемой скорости передачи и времени сеанса. Это обстоятельство предъявляет к телекоммуникационным системам, их разработчикам и операторам связи очень высокие требования в части реализации аппаратно-программных средств и их эксплуатации.

В развитии электросвязи на современном этапе существует ряд тенденций, качественно меняющих понятие и содержание привычных нам услуг телефонии и телевидения.

1. Цифровизация. Переход к цифровым сигналам обеспечивает высокую помехоустойчивость передачи, повышает ее качество и надежность, существенно сокращает вес и габариты оборудования. Поскольку представление цифрового сигнала одинаково для всех видов трафика, то это создает реальную платформу для их объединения в одном канале передачи.

2. Глобализация. Практически телекоммуникационные сети приобретают всемирный характер. Это касается и телефонии, когда мы можем связаться с абонентом в любой стране, и передачи данных (сеть Интернет). Примерами глобальных сетей

также являются: сети сотовой связи (GSM, NMT и др.), сети спутниковой связи (InMarSat, Global Star и др.).

3. Персонализация. С появлением сотовых телефонов, терминалов спутниковой связи телекоммуникации все больше привязываются не к месту нахождения терминала (телефонный аппарат, телевизор и т.п.), а к персоне, человеку, который носит или возит терминал с собой.

4. Мобильность. Эта тенденция существовала и раньше, но сейчас она развивается в массовых средствах связи благодаря развитию технологий радиосвязи, которые являются беспроводными, и поэтому обеспечивают услугами абонентов, находящихся в движении, как при перемещении пешком, так и в автомобиле или даже самолете или космическом аппарате.

5. Интеграция услуг. Цифровые сигналы позволяют объединить разнородный трафик (голос, данные, видео) в одном цифровом потоке. История и развитие интеграции услуг и служб телекоммуникаций схематично представлены на рисунке 1.2. Вначале существовали аналоговая телефония с частотным разделением каналов и технологией коммутации каналов и широ-

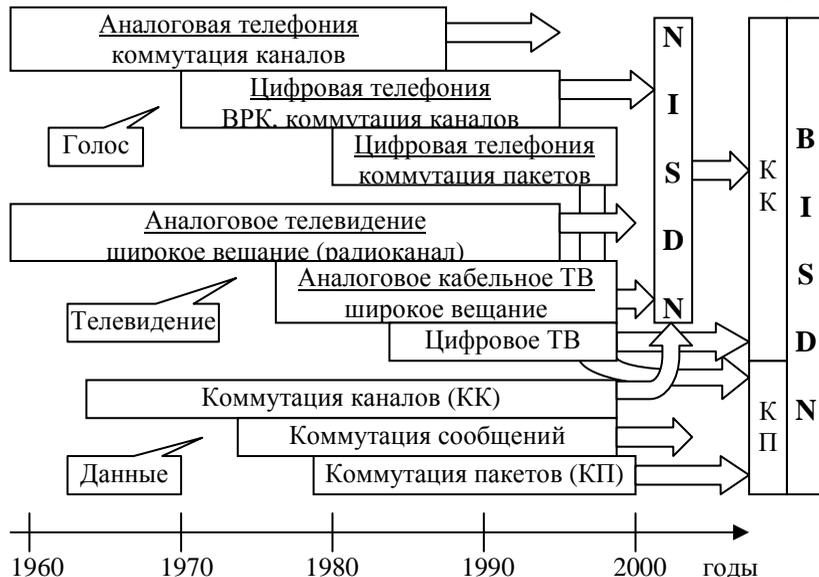


Рис. 1.2 – Развитие технологий телекоммуникаций. Интеграция служб

ковещательное аналоговое телевидение. По мере развития цифровых технологий появились компьютерные сети и цифровая телефония, которые можно было объединить с помощью технологии N-ISDN (узкополосная интеграция служб цифровых сетей). Узкополосность здесь проявляется в том, что объединяются близкие по скорости процессы – телефония и сравнительно низкоскоростная (до 200 кбит/с) передача данных. Далее по мере развития цифрового телевидения и широкополосных сетей передачи данных появляются перспективы интеграции высокоскоростных услуг (B-ISDN) (широкополосного ISDN).

Системы электросвязи по виду используемой среды передачи (линии связи) можно разделить на три больших категории:

1. Проводная электросвязь осуществляется по медным двухпроводным линиям и коаксиальным кабелям. В настоящее время подавляющее число абонентских линий (сеть доступа) реализуется с помощью многопарных электрических кабелей. Сельская связь также строится на таких линиях.

2. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) основаны на оптических кабелях, обладающих гигантской пропускной способностью. Поэтому их основная ниша для применения – магистральные сети, т.е. сети, соединяющие государства, большие города, АТС внутри городов, областные центры с районными центрами. Кроме этого, на ВОЛС строятся и скоростные сети доступа (скоростной Интернет, кабельное телевидение).

3. Радиосвязь реализуется с помощью различного вида радиоканалов, когда передача информации осуществляется с помощью радиоволн, распространяющихся в свободном пространстве. Основные достоинства радиосвязи:

- быстрота развертывания системы связи;
- возможность работы с мобильными абонентами;
- возможность широковещательного режима.

Методы передачи с помощью радиоканалов реализуются в следующих системах: спутниковая связь; сотовая связь; телевидение и радиовещание; радиорелейная связь; радиодоступ в труднодоступных и малонаселенных регионах.

Все эти виды радиотехнологий успешно дополняют проводную электросвязь и волоконно-оптические линии связи.

2 ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ РАДИОСВЯЗИ

2.1 Радио на начальном этапе

Уровень развития любого общества в значительной степени определяется возможностями получения, обработки, хранения и передачи различной информации. В современном мире уверенные позиции в процессе обработки и доставки информации занимают средства электрической связи. Радиосвязь является одной из составляющих электросвязи, использующей в качестве среды распространения электромагнитных колебаний свободное пространство (не направляющие структуры).

Возникновению радиосвязи предшествовали успехи исследования электричества в целом и развития средств проводной электрической связи в частности. К концу XIX века специалисты научились передавать по проводам электрические сигналы, переносившие текст телеграмм и человеческую речь, которые можно было воспроизвести на приемном конце линии связи. В качестве очередной задачи технического прогресса на повестку дня вставал вопрос о создании беспроводного телеграфа.

В свою очередь, развитие практического электричества подталкивало физиков к исследованиям общей природы электрических и магнитных явлений. К этому времени уже было известно, что вокруг проводника с электрическим током возникает магнитное поле (Б. Эрстед). Затем было установлено, что изменяющееся магнитное поле порождает электрический ток (М. Фарадей).

В результате обобщения экспериментальных данных, связанных с взаимным влиянием электрических и магнитных явлений, Д. Максвелл предложил теорию единого электромагнитного поля. В этой теории установлены общие закономерности поведения электрического и магнитного полей. Так, при протекании по проводнику изменяющегося электрического тока вокруг этого проводника возбуждается переменное магнитное поле. Это изменяющееся магнитное поле порождает переменное электрическое поле, которое, в свою очередь, индуцирует переменное магнитное поле и т.д. Изменяющиеся электрическое и магнитное поля, взаимно порождая друг друга, представляют собой

компоненты единого электромагнитного поля. Возникнув в месте протекания по проводнику электрического тока, электромагнитное поле способно «оторваться» от проводника и распространяться в окружающем проводник пространстве в виде электромагнитной волны, заполняя весь объем, окружающий проводник.

Позднее Г. Герц экспериментально подтвердил основные положения этой теории. Однако он считал ее «чистой наукой» и не видел путей ее практического использования. Но к этому времени опыты Г. Герца и попытки других исследователей привели к созданию ряда технических решений, позволяющих как излучать электромагнитные волны, так и обнаруживать наличие электромагнитного излучения.

В качестве источников электромагнитных колебаний Г. Герц использовал искровой передатчик, представляющий собой индукционную катушку с искровым разрядником. Излучающей антенной служил вибратор – два лежащих на одной линии отрезка проводника, между которыми введен искровой промежуток. Детектором электромагнитного поля Г. Герцу служил рамочный вибратор с минимальным искровым промежутком. Недостатком такого приемника явилась невысокая чувствительность детектора, позволяющая обнаруживать электромагнитное поле лишь от близко расположенного излучателя.

Не видел также практического применения своим опытам О. Лодж, ближе всех подошедший к созданию устройств радиосвязи. Изготовленные им приборы служили лишь для демонстрации опытов Г. Герца.

Значительный вклад в становление радиосвязи внес преподаватель электротехники минного офицерского класса в Кронштадте А.С. Попов. Он экспериментально исследовал электромагнитные волны, открытые Г. Герцем. Для обнаружения этих волн он сконструировал радиоприемник: «прибор для обнаружения и регистрации электрических колебаний» (1895). В качестве источника электромагнитных колебаний А.С. Попов использовал вибратор Герца.

Одним из основных элементов приемника был когерер (стеклянная колба с биметаллическими опилками внутри). Когерер был включен в цепь из последовательно соединенных бата-

реи и электромагнитного реле и подсоединялся к антенне. В исходном состоянии сопротивление когерера было велико, и через реле протекал слабый ток, не достаточный для его срабатывания. Под воздействием электромагнитных волн, принятых антенной, сопротивление опилок резко уменьшалось и вызывало срабатывание реле, включающее звонок. Звонок сообщал о принятом сигнале и встряхивал когерер, восстанавливая его исходное состояние, тем самым, подготавливая цепь к приему следующего сигнала.

Седьмого мая (25 апреля по старому стилю) 1895 г. А.С. Попов выступил с докладом о результатах своих исследований на заседании Русского физико-химического общества. Эта дата в России отмечается как день Радио и является профессиональным праздником всех специалистов, связанных с радиоэлектроникой, и многочисленного отряда радиолюбителей.

В результате последующих экспериментов усовершенствовались приборы и техника приема и увеличивалась дальность действия радиосвязи. В марте следующего года, добавив к приемному устройству телеграфный аппарат, А.С. Попов обеспечил возможность записи принимаемых сигналов на телеграфную ленту. Первыми в мире принятыми по радиотелеграфу словами были «Генрих Герц».

В ходе продолжающихся опытов было обнаружено влияние грозовых разрядов на работу приемника. Дополнив приемное устройство прибором для записи на бумажную ленту атмосферных и электрических разрядов, А.С. Попов построил грозоотметчик, применяемый последующие годы в метеорологии.

В 1900 г. начала действовать регулярная линия беспроводной связи на расстоянии более 40 километров для организации работ по снятию с камней броненосца «Генерал-адмирал Апраксин». В ходе этих работ ледокол «Ермак» снял с льдины рыбаков, унесенных в море, благодаря радиограмме, переданной по этой линии.

Исследования в области радиосвязи проводились в это время и в других странах. Из наиболее успешных экспериментов этого периода следует отметить работы Г. Маркони. В июле 1896 г. Г. Маркони оформил заявку, по которой в 1897 г. был выдан патент на устройство беспроволочного телеграфирова-

ния. Передающее устройство в этой заявке было выполнено по схеме излучателя Г. Герца, а построение приемного устройства было аналогично приемнику А.С. Попова.

В последующих работах Г. Маркони начал использовать более длинную вертикальную антенну и заземление. Увеличение размеров антенны позволило повесить чувствительность приема и перейти на более длинные волны, чем в опытах Г. Герца. Кроме того, с увеличением длины в большей степени проявляется способность радиоволн огибать препятствия, что обеспечивает дальность связи, намного превышающую пределы прямой видимости. В 1898 г. была установлена линия радиосвязи между Англией и Францией длиной 30 миль, а затем и еще более протяженные. На таких расстояниях чувствительность когерентных приемников была недостаточной, и для регистрации принимаемых сигналов начали использовать головные телефоны.

Дальнейшее развитие техники радиосвязи связано с увеличением мощности передатчика и чувствительности приемника. Для согласования частотных диапазонов работы приемника и передатчика было предложено введение цепей настройки антенных контуров. Для повышения чувствительности приема подбирались наиболее удобные для слуха частоты следования импульсов искровых радиопередатчиков. Для охлаждения мощных передатчиков вводились специальные элементы конструкций.

2.2 Становление радио

Параллельно с радиотехникой формируется и развивается смежная область науки и техники – электроника, взаимно дополняя и обогащая друг друга. После открытия в 1883 г. Т. Эдисоном явления термоэлектронной эмиссии Д. Флеминг в 1904 г. создает диод с накаливаемым катодом. В 1906 г. Д. Форест предложил электронно-вакуумный триод: ввел в ламповый диод третий электрод. Введением управляющей сетки в электронно-вакуумную лампу получили возможность усиления слабых сигналов. Если же в усилителе, выполненном на триоде, предусмотреть положительную обратную связь, можно получить ламповый генератор незатухающих электрических колебаний.

Последующие почти полвека развития радиотехники связаны с использованием достижений ламповой электроники. На этом этапе развития радиосвязи осваиваются новые частотные диапазоны, увеличиваются мощности излучения и чувствительности приема радиостанций, вводится в строй сеть радиовещательных станций («газеты без бумаги расстояний»).

В начале XX века радиосвязь могла обеспечивать передачу лишь телеграфных знаков – радиотелеграфия. С возможностью передачи сигналов речи появились радиотелефония и радиовещание (передача с помощью радиоволн речи, музыки и т.д.). Регулярные передачи по радио звуковых программ в странах Америки и Европы начались с 1920 года. В Москве была построена крупнейшая в мире радиовещательная станция имени Коминтерна, которая с 1924 года вела регулярные передачи.

На первых этапах развития радиотехники дальнюю связь обеспечивали с помощью электромагнитных колебаний длинноволновой части радиодиапазона, способных огибать Землю. В двадцатых годах XX века была открыта возможность отражения ионосферой радиоволн метрового диапазона, способная обеспечить дальность радиосвязи на расстоянии нескольких тысяч километров. В этот период получила бурное развитие техника коротковолновой части радиодиапазона.

К концу XIX века в результате экспериментов были открыты явления фотоэффекта и изобретена осциллографическая трубка. Эти и другие открытия подхватывались в научном мире и использовались другими исследователями для проведения дальнейших исследований. Российский физик Б.Л. Розинг вел опыты по передаче изображений с помощью электронно-лучевой трубки. В 1907 году он получает Российский патент на метод «электрической передачи изображений».

Преобразование оптического изображения в электрический ток осуществлялось им с использованием фотоэлемента. Оптическая система с подвижными зеркалами позволяли последовательно, строчка за строчкой, просканировать изображение (получить развертку изображения). При последовательном обходе каждой строчки изменение яркости каждого элемента изображения преобразуется в изменение электрического тока. Этот ток на приемной стороне поступает на модулятор электронно-

лучевой трубки, вызывая изменение яркости пятна, светящегося на экране.

Для воспроизведения на экране точно такого же изображения, как и на передающей стороне, Б.Л. Розинг применил развертывающее устройство приемной трубки, работающее синхронно с развертывающим устройством передающей стороны. В качестве развертывающих устройств электронно-лучевой трубки он использовал отклоняющие катушки. В первых опытах развертка состояла из 12 строк, но к 1912 году Б.Л. Розинг разработал все основные элементы передачи изображений с использованием черно-белых трубок, и его патент был признан в странах Европы и Америки.

В первых телевизионных устройствах развертку изображения осуществляли механическим способом, при этом и количество элементов разложения в кадре были невысокими. Механическое телевидение для передачи по радио использовало длинноволновый участок диапазона и обеспечивало устойчивое изображение лишь нескольких десятков строк при размере экрана, не превышающем нескольких квадратных сантиметров. Электронное телевидение, обеспечивающее лучшее качество изображения, появилось уже незадолго перед Второй мировой войной.

Возросшие к тому времени потоки передачи информации потребовали новых подходов к построению систем связи. После окончания Второй мировой войны в разных странах строятся сети радиорелейных линий с высокой пропускной способностью. Радиорелейные линии представляют собой цепочку приемопередающих устройств со своими антеннами, позволяющими усиливать сигналы по мере их затухания в процессе распространения. Такие сети строились для организации многоканальной телефонной связи между городами и для передачи программ телевизионного вещания.

Изобретение транзистора в 1948 году определило перевод «ламповой» электроники на твердотельную основу. Это позволило снизить энергопотребление, уменьшить габариты и вес устройств связи, повысить надежность их работы.

Со второй половины пятидесятых годов начинается эпоха космических полетов. На всех этапах ее развития средства связи решали разнообразные задачи. Во-первых, разрабатывались

средства радиосвязи, телеметрии и радиоуправления, способные выполнять свои задачи в тяжелых эксплуатационных режимах (механические перегрузки, перепады температур, радиационное излучение и т.д.). Кроме того, к средствам связи подвижных объектов предъявляют дополнительные требования по ограничению веса, габаритов, энергопотребления.

Во-вторых, а по значимости, возможно, и во-первых, спутники, помещенные на околоземную орбиту, способны выполнять обязанности радиорелейных станций с высотой поднятия антенны в сотни километров над поверхностью земли. Это дает возможность охвата радиосвязью значительных территорий, поскольку радиоволны сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона, способные переносить широкополосные сигналы, распространяются, в основном, в пределах прямой видимости. Так, в поле зрения спутника связи, выведенного на геостационарную орбиту, находится почти треть территории поверхности Земли.

В последующие годы спутниковые системы связи нашли широкое применение не только для создания национальных, но и международных систем связи. Эти системы имеют различные принципы построения в зависимости от характера выполняемых задач. Так, могут различаться орбиты спутников для обслуживания приполярных и экваториальных областей земной поверхности. В силу ряда своих особенностей широкое распространение получили спутники с геостационарной орбитой. Эти спутники практически «висят» над определенной точкой экватора и поэтому видны под постоянным углом с большей части поверхности Земли, за исключением приполярных районов. Это упрощает построение антенных систем, использующих спутники с геостационарной орбитой, что может быть использовано для непосредственного приема сигнала телевизионного вещания.

Отрасль связи, использующая спутниковые системы, на данном этапе получает дальнейшее развитие, так же, как и другое современное направление развития телекоммуникаций – мобильная связь. Под мобильной связью понимают организацию обмена информацией между средствами радиосвязи, установленными на подвижных объектах. Тенденции развития мобильной связи позволяют выделить следующие ее направления:

- профессиональные системы подвижной связи;

- системы сотовой подвижной связи;
- системы персонального радиовызова;
- системы беспроводных телефонов.

2.3 Из истории развития радиосвязи и радиовещания на Томской земле

К концу XIX века в Томске уже были открыты императорский Сибирский университет и технологический институт, внесшие значительный вклад в развитие радиосвязи в Сибири и, в частности, в Томске.¹ Так, уже в 1896 году руководитель экспедиции для наблюдения солнечного затмения в устье Енисея профессор Томского университета Ф.Я. Капустин в числе других приборов, регистрирующих различные физические характеристики, сопутствующих этому явлению, использовал грозоотметчик А.С. Попова.

Уже к началу двадцатых годов в разных городах Томской губернии² было установлено 5 приемных радиостанций. Для подготовки радиоспециалистов в 1923 году в Томском государственном университете была открыта электромагнитная специализация и организована радиолaborатория. Под руководством будущего профессора университета сотрудники радиолaborатории и студенты исследовали прохождение коротких волн. Также первую в Сибири радиолобительскую антенну установил томич А.С. Баландин в 1921 году. Он уже, будучи студентом университета, в 1924 году участвовал в организации первой в Сибири радиовещательной станции (мощность 10 Вт, длина волны 8000 м). Он же сконструировал электродинамический громкоговоритель и впервые в Сибири радиофицировал большие аудитории.

В 1925 года начала работать первая в Сибири коротковолновая радиостанция для исследования распространения радиоволн на трассе Томск – Нижний Новгород. Результаты этих ис-

¹ В данном разделе использованы материалы из книги «История электросвязи Томской области». – Томск: Изд-во «Спектр», 2000. – 400 с.

² В Томскую губернию в то время входили территории современных Новосибирской, Кемеровской и Томской областей и Алтайского края.

следований использовались для составления графиков работы коротковолновых радиостанций СССР. Прием сигналов университетской радиостанции был зафиксирован радиоприемниками многих стран мира.

С 1926 года стали регулярными передачи Томской радиовещательной станции, что дало новый импульс массовому радиолюбительству в Томске. Томские радиолюбители установили связь с радиостанциями многих стран мира. Так, в 1928 году В.Г. Денисов установил связь с экспедицией У. Нобиле на дирижабле к Северному полюсу и передавал для нее метеосводки.

Сигналы более мощной радиовещательной станции с 1928 года принимались уже и в соседних областях вплоть до открытия в Новосибирске мощной радиостанции в 1937 году. Для массовой радиофикации населения с 1929 года начала развиваться сеть радиоретрансляционных узлов. В 1930 году в Томском государственном университете открылась кафедра электромагнитных колебаний.

Сигналы более мощной радиовещательной станции с 1928 года принимались уже и в соседних областях вплоть до открытия в Новосибирске мощной радиостанции в 1937 году. Для массовой радиофикации населения с 1929 года начала развиваться сеть радиоретрансляционных узлов. В 1930 году в Томском государственном университете открылась кафедра электромагнитных колебаний.

С первых в Советском Союзе опытов телевизионных передач в 1931 году к ним подключились Томские радиолюбители. Аспирант СФТИ В.Г. Денисов в 1931 году организовал радиовизорную (позднее телевизионную) секцию. Томская радиовещательная станция совместно с радиовизорной секцией начала вести опытные передачи изображений из лаборатории СФТИ.

Осенью того же года начали прием движущихся изображений из Москвы. Телевизионная установка из СФТИ использовалась и для других научных исследований, в частности, для регистрации солнечного затмения 1936 года.

Первые передачи электронного телевидения были прерваны Великой Отечественной войной, но с 1945 года возобновил свои передачи Московский телецентр, с 1947 года – Ленинградский телецентр, затем Киевский. Для передачи широкополосных те-

левизионных сигналов использовались более короткие метровые волны, способные распространяться лишь в пределах прямой видимости. Для охвата населения всей страны телевизионным вещанием требовалось построить сеть передающих телевизионных центров. В трудные послевоенные годы государственное телевидение развивалось медленными темпами, и не было способно обеспечить телевизионным вещанием большую часть страны. В этих условиях харьковские радиолюбители разработали и построили первый в Советском Союзе любительский телецентр. Для обмена опытом создания собственных телецентров в числе делегаций из других городов в Харькове побывали и Томские радиолюбители.

С учетом опыта создания Харьковского телецентра энтузиасты разработали схему Томского телецентра и приступили к его созданию. Работы велись, в основном, силами сотрудников и студентов политехнического института в физическом корпусе ТПИ, и в 1952 году был собран первый передатчик телевизионных сигналов мощностью 20 ватт. Позднее был изготовлен телевизионный приемник, и в конце этого же года была проведена пробная телевизионная передача. С этого момента началась история первого в Сибири и пятого в Союзе телецентра. В следующем году передачи любительского телецентра ТПИ стали регулярными, повысились качество изображения и звука, перешли к стандартной развертке 625 строк.

Регулярные передачи любительского телецентра велись вплоть до открытия городского телецентра. К этому времени в Томском политехническом институте была организована телевизионная лаборатория под руководством доцента В.С. Мелихова. Силами этой лаборатории и было организовано и изготовлено оборудование городского телецентра.

Опыт Томска в создании собственного телецентра был использован для построения телецентров десятков городов Сибири и Средней Азии. Томичи помогали как проектировать телецентры соседних городов, так и изготавливать для них необходимое оборудование.

Развивался телецентр и в самом Томске. В 1968 году была сооружена новая антенна высотой 180 метров, при этом расширился район уверенного приема телевизионных сигналов, повы-

силось качество изображения и звука. Вводились в строй новые радиорелейные линии, в том числе и магистральные (до трассы Москва–Хабаровск, 1968 г.). На территории области установлено около 400 ретрансляторов спутниковой связи телевизионного вещания. С 1975 г. начались регулярные передачи цветного телевизионного вещания.

2.4 Из истории ТУСУРа

В середине XX века в Томске сформировалось несколько коллективов, занимающихся проблемами радиотехники и связи: в Томском государственном университете на физико-математическом факультете работала научная школа радиофизики, в Томском политехническом институте – школа электроэнергетики, в Томском электромеханическом институте инженеров железнодорожного транспорта – кафедра электросвязи.

В 1945 году в Томском политехническом институте в составе нового электрофизического факультета открывается первая за Уралом кафедра радиотехники. В 1950 году из электрофизического факультета ТПИ выделился радиотехнический факультет (РТФ) в составе кафедр радиотехники, электровакуумной техники и кабельной техники. Потребности народного хозяйства и научно-технической революции, достижения в научной и учебной деятельности коллективов кафедр РТФ подготовили почву для создания в Томске первого в Сибири вуза радиотехнического профиля.

В 1962 году был образован Томский институт радиоэлектроники и электронной техники (ТИРиЭТ) и с 1 сентября в новом вузе начались занятия. В составе ТИРиЭТа было образовано 4 факультета: радиотехнический, электронной техники, радиоправления и факультет вечернего и заочного образования, в которые входили 22 кафедры различного профиля. В первые годы обучение в новом вузе велось на площадях переведенного в Омск электромеханического института инженеров железнодорожного транспорта. В последующие годы были введены в эксплуатацию ряд новых учебных корпусов и общежитий для студентов и аспирантов. В первые 10 лет становления в ТИРиЭте были организованы 4 новые кафедры. В последующие годы

также наблюдался устойчивый рост качественных и количественных показателей учебной и научной деятельности вуза, раскрывались новые горизонты.

С расширением подготовки специалистов в области управления в 1971 году ТИРиЭт был переименован в Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники (ТИАСУР). Высокое качество деятельности вуза неоднократно подтверждалось результатами аттестаций, по итогам которых в 1993 году ТИАСУР был реорганизован в Томскую академию систем управления и радиоэлектроники (ТАСУР).

При сохранении высокого качества подготовки по традиционным специальностям, вуз непрерывно расширяет перечень специальностей по подготовке высококвалифицированных кадров. Оценкой деятельности вуза стало преобразование ТАСУРа в 1997 году в Томский университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР).

В настоящее время ТУСУР представляет собой мощный учебно-научный комплекс. Томский университет систем управления и радиоэлектроники – один из ведущих вузов Российской Федерации – ведет подготовку инженеров и дипломированных специалистов по более чем 30 специальностям магистральных направлений научно-технического прогресса в области систем управления и радиоэлектроники. Студенты очной формы обучения занимаются на 7 факультетах университета. Другие формы обучения представляют вечерний и заочный факультет и Томский межвузовский центр дистанционного образования. В составе университета работают 5 научно-исследовательских институтов. В университете успешно работают аспирантура и докторантура, Советы по защите докторских и кандидатских диссертаций. Вневузовскую подготовку ведет институт дополнительного образования.

Радиотехнический факультет является одним из старейших и крупнейших подразделений ТУСУРа. Прямым его предком является радиотехнический факультет Томского политехнического института, это был первый радиотехнический факультет в азиатской части нашей страны. Кафедра «Радиотехника», входившая в состав РТФ, в 1952 году была разделена на кафедру теоретических основ радиотехники и кафедру радиотехнической

аппаратуры. В 1962 году радиотехнический факультет ТПИ был переведен в ТИРиЭт, где и получил дальнейшее развитие.

В настоящее время в состав РТФ входит 6 профилирующих кафедр: теоретических основ радиотехники (ТОР), радиотехнических систем (РТС), радиоэлектроники и защиты информации (РЗИ), сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР), средств радиосвязи (СРС) и телевидения и управления (ТУ). Кафедры РТФ ведут подготовку кадров профессионального высшего образования по 13 специальностям: «Радиотехника», «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», «Средства связи с подвижными объектами», «Радиоэлектронные системы», «Защищенные системы связи», «Физика и техника оптической связи», «Организация и технология защиты информации», «Комплексная защита объектов информации», «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», «Аудиовизуальная техника», «Бытовая радиоэлектронная аппаратура», «Сервис электронных средств безопасности», «Антикризисное управление».

Профилирующей по специальности «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» является кафедра ТОР, которая также является выпускающей по специальности «Радиотехника». Преподаватели кафедры ведут занятия по дисциплинам в области телекоммуникаций и сетевых технологий. Кроме того, кафедра ТОР обеспечивает изучение базовых общеинженерных дисциплин «Основы теории цепей» и «Радиотехнические цепи и сигналы» для всех специальностей радиотехнического факультета.

Одно из бывших подразделений кафедры ТОР – научно-производственная фирма «Микран» – в настоящее время является одним из ведущих в России производителем различного оборудования радиорелейных и спутниковых систем связи. Другое перспективное научное направление развивает подразделение кафедры ТОР – лаборатория радиооптики: разработка систем и устройств связи с использованием шумоподобных сигналов, обладающих высокой помехозащищенностью и скрытностью передачи.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ СВЯЗИ

3.1 Основные понятия и определения в области связи

Современный этап развития науки и техники характеризуется бурным развитием информационных технологий, в которых заметное место отводится передаче информации. Под информацией понимают набор сведений о каких-либо процессах, событиях, фактах или предметах. Человек получает информацию через органы чувств (зрения, слуха и т.д.), и физиологические возможности человека не позволяют обеспечивать передачу больших объемов информации на значительные расстояния.

Технические средства, обеспечивающие передачу и прием информации, объединяют понятием *связь* (от лат. *communication* – связь, телекоммуникации – средства для организации связи на расстоянии). В соответствии с характером применяемых технических средств связь разделяют на почтовую и электрическую (электросвязь).

В теории связи совокупность сведений, предназначенных для передачи и представленных в определенной форме, называют *сообщением*. Так, сообщением является текст письма, телеграммы, объявления, передачи по радио или телевидению и т.д. В качестве материального носителя для передачи сообщений в технике связи используют различные знаки (символы). Это могут быть буквы, цифры и другие знаки текстового сообщения, специальные знаки на различных схемах и диаграммах, например, знаки дорожного движения и так далее. В технике электросвязи каждому сообщению ставится в соответствие набор электрических *сигналов*.

Сигнал – это физический процесс, отображающий передаваемое сообщение. Соответствие процесса передаваемому сообщению обеспечивается изменением какой-либо физической величины, характеризующей этот процесс. Различают телеграфные сигналы, сигналы речи, видеоизображения либо данных для компьютерных систем и т.д. Таким образом, под электросвязью понимают передачу информации посредством электрических сигналов.

В настоящее время отрасли телекоммуникаций развиваются стремительными темпами. С модернизацией техники улучшается качество традиционных услуг электрической связи, появля-

ются новые. В связи с этим устаревают устоявшиеся классификации видов электрической связи, появляются новые элементы классификации, изменяются границы между прежними элементами классификации.

Одна из возможных классификаций *видов электрической связи* может быть связана с характеристиками передаваемых сообщений и приведена на рисунке 3.1 [4]. По характеру воз-



Рис. 3.1 – Характеристики передаваемых сообщений

действия передаваемых сообщений на органы чувств виды электрической связи можно разделить на предназначенные для передачи *звуковых* или *оптических* сообщений (то есть, воспринимаемые органами слуха либо зрения). В зависимости от задержки доставки передаваемых сообщений виды электрической связи классифицируют: для работы в *реальном времени* и осуществляющие *отложенную доставку* сообщений. В зависимости от степени охвата и назначения сообщений все виды электрической связи могут быть разделены на предназначенные для передачи: сообщений *индивидуального* характера (конкретному абоненту), либо сообщений *массового* характера (широкому кругу пользователей).

В зависимости от среды распространения сигналов различают проводную электросвязь, в которой сигналы распространяются по проводам и электрическим и оптическим кабелям, и беспроводную электросвязь с использованием радиосигналов. Некоторые из основных видов электросвязи: телефонная, телеграфная, факсимильная, передача данных, радиосвязь, радиовещание и телевидение.

Классифицировать системы электросвязи можно и по другим признакам. В то же время в современную эпоху проявляется тенденция объединения видов электросвязи в единую интегрированную систему. Основой объединения является преобразование сигналов любого вида в цифровую форму с последующей передачей по системам связи универсальных цифровых сигналов.

Наглядным примером универсального использования цифровых сигналов для передачи сообщений любой природы являются компьютерные технологии, совмещающие одновременную передачу, как тестовых документов, так и визуальных изображений и голосовых сообщений.

3.2 Обобщенная структурная схема системы связи

Совокупность технических средств для передачи сообщений от источника к потребителю называется *системой связи*. Обязательными компонентами любой системы связи независимо от вида передаваемых сообщений являются передающее уст-

ройство, линия связи и приемное устройство. Иногда в понятие «система связи» включаются источник и потребитель сообщений.

Обобщенная структурная схема системы связи приведена на рис. 3.2. Сообщение $a(t)$ от источника *ИС* сообщений поступает на *передающее устройство*, состоящее из первичного преобразователя *ПСС* сообщения в первичный электрический сигнал $b(t)$, и модулятора *МД*, обеспечивающего вторичное преобразование этого сигнала в сигнал $s(t)$ для наилучшей его передачи по линии связи. *Линией связи ЛС* называется среда, используемая для передачи сигналов от передатчика к приемнику (кабель, волновод или область пространства, в котором распространяются электромагнитные волны от передатчика к приемнику).

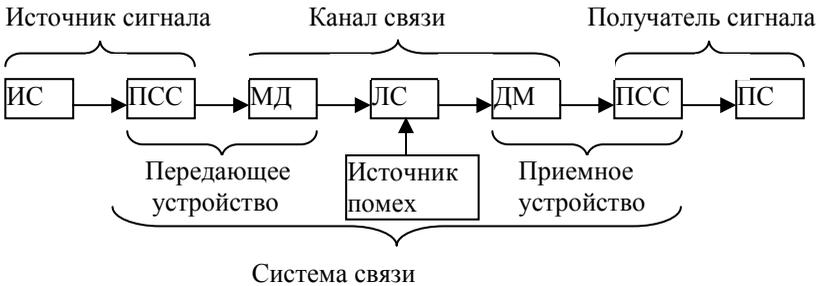


Рис. 3.2 – Обобщенная структурная схема системы связи

Приемное устройство производит обратное преобразование принятого сигнала в сообщение и состоит из демодулятора *ДМ* и преобразователя *ПСС* сигнала в сообщение. Отличия параметров системы связи от желаемых характеристик приводят к искажениям передаваемого сигнала. Кроме того, в любом узле системы передачи, но главным образом на линии связи, присутствуют помехи, поэтому сигнал на входе приемника $s_1(t)$ отличается от переданного сигнала на выходе передатчика. Приемное устройство обрабатывает принятое колебание и восстанавливает по нему электрический сигнал $b_1(t)$, а следовательно, и сообщение $a_1(t)$, которое реставрируется с некоторой погрешностью.

Система связи называется *многоканальной*, если она обеспечивает передачу нескольких сообщений по одной общей ли-

нии связи (рисунок 3.3). Каждое из передаваемых сообщений с помощью преобразователей *ПСС* преобразуется в отдельные электрические сигналы, которые затем смешиваются в аппаратуре уплотнения (*АУ*). Сформированный таким путем групповой сигнал и обработанный дополнительно в передающем устройстве *МД* передается по линии связи. Приемник осуществляет обратное преобразование принятого колебания в исходный групповой сигнал, из которого затем с помощью устройства разделения (*УР*) выделяются индивидуальные сигналы (преобразуемые в соответствующие сообщения в преобразователях *ПСС*).

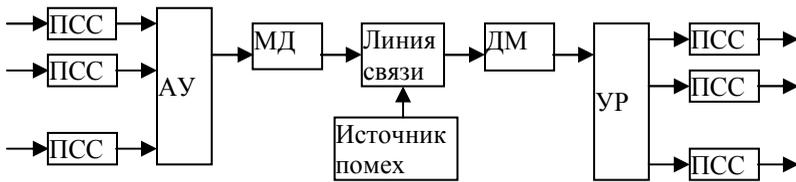


Рис. 3.3 – Структурная схема многоканальной системы связи

Для того, чтобы разделить передаваемые сигналы на приемном конце, необходимо, чтобы они различались между собой по некоторому признаку. В практике многоканальной связи преимущественно применяют частотный и временной способы разделения сигналов. При частотном разделении каналов каждому из индивидуальных сигналов выделяется отдельный диапазон частот в общей полосе частот. При временном разделении каналов каждому из каналов связи выделяется определенный интервал времени в каждом цикле передачи коллективного сигнала. В последнее время все более широкое распространение получает способ кодового разделения каналов. При таком разделении каналов все каналы могут занимать одновременно общие и частотный и временной ресурс системы связи. Для разделения каналов в этом случае используется разделение каналов по форме сигналов (в цифровых системах связи – по коду сигналов).

3.3 Основные характеристики сигналов электросвязи

Для классификации применяемых в связи сигналов можно использовать различные признаки: по способу описания модели сигнала, по степени предсказуемости этого сигнала и т.д.

По способу описания математической модели сигналы разделяют на непрерывные и дискретные. Сигналы, заданные на непрерывном множестве точек по оси времени, называются *непрерывными*, а сигналы, заданные не на всей оси времени, а только в отдельных ее точках, называются *дискретными* (прерывистыми) по времени. Сигналы, определенные на непрерывном множестве точек по уровню, называются *аналоговыми*, а сигналы, которые по уровню могут принимать значения только в отдельных ее точках, называются *квантованными* по уровню.

Сигналы могут быть дискретными одновременно и по времени и по уровню. Каждое дискретное значение такого сигнала можно пронумеровать числами с конечным количеством разрядов. Сигналы, поведение которых можно описать последовательностью чисел, называют *цифровыми*.

На рисунке 3.4 приведены некоторые виды сигналов. Непрерывный по времени и по уровню сигнал $s(t)$ изображен на рисунке 3.4,а. Отсчеты (также говорят выборочные значения, или просто выборки) этого сигнала $s(nT)$ в моменты времени $t = nT$, где n – любое целое число, T – период дискретизации; представляют собой дискретизированный сигнал и приведены на рисунке 3.4,б. Округленные значения этих отсчетов $s_{кв}(nT)$ показаны на рисунке 3.4,в. Округление можно выполнять различными способами. За результат округления можно принимать величину, соответствующую либо началу, либо концу, либо середине того интервала, внутрь которого попадает значение сигнала. Но любой алгоритм квантования предполагает определение того интервала, в какой попадает значение квантуемого сигнала.

Для приведенного на этих рисунках сигнала видно, что отсчет с номером $n = 0$ попадает в интервал уровней сигнала с номером 0; отсчет с номером $n = 1$ попадает в интервал с номером 2. Последующие отсчеты сигнала с номерами 2, 3, 4, 5 попадают в интервалы уровней с номерами, соответственно, 3, 2, 1, 1.

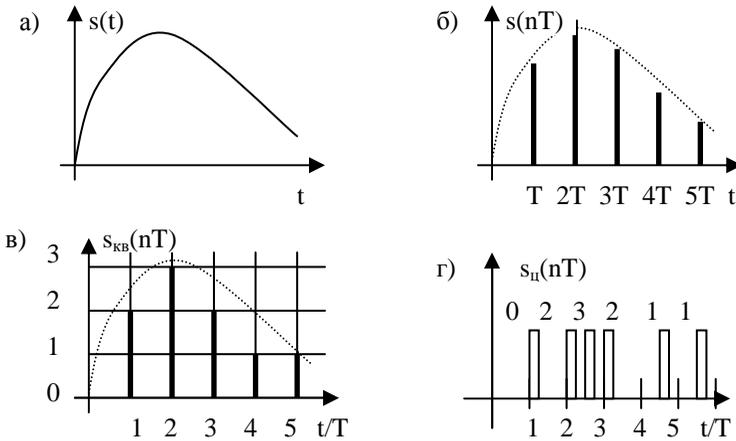


Рис. 3.4 – Виды сигналов: а) непрерывный аналоговый; б) дискретный по времени непрерывный по уровню; в) дискретный по времени квантованный по уровню; г) цифровой сигнал

Номера этих интервалов кодируются, например, двоичным кодом. Тогда десятичные цифры 0, 1, 2, 3 в двоичном виде будут представлены набором цифр, соответственно, 00, 01, 10, 11. Если двоичную цифру 1 представить наличием импульса на определенном временном интервале, а двоичную цифру 0 – отсутствием импульса, то последовательность импульсов, несущая информацию об округленном значении отсчетов, и будет являться цифровым сигналом $s_{д}(nT)$.

По степени предсказуемости сигналы различаются на детерминированные и случайные. *Детерминированным* называется сигнал, который полностью предсказуем, то есть все параметры которого заранее и достоверно известны. *Случайным* называется сигнал, у которого хотя бы один из параметров заранее не может быть в точности предсказан. С информационной точки зрения детерминированный сигнал соответствует заранее известному сообщению и поэтому не несет новой информации. Переносчиком сообщения, содержащего информацию, может быть только случайный сигнал. В то же время детерминированные сигналы в системах связи играют не менее заметную роль:

они отображают эталонные сигналы, несущие колебания, фрагменты сигналов, формируемых на передающем конце, и т.д. Да и при анализе функционирования приемного оборудования систем связи нередко полагают, что принимается сигнал известной формы, но с неизвестными параметрами.

В качестве основных параметров сигнала в системах связи используют длительность сигнала, его динамический диапазон и ширину спектра. Под длительностью сигнала T_C понимают интервал времени, в пределах которого сигнал существует. Динамический диапазон сигнала D_C определяется отношением наибольшей мгновенной мощности сигнала к наименьшей мощности принимаемого сигнала при заданном качестве передачи (обычно выражается в децибелах). Ширина спектра сигнала F_C определяет диапазон частот, в котором сосредоточена основная доля энергии сигнала, которая дает представление о скорости изменения сигнала внутри интервала его существования. Сигналы конечной длительности содержат спектральные составляющие на неограниченной полосе частот. Однако для любого сигнала можно указать диапазон частот, в пределах которого сосредоточена его основная энергия. Этим диапазоном и определяется ширина спектра сигнала. Используются и интегральные характеристики: база сигнала $V_C = T_C F_C$ и объем сигнала $V_C = T_C F_C D_C$.

Объем сигнала V_C 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.

3.4 Каналы электрической связи

Каналом связи называется совокупность средств, обеспечивающих передачу сигнала от некоторой точки передатчика до некоторой точки приемника. Часть передающего устройства, не входящая в канал, является источником сигнала для этого канала и в одной системе связи можно выделить различные точки входа в разные каналы.

Канал называется *непрерывным*, если входные и выходные сигналы канала являются непрерывными, и *дискретным* – если сигналы, поступающие на вход канала и снимаемые с его выхода, являются дискретными. Встречаются также *дискретно-непрерывные* и *непрерывно-дискретные* каналы, на вход которых поступают дискретные сигналы, а с выхода снимаются непрерывные, или наоборот. Отметим, что канал может быть дискретным или непрерывным независимо от характера передаваемых сообщений. Более того, в одной и той же системе связи можно выделить как дискретный, так и непрерывный каналы. Все зависит от того, каким образом выбраны точки входа и выхода из канала.

Канал связи можно характеризовать так же, как и сигнал, тремя параметрами: временем T_K , в течение которого по каналу ведется передача; полосой пропускания канала F_K и динамическим диапазоном D_K . Под динамическим диапазоном канала понимают отношение допустимой мощности передаваемого сигнала к мощности помехи, неизбежно присутствующей в канале. Типы каналов, по которым передаются сообщения, многочисленны и разнообразны. Широко применяются каналы проводной связи, коротковолновой радиосвязи с использованием отражения от ионосферы, ультракоротковолновой связи ионосферного и тропосферного рассеяния, метеорной связи, космической связи и т. п. Характеристики этих каналов значительно отличаются друг от друга.

Обобщенной характеристикой непрерывного канала является его емкость (объем): $V_K = T_K F_K D_K$.

Необходимым условием неискаженной передачи по каналу сигналов с объемом V_C должно быть

$$V_C \leq V_K. \quad (3.1)$$

Для согласования сигнала с каналом осуществляют вторичное преобразование первичного сигнала. В простейшем случае сигнал согласуют с каналом по всем трем параметрам, т.е. добиваются выполнения условий:

$$T_C \leq T_K; \quad F_C \leq F_K; \quad D_C \leq D_K. \quad (3.2)$$

При этих условиях объем сигнала полностью «вписывается» в объем канала. Однако неравенство (2.1) может выполняться и тогда, когда не выполнены одно или два из неравенств (2.2).

Это означает, что можно производить «обмен» длительности на ширину спектра или ширину спектра на динамический диапазон и т.д. Например, записанный на пленку сигнал можно воспроизводить с пониженной скоростью. При этом диапазон частот исходного сигнала уменьшится во столько раз, во сколько увеличится время передачи. Принятый сигнал также записывается на пленку, а затем воспроизводится с повышенной скоростью для восстановления исходного сигнала. Записанный сигнал можно передавать также и с повышенной скоростью. Широко используется также обмен динамического диапазона на полосу пропускания. Так, использование помехоустойчивых широкополосных видов модуляции позволяет передать сообщение по каналам с увеличенным уровнем помех. Но это требует полосы пропускания канала более широкой, чем спектр сообщения.

По способу распространения электромагнитной энергии различают каналы с открытым и закрытым распространением. В каналах с закрытым распространением электромагнитные колебания распространяются по направляющим линиям (проводные, кабельные, волноводные тракты и т.п.). В каналах с открытым распространением используются радиоволны в диапазоне частот от 30 до $30 \cdot 10^{12}$ Гц.

3.5 Общие сведения о сетях связи

Сети связи – совокупность технических средств, обеспечивающих передачу и распределения сообщений. В зависимости от того, имеются или отсутствуют в сети специальные устройства коммутации, различают коммутируемые и некоммутируемые сети. Правила построения сетей зависят от способа распределения и вида передаваемых сообщений.

Среди некоммутируемых сетей наиболее часто встречаются следующие способы организации сетей: «общая шина» (рисунок 3.5,а), «кольцо» (рисунок 3.5,б), полносвязная сеть («каждый с каждым») (рисунок 3.5,в). Подобные конфигурации наиболее характерны для компьютерных сетей.

Каждый из способов организации сетей имеет свои достоинства и недостатки. Так, в структурах общая шина и кольцо все участники сети используют общую среду распространения сиг-

налов и имеют уникальные признаки, характерные только данному абоненту и называемому адресом. Этот адрес обязательно имеется в передаваемом сообщении, и по этому адресу принимающая сторона судит о том, ей или другому участнику сети предназначено это сообщение.

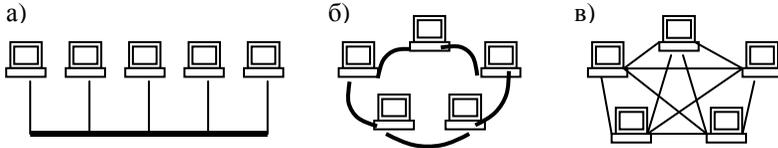


Рис. 3.5 – Некоммутируемые сети: а) общая шина; б) кольцо; в) полносвязная сеть

Достоинством таких сетей является простота организации. Недостатки подобных структур заключаются в следующем. При обрыве линии связи в любом месте связь становится невозможной для целой группы пользователей. Кроме того, в таких сетях в любой момент времени может передавать сообщение только одна пара участников сети.

Организация сети по принципу «каждый с каждым» требует значительно большего количества соединительных линий. Но зато сеть отличается наилучшей оперативностью: в любой момент времени может быть установлена связь любой пары абонентов. В целом, такая сеть является более надежной: выход из строя одной линии вызовет нарушение связи только одной пары абонентов. Остальные участники сети будут продолжать работать в прежних условиях.

По указанным причинам перечисленные выше структуры организации сетей наиболее эффективно работают лишь при небольшом числе абонентов. С увеличением количества абонентов возрастает сложность организации таких сетей, либо уменьшается время, доступное каждому из абонентов для использования общих ресурсов, либо с ростом числа абонентов стремительно возрастает количество и длина линий, их соединяющих.

При увеличении количества участников сети наиболее эффективными оказываются коммутируемые сети. В таких сетях

узлов коммутации и соединительных линий. Электрическая цепь (канал), состоящая из нескольких участков, называется *соединительным трактом*.

Процесс выбора электрических цепей и объединение их в соединительный тракт называется *коммутацией каналов*. Сеть, обеспечивающая коммутацию каналов, называется сетью с коммутацией каналов. После установления соединения в такой сети информация от источника к получателю поступает в реальном времени с учетом лишь физических задержек распространения сигнала по цепи. Это является достоинством таких сетей. Недостаток данного режима работы сети заключается в следующем. Пока общий ресурс сети (узлы коммутации и соединительные линии) занят одной парой пользователей сети, другие абоненты не могут в этот интервал времени воспользоваться сетью, даже в том случае, если по ней не передается никакой информации.

В сетях связи возможны и другие режимы работы. Передачу документальных сообщений можно выполнять не только после установления всего соединительного тракта («из конца в конец»), а поэтапно, от одного узла коммутации к другому. В каждом последующем узле принятое сообщение становится в очередь и отправляется к очередному узлу по мере освобождения линии. Такая организация доставки информации называется коммутацией сообщений, а сеть, обеспечивающая коммутацию сообщений, называется сетью с коммутацией сообщений. «Простои» соединительных линий в такой сети оказываются менее продолжительными, и в целом такая сеть может передать больший объем информации.

Вариантом сети с коммутацией сообщений является сеть с *коммутацией пакетов*. В такой сети отправляемые сообщения разбиваются на блоки (пакеты) фиксированного размера. По сети каждый такой пакет передается как самостоятельное сообщение. В месте приема исходное сообщение восстанавливается из набора полученных пакетов. Эффективность такого режима работы сети оказывается еще выше. На практике наиболее часто используют методы с коммутацией каналов и коммутацией пакетов.

По иерархическим признакам (масштабу охвата территории и количеству участников) сети разделяются на *глобальные* (все-

мирные) и *региональные* (национальные, зональные или местные). Примерами глобальных сетей являются компьютерные сети Internet, сети сотовой связи GSM и т.д. Региональные сети обслуживают территорию соответствующего региона. Компьютерные сети по этому признаку классифицируют на глобальные сети и локальные сети.

По функциональным признакам сети связи разделяются на сети передачи (магистральные сети), сети распределения (системы коммутации) и сети управления.

По виду передаваемых сообщений сети разделяются на: телефонные сети, телеграфные сети, радио и телевизионные вещательные сети, сети сотовой связи, сети передачи дискретных сообщений, сети передачи газет и т.д.

Телефонная сеть является одной из наиболее разветвленных сетей и строится по радиально-узловому принципу. Оконечными устройствами телефонной сети являются телефонные аппараты и факс-модемы.

Телеграфная сеть также строится по радиально-узловому принципу с учетом административного деления страны. Оконечными устройствами телеграфной сети являются телеграфные аппараты отделений связи либо других пользователей.

Сети сотовой связи также строятся по радиально-узловому принципу с учетом особенностей распространения радиоволн.

Сети передачи дискретных сообщений имеют схожую структуру и являются одним из наиболее динамично развивающихся участников процесса передачи информации.

Сети передачи газет обеспечивают передачу газетной информации факсимильным способом.

Важнейшими сетями передачи массовых сообщений являются *сети вещания*. *Вещание* – это процесс одновременной передачи сообщений общего характера широкому кругу абонентов при помощи технических средств связи.

Вещательная программа представляет собой последовательную во времени передачу различных сообщений. Технология вещания включает в себя как подготовку вещательных программ, так и доведение этих программ до абонентов. Основными требованиями к сетям вещания являются высокое качество

передаваемых программ, надежность и экономичность при охвате вещанием всего населения страны.

Сети *радиовещания* и *телевизионного вещания* строятся по радиально-узловому принципу. Распространение программ в сетях радио- и телевизионного вещания осуществляется по каналам связи, разветвление выполняется на специальных узлах. По способу доведения вещательных программ до абонентов различают радиовещание (в том числе и эфирное телевидение) с использованием передающих радио и телевизионных станций и проводное вещание (в том числе и кабельное телевидение).

Зона уверенного приема телевизионного сигнала ограничена пределами прямой видимости между передающей антенной телецентра и приемной антенной абонента. Радиус этой зоны растет с увеличением высоты подъема антенны. Типовые радиопередающие станции с опорами для антенн высотой 200...300 метров обеспечивают зону уверенного приема с радиусом 60...100 километров.

Современной разновидностью эфирного телевидения является спутниковое телевидение с непосредственным приемом на установки, расположенные у абонентов (непосредственное телевидение – НТВ).

4 СИГНАЛЫ И ПОМЕХИ

4.1 Модели радиотехнических сигналов

В современных системах связи используют сложные сигналы (то есть имеющие сложные математические модели, описывающие поведение сигналов) и сложные методы их обработки. В то же время для описания сигналов любой сложности часто используются комбинации элементарных сигналов, модели которых описываются простыми математическими выражениями.

Так, для решения большого числа радиотехнических задач широкое применение находит функция включения (функция Хэвисайда) (рис.4.1.)

$$\sigma(t - t_0) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_0, \\ 1/2 & \text{при } t = t_0, \\ 1 & \text{при } t > t_0, \end{cases} \quad (4.1)$$

где t_0 – задержка включения.

Функция включения (ступенька) является математической абстракцией и в физически реализуемых устройствах в “чистом” виде не встречается. Ее можно рассматривать как предельный переход от ряда аналитических функций, например:

$$\sigma(t) = \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{\pi} \operatorname{arctg}(\lambda t) + \frac{1}{2} \right]. \quad (4.2)$$

С помощью этой функции (набора таких ступенек с разной амплитудой) с разной степенью точности можно описать характер поведения любой зависимости $s(t)$ (рис.4.2), например,

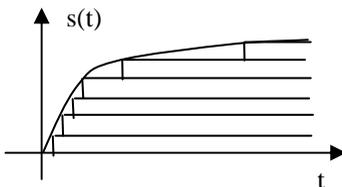


Рис. 4.2 – Динамическое представление сигнала

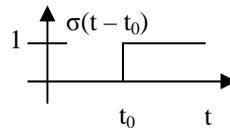


Рис. 4.1 – Функция включения

поведение электрической цепи при включении питания. Понятно, что для более точного описания радиотехнических сигналов нередко требуется уменьшение высоты каждой из используемых ступенек при одновременном увеличении количества самих ступенек.

Другим вариантом модели элементарного сигнала является прямоугольный импульс. Формально он может быть получен путем сложения двух функций включения различных полярностей $\sigma(t - t_1)$ и $-\sigma(t - t_2)$ с различными временами задержек t_1 и t_2 (рис. 4.3).

Вариантом прямоугольного импульса является так называемый дельта-импульс, получаемый при предельном переходе от прямоугольного импульса, у которого с уменьшением длительности импульса, равной $\tau = (t_2 - t_1)$, одновременно увеличивается амплитуда E при сохранении «площади» импульса, определяемой как $S = \tau E$ (рис.4.4)

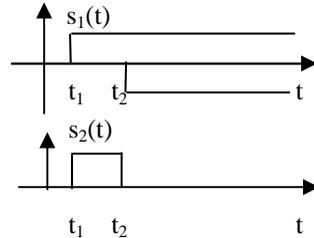


Рис. 4.3 – Формирование прямоугольного импульса

$$\delta(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{1}{\tau} [\sigma(t + \tau/2) - \sigma(t - \tau/2)]. \quad (4.3)$$

Дельта-функция $\delta(t)$ может быть интерпретирована как результат дифференцирования функции включения $\sigma(t)$. Роль дельта-функций при анализе радиотехнических цепей и сигналов также велика, несмотря на то, что и дельта-функция является математической абстракцией. В частности, для определения импульсных характеристик радиотехнических устройств используются импульсные сигналы, длительность которых много меньше длительности реакции цепи на это воздействие.

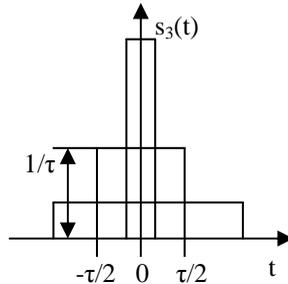


Рис. 4.4 – Переход к дельта-функции

Значительное место в ряду радиотехнических сигналов занимают периодические сигналы (рисунок 4.5), математические модели которых могут быть представлены выражением

$$s(t) = s(t + kT), \quad (4.4)$$

где k – любое целое число, а T – период сигнала (минимальный

интервал времени между повторяющимися значениями сигнала).

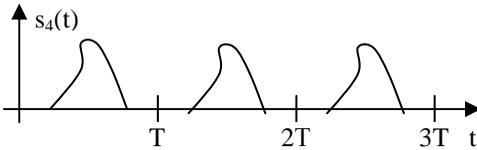


Рис. 4.5 – Периодический сигнал

Периодические сигналы в силу своей регулярности являются хорошей основой для формирования различных тактирующих и синхронизирующих последовательностей, а также могут быть использованы в качестве несущих колебаний для различных видов модуляции.

Одним из наиболее известных периодических сигналов является гармоническая функция

$$s(t) = A \cos(2\pi ft + \varphi) = A \cos(2\pi t/T + \varphi) = A \cos(\omega t + \varphi), \quad (4.5)$$

где A – амплитуда гармонических колебаний;

f – циклическая частота гармонических колебаний (величина, обратная периоду колебаний), $f = 1/T$;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота гармонических колебаний;

φ – начальный сдвиг фазы гармонического колебания.

Здесь и далее значения сигналов в текущий момент времени (мгновенное значение сигналов, например, $s(t)$) будем обозначать строчными буквами, для обозначения амплитуды колебаний будем использовать прописные буквы.

Поведение гармонического колебания во временной области показано на рисунке 4.6. При анализе радиотехнических устройств, кроме временного представления, также используется представление сигналов в частотной области.

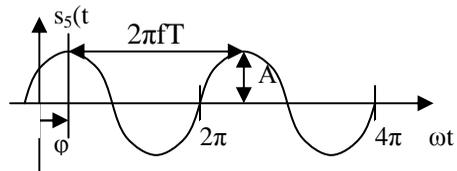


Рис. 4.6 – Гармонический сигнал

Широкое применение гармонического сигнала объясняется универсальностью формы гармонического колебания. Эта универсальность заключается в том, что гармоническое колебание не изменяет свою форму при прохождении через линейные цепи (напомним, что в линейной цепи коэффициенты дифференциального уравнения, описывающего работу этой цепи, постоянны

и не зависят от величины входного сигнала). При прохождении гармонического сигнала через линейную цепь форма (повторяющая синусоидальную зависимость) и частота этих колебаний остаются неизменными, могут измениться только амплитуда и начальная фаза.

4.2 Гармонический анализ и синтез сигналов

Универсальность гармонического колебания заключается также в том, что любой периодический сигнал может быть составлен (в этом случае говорят: синтезирован) только из гармонических колебаний с определенными амплитудами, частотами и начальными фазами. Раздел теории сигналов, который занимается разложением сигналов на гармонические составляющие, называется гармоническим анализом сигналов или Фурье-анализом. Основные положения этой теории заключаются в следующем.

Любой периодический сигнал с периодом T может быть представлен суммированием определенного набора гармонических колебаний с круговыми частотами, равными $\omega_n = n\omega_1 = 2\pi n/T$, где n – номер гармоники (натуральное число). При этом гармонику с номером $n = 1$ называют основной гармоникой, а гармоники с номерами $n > 1$ – высшими гармониками. В общем случае количество таких гармоник может быть бесконечным. Сигнал, представленный суммой гармоник, может быть записан в виде:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t)]. \quad (4.6)$$

Коэффициенты a_n и b_n выражения (4.6) определяются интегрированием сигнала на интервале времени, равном периоду, по правилам

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt, \quad (4.7)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(n\omega_1 t) dt, \quad (4.8)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(n\omega_1 t) dt . \quad (4.9)$$

Представление периодического сигнала в виде набора гармонических составляющих называется спектром. Такое разложение периодического сигнала также называют рядом Фурье. Выражение (4.6) может быть представлено в другой форме:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n) , \quad (4.10)$$

где амплитуда A_n и фаза φ_n n -й гармоники определяются по правилу

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} , \quad (4.11)$$

$$\varphi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n} . \quad (4.12)$$

Графическое представление спектра сигналов выполняют в виде набора вертикальных отрезков, начинающихся на оси абсцисс (на оси частот). При этом положение отрезка на оси абсцисс (от начала координат) отражает частоту соответствующей гармоники, а длина отрезка соответствует амплитуде этой гармоники.

Операция формирования сложного сигнала из набора гармоник называется синтезом сигнала. На практике для синтеза сигналов обычно используют не бесконечный ряд, а ограниченный набор гармоник (его называют усеченным рядом Фурье). Понятно, что если сигнал будет представлен неполным набором гармоник, его форма будет искажена. Одной из задач синтеза сигналов является формирование сигналов с допустимыми искажениями из ограниченного набора гармоник.

В качестве примера рассмотрим формирование сигнала, близкого к прямоугольному, из усеченного ряда Фурье. На рисунке 4.6 представлены сигналы, полученные суммированием первых гармоник, выбранных из полного ряда Фурье. На рисунке 4.6,а пунктиром изображен меандр (симметричный прямоугольный сигнал) $m(t)$, сплошной линией – уровень первой гармоники $a1(t)$, содержащейся в этом сигнале. На рисунке 4.6,б изображен спектр первой гармоники $s1(f)$. Спектр гармониче-

ского (синусоидального) колебания содержит только одну составляющую на частоте $f = f_1 = 1/T$, где T – период колебаний. Периоды исходного прямоугольного сигнала и его первой гармоники совпадают.

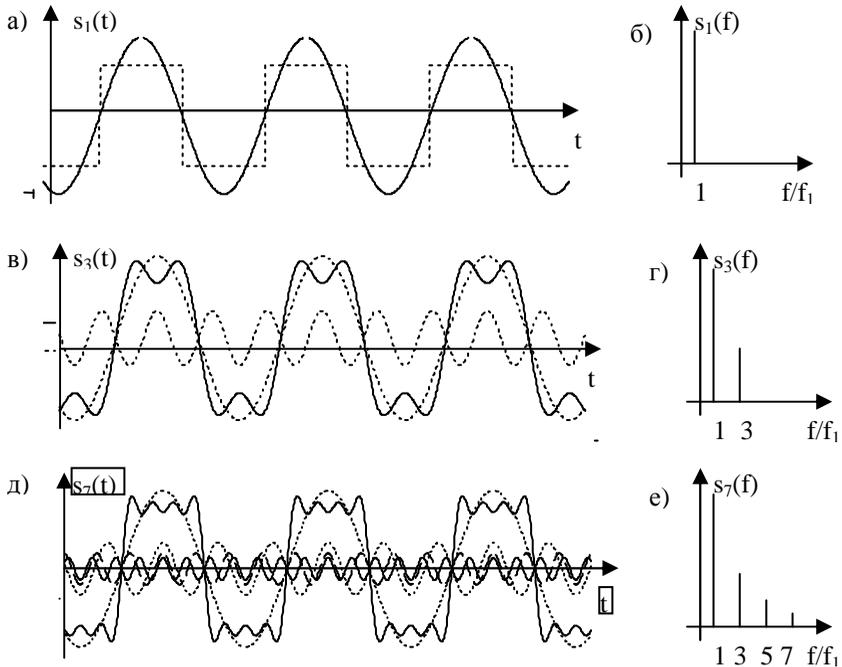


Рис. 4.6 – Формирование прямоугольного сигнала из суммы первых гармоник: а), в), д) – временное представление первых гармоник меандра и их суммы; б), г), е) – спектральное представление соответствующих наборов гармоник

На рисунке 4.6,в пунктиром изображены первая и третья гармоники, содержащиеся в меандре, а сплошной линией – их сумма. Заметим, что у симметричных сигналов (в том числе и у меандра) все гармоники с четными номерами отсутствуют (точнее, их значения равны нулю). Спектры первых трех гармоник приведены на рисунке 4.6,г (уровень второй гармоники равен нулю). На рисунке 4.6,д приведены первые четыре ненулевые гармоники (то есть гармоники с номерами 1, 3, 5 и 7) и их сумма. На рисунке 4.6,е показаны их спектры.

На рисунке видно, что с увеличением количества гармоник форма синтезированного сигнала все более приближается к прямоугольной, а различие между прямоугольной волной и сигналом, образованным суммой гармонических составляющих, становится все меньше.

В заключение следует добавить, что в ряд Фурье можно разлагать только периодические сигналы, для анализа же непериодических сигналов используется аппарат интегралов Фурье.

4.3 Первичные сигналы электросвязи

Системы связи должны быть спроектированы таким образом, чтобы качественно, то есть своевременно и без потерь передавать информацию, содержащуюся в исходном сообщении. Рассмотрим основные характеристики наиболее распространенных видов сообщений: звуковые и оптические.

Звук – это колебательное движение частиц упругой среды, распространяющиеся в виде волн в газообразных, жидких или твердых средах и воспринимаемые органами чувств человека.

Для анализа звука могут быть использованы различные методы. Одной из широко применяемых характеристик звука является его *спектр*, получаемый в результате разложения звука на гармонические составляющие. Человек может слышать звуки в диапазоне частот от 4... 6 Гц до 20 кГц. Частота основной составляющей спектра определяет воспринимаемую на слух высоту звука, а набор гармонических составляющих – тембр звука. Энергетическая характеристика звуковых колебаний определяется звуковым давлением, воспринимаемым человеком как громкость звука.

Источниками звука могут быть любые явления, вызывающие местные изменения давления. В качестве источников звука широко применяются колеблющиеся твердые тела, например, струны и деки музыкальных инструментов, диффузоры громкоговорителей, мембраны телефонов и разнообразные электроакустические преобразователи. В качестве приемников звука используются микрофоны и другие акустоэлектрические преобразователи.

Значительную долю звуковых сообщений представляют сигналы речи. Звуки речи образуются в результате прохождения воздушного потока из легких через голосовые связки и полость рта и носа [7]. Частота колебаний основного тона лежит в пределах от 50... 80 Гц (бас) до 200... 250 Гц (детский и женский голоса). Речь человека кроме основного тона содержит большое количество гармоник (до 49), причем их амплитуды убывают с увеличением частоты.

Энергетический спектр сигнала речи представляет собой усредненное распределение энергии звуковых колебаний в полосе частот. Степень воздействия звука на органы чувств принято оценивать в относительных единицах, вычисляемых как уровень звукового давления:

$$\beta = 10 \lg [P^2(f)/P_0^2], \text{ [дБ]}, \quad (4.13)$$

где $P^2(f)$ – средний квадрат звукового давления, оказываемый гармоническими составляющими звука, расположенными в окрестностях частоты f в полосе частот, равной 1 Гц;

P_0 – порог слышимости (минимальное звуковое давление, которое начинает ощущаться человеком с нормальным слухом на частоте 600... 800 Гц).

Здесь далее в качестве количественных характеристик сигналов и систем связи используется десятичный логарифм отношения двух величин одинаковой размерности. Одна единица такой величины называется Бел (обозначается [Б]) в честь американского ученого Александра Белла. Единица измерения один Бел – это достаточно большая величина, и на практике обычно применяют единицу измерения, в 10 раз меньшую – децибел (обозначается [дБ]).

Энергетические спектры звуковых сигналов: русской и английской речи, приведены на рисунке 4.7. Спектры этих сигналов имеют различия, но максимальные составляющие этих спектров (как и спектры речи других языков) лежат в диапазоне частот 0,6... 1,0 кГц. В общем случае речь представляет собой широкополосный процесс, частотный спектр которого простирается от 50...100 Гц до 8...10 кГц. В результате исследований речи установлено, что вполне удовлетворительное качество речи сохраняется при ограничении спектра частотами от 300 Гц до 3400 Гц. Эти частоты приняты международными и национальными орга-

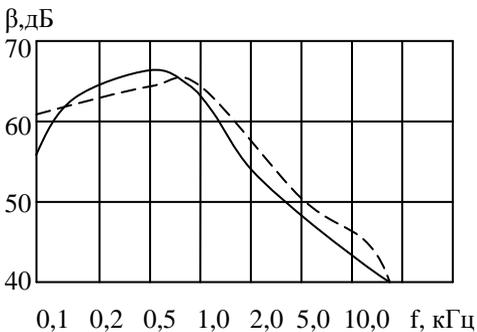


Рис. 4.7 – Энергетический спектр речевого сигнала: — русская речь, ---- английская речь

низациями стандартизации в области связи в качестве границ эффективного спектра сигналов речи.

Системы связи, ориентированные на передачу сигналов речи, должны обеспечивать необходимое качество их передачи, определяемые уровнем громкости, разборчивости, естественным зву-

чением голоса, низким уровнем помех. Системы радиосвязи и телефонные сети, предназначенные для передачи звуковых сообщений, также должны учитывать следующие характеристики сигналов речи.

Средняя мощность сигнала речи, подаваемого на вход системы связи, должна быть определена техническими характеристиками данной системы. Кроме средней мощности при передаче речи различают также мощность на интервале активности (мощность сигнала в фазе разговора) и пороговую мощность (мощность сигнала на интервале пауз).

Коэффициент активности телефонного сообщения определяется отношением суммарного времени, в течение которого мощность сигнала одного из абонентов превышает пороговое значение, к общему времени разговора. Полагают, что каждый из собеседников при разговоре занимает приблизительно 50% времени, а также учитывают, что отдельные слова и фразы разделяются паузами. В результате, коэффициент активности речевого сигнала принимают равным 0,25...0,35.

Динамический диапазон сигнала речи – отношение максимального значения мгновенной мощности сигнала P_{MAX} к минимальному значению мгновенной мощности P_{MIN} , или в логарифмических единицах измерения

$$D = 10 \lg(P_{MAX} / P_{MIN}), \text{ [дБ]}. \quad (4.14)$$

В выражении (4.14) за величину P_{MAX} принимают такое значение мощности сигнала, которое может быть превышено лишь в течение 2% общего времени передачи; а за величину P_{MIN} принимают такое значение мощности сигнала, которое должно быть превышено в течение 98% общего времени.

В программах *звукового вещания* сигналы переносят информацию, содержащуюся не только в звуках речи, но и музыкальных инструментов и других источников звука. Возрастание количества переносимой информации сопровождается изменением характеристик систем связи. Качество передаваемых сигналов звукового вещания определяется классом канала вещания. Например, диапазон частот, переносимый сигналами вещания первого класса, ограничивается частотами 0,05...10,0 кГц (достаточно высокое качество). Лучшие характеристики передачи сигналов обеспечивает канал высшего качества (0,03...15,0 кГц).

Динамический диапазон сигналов передачи программ *звукового вещания*: речь диктора – 25...35 дБ; художественное чтение – 40...50 дБ; вокальные и музыкальные инструменты – 45...55 дБ, симфонический оркестр – до 65 дБ

В программах *телевизионного вещания* к звуковым сообщениям добавляются оптические сообщения, а также дополнительная информация, необходимая для согласованной работы передающего и приемного устройств. Более подробно сигналы телевизионного вещания будут рассмотрены в последующих разделах. Здесь отметим лишь основные характеристики сигналов телевизионного вещания.

Стандарты телевизионного вещания в разных странах могут быть разными. В нашей стране для передачи сигналов черно-белого изображения используется диапазон частот от 0 до 6 МГц. Передачу сигналов цветности осуществляют в том же частотном диапазоне, что и сигналов черно-белого изображения. Цветное телевидение должно быть совместимым с черно-белым, то есть черно-белые передачи должны одинаково восприниматься на цветных и черно-белых приемниках. В то же время цветные передачи на черно-белых приемниках должны восприниматься как черно-белые передачи.

Сигналы звукового сопровождения занимают отдельную полосу частот в спектре телевизионного сигнала. Динамический диапазон телевизионного сигнала составляет приблизительно 40 дБ.

4.4 Помехи радиосвязи

Помехой называют постороннее электрическое колебание, мешающее нормальному приему сигналов. Причиной и источниками помех могут являться различные факторы, и помехи могут быть классифицированы по различным признакам.

В зависимости от места возникновения посторонние электрические колебания можно разделить на внешние и внутренние помехи. *Внутренние помехи* возникают в узлах аппаратуры и трактах систем связи. *Внешние помехи* обусловлены действием источников помех, внешних по отношению к системе связи и не связанных с ее функционированием.

По степени возможности ликвидации помех последние могут быть классифицированы на устранимые и неустранимые помехи.

Принципиально неустранимым видом помех являются *внутренние помехи*. Они появляются сразу же после включения аппаратуры. По природе возникновения внутренние помехи разделяются на тепловые и дробовые шумы. *Тепловые шумы* обусловлены хаотическим движением электронов в проводниках и присущи практически всем элементам электрической цепи. Одним из наиболее эффективных приемов уменьшения этой составляющей помех является снижение температуры элементов этой цепи. *Дробовые шумы* характерны для так называемых активных приборов электрической цепи (биполярные и полевые транзисторы, электронно-вакуумные и газоразрядные лампы и так далее) и возникают в усилителях, преобразователях, модуляторах и т.д. Для уменьшения доли дробовых помех используют приборы с улучшенными шумовыми характеристиками.

Наибольшее влияние на характеристики связи имеют шумы приемной антенны и входных каскадов приемника. Это обусловлено тем, что шумы каскадов, расположенных ближе к входу приемника, получают такое же усиление, как и принимаемые сигналы. Шумы последующих каскадов усиливаются в меньшей

степени, поэтому их вклад в результирующий шум на выходе приемника значительно меньше, чем шумов, поступающих с входных устройств.

Внутренние шумы электронных устройств проявляются во всех частотных диапазонах, используемых в радиосвязи. Удельный вес внутренних шумов возрастает с увеличением частоты, и в диапазоне сверхвысоких частот их значение становится преобладающим, так как доля остальных видов помех может быть значительно снижена.

Внешние помехи обусловлены действием источников помех, не вызванных функционированием данного канала связи. По месту возникновения эти помехи можно разделить на следующие составляющие.

Атмосферные помехи обусловлены электрическими явлениями в атмосфере (грозы, молнии и т.д.). Спектр атмосферных помех сосредоточен преимущественно в области низких частот, и наибольшее влияние атмосферные помехи оказывают на средства радиосвязи длинноволнового диапазона.

Космические шумы вызываются радиоизлучением каких-либо объектов космоса, например, каких-либо созвездий. Солнце также является источником излучений в радиодиапазоне. На шумовые характеристики излучения Солнца, в частности, влияют солнечные пятна. Космические шумы оказывают наибольшее влияние на системы спутниковой связи, особенно при совпадении направлений приема полезных сигналов и источников шумовых излучений.

Индустриальные помехи вызываются непреднамеренным электромагнитным излучением электрического или электронного оборудования. В их числе могут быть установки промышленного, транспортного, медицинского, научного назначения. Источником подобного излучения обычно выступают цепи, в которых осуществляется коммутация сильных токов, сварочные аппараты, коллекторные электродвигатели и т.д. Уровень таких незапланированных излучений ограничивается нормами на предельно-допустимые уровни излучения. На местах возникновения таких помех принимаются меры для уменьшения уровня излучения.

Спектр промышленных помех тяготеет к низкочастотному диапазону, и уровень частотных составляющих помехи падает с ростом частоты. В то же время, современные электронные устройства, не предназначенные для работы с радиоволнами, являются источниками радиоизлучения. В первую очередь это касается цифровых устройств, например, компьютеров. Спектр излучения таких устройств определяется быстродействием его основных процессов и распространяется в область высоких частот.

Еще одним источником помех радиосвязи являются *побочные излучения* радиосредств. Причина их возникновения заключается в следующем. Каждому средству радиосвязи для его нормального функционирования в общем частотном диапазоне выделяется определенная полоса частот. Эта полоса частот определяется государственными органами с учетом международных соглашений. Эти органы определяют не только диапазон разрешенных для работы частот, но и определяют уровни внеполосного излучения, то есть те уровни побочного излучения, которые могут вырабатываться данным устройством вне полосы разрешенных частот.

В реальных устройствах побочное излучение практически всегда существует и может влиять на характеристики радиосвязи других систем. Например, пусть приемник принимает слабые сигналы с частотой f_1 , а неподалеку работает источник радиосигналов с частотой, равной $f_1/2$. Если уровень подавления второй гармоники этого источника радиосигналов будет недостаточным, то побочное излучение второй гармоники, излучаемое этим источником, и равной $2 \cdot f_1/2 = f_1$ будет мешать приему других сигналов с частотой f_1 .

Помехи могут быть классифицированы и по другим признакам.

Например, по длительности существования помех их можно разделить на импульсные и непрерывные помехи.

По характеру распределения энергии помех по частотному диапазону разделяют сосредоточенные по спектру и распределенные помехи.

По характеру взаимодействия с сигналом помехи можно разделить на аддитивные и мультипликативные помехи. При

аддитивных помехах результат взаимодействия сигнала $s(t)$ и помехи $n(t)$ представляют их суммой

$$x(t)=s(t)+n(t); \quad (4.15)$$

при мультипликативных помехах на результат обработки принимаемых сигналов влияет их произведение $s(t)*n(t)$.

Приемы борьбы с помехами заключаются в обеспечении такого уровня сигнала в месте приема, который бы обеспечил требуемое качество принимаемого сигнала. Одной из важнейших характеристик принимаемого сигнала является отношение мощности сигнала к мощности шума. Этот параметр в радиотехнике так и называется – отношение сигнал/шум. Это отношение в месте приема может быть увеличено различными способами, например, увеличением мощности передатчика системы связи, применением передающей или приемной антенны с направленными свойствами (если это позволяют условия эксплуатации для данной системы связи). Отношение сигнал/шум можно увеличить при снижении уровня шумов. Например, долю внутренних шумов можно уменьшить, применяя во входных каскадах приемника малошумящие усилители.

Другие методы повышения качества принимаемых сигналов связаны с применением сложных сигналов и методов их обработки, обеспечивающих увеличение отношения сигнал/шум на выходе приемного устройства.

5 МОДУЛЯЦИЯ

5.1 Общие сведения о модуляции

Электрические сигналы, несущие информацию о человеческой речи, видимом изображении (и так далее), имеют такой спектральный состав, который затрудняет их непосредственное использование в радиосвязи. Во-первых, для эффективного излучения и приема колебаний с таким спектром понадобились бы антенны очень больших размеров. Во-вторых, поскольку сигналы от одного типа источников имеют приблизительно одинаковый спектр, то при одновременном излучении сигналов одинакового спектрального состава от нескольких источников на приемном конце будет невозможно выделить сигнал от интересующего источника. Ситуация в радиоэфире в этом случае будет напоминать галдеж на рыночной площади в базарный день.

Лучшие характеристики при распространении радиоволн имеют колебания с более высокой частотой. Эти колебания и используют для переноса информации (их и называют несущими колебаниями). Однако само несущее колебание является периодическим и новой информации получателю не доставляет. Для того, чтобы несущее колебание отражало передаваемую информацию, нужно один или несколько параметров несущего колебания связать с передаваемым сообщением. Процесс изменения какого-либо из параметров несущего колебания по закону передаваемого сообщения называется модуляцией.

В качестве несущего колебания наиболее часто используют гармоническое колебание. В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания – амплитуда, частота или начальная фаза несущего колебания – изменяется по закону передаваемого сообщения, различают виды модуляции, соответственно, амплитудная, частотная или фазовая. Сигнал, получаемый в процессе модуляции, называют модулированным колебанием, или радиосигналом. Если в качестве несущего колебания используют последовательность импульсов, то в результате модуляции изменяют параметры последовательности импульсов: амплитуду, временное положение, длительность импульса. Соот-

ветственно, процесс называют амплитудно-импульсной модуляцией, времяимпульсной модуляцией, широтно-импульсной модуляцией. Если в результате модуляции формируют код, соответствующий какому-либо из этих параметров, и представляют его набором импульсов, то такой вид модуляции называют кодово-импульсной.

Для того, чтобы на приемном конце можно было разделить сигналы от разных источников, используют какой-либо отличительный признак несущего колебания. Наиболее часто в качестве такого отличительного признака является частота несущего колебания. В таком случае говорят о частотном разделении сигналов. На приемном конце устанавливается устройство, реагирующее только на сигнал с заранее определенным отличительным признаком. При частотном разделении сигналов в качестве обнаружителя отличительного признака используют частотные фильтры, настроенные на частоту выбранного несущего колебания. На выход такого фильтра проходит сигнал только с выбранной несущей частотой, несмотря на то, что на вход фильтра поступают все сигналы, наведенные в приемной антенне. В технике связи могут быть использованы сигналы и с другими отличительными признаками.

После выбора несущего колебания с выбранным отличительным признаком выделяют информацию, заключенную в модуляции какого-либо из параметров выбранного несущего колебания. На этом этапе обработки принимаемого сигнала выполняют операции, обратные операциям модуляции, выполняемым при передаче сигнала, и данный этап преобразований сигналов называют демодуляцией.

5.2 Амплитудная модуляция

В процессе амплитудной модуляции амплитуда U_0 несущего колебания $u_0(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$ перестает быть постоянной и изменяется по закону передаваемого сообщения. Амплитуда $U(t)$ несущего колебания может быть связана с передаваемым сообщением соотношением:

$$U(t) = U_0 + k_A e(t), \quad (5.1)$$

где U_0 – амплитуда несущего колебания в отсутствии сообщения (немодулированное колебание);

$e(t)$ – функция, зависящая от времени, соответствующая передаваемому сообщению (ее называют модулирующим сигналом);

k_A – коэффициент пропорциональности, отражающий степень влияния модулирующего сигнала на величину изменения амплитуды результирующего сигнала (модулированного колебания).

Выражение для амплитудно-модулированного сигнала в общем случае имеет вид:

$$u_{AM}(t) = [U_0 + k_A e(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi). \quad (5.2)$$

Простейший для анализа случай амплитудно-модулированного колебания получается, если в качестве модулирующего сигнала используется гармоническое колебание (такой случай называется тональной модуляцией):

$$e(t) = E \cos(\Omega t + \Theta), \quad (5.3)$$

где E – амплитуда, Ω – угловая частота; Θ – начальная фаза модулирующего сигнала.

Для упрощения анализа будем полагать начальные фазы колебаний равными нулю, что не повлияет на общность выводов. Тогда для тональной амплитудной модуляции можно записать:

$$\begin{aligned} u_{AM}(t) &= [U_0 + k_A E \cos \Omega t] \cos \omega_0 t = \\ &= U_0 [1 + M_A \cos \Omega t] \cos \omega_0 t, \end{aligned} \quad (5.4)$$

где $M_A = E/U_0$ – коэффициент амплитудной модуляции (иногда говорят – глубина амплитудной модуляции).

Для определения спектра амплитудно-модулированного колебания выполним несложные преобразования выражения (5.4):

$$\begin{aligned} u_{AM}(t) &= U_0 \cos \omega_0 t + U_0 M_A \cos \Omega t \cos \omega_0 t = U_0 \cos \omega_0 t + \\ &+ (U_0 M_A / 2) \cos(\omega_0 - \Omega)t + (U_0 M_A / 2) \cos(\omega_0 + \Omega)t. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Из анализа выражения (5.5) следует, что при амплитудной модуляции гармоническим колебанием спектр амплитудно-модулированного сигнала содержит три гармонические составляющие. Гармоническая составляющая с частотой, равной ω_0 , представляет собой исходную немодулированную несущую с частотой ω_0 и амплитудой U_0 . Гармонические составляющие с частотами, равными $(\omega_0 - \Omega)$ и $(\omega_0 + \Omega)$ представляют собой

продукт амплитудной модуляции и называются, соответственно, нижней и верхней боковыми составляющими. Амплитуды боковых составляющих одинаковы, равны $U_0 M_A/2$ и расположены симметрично относительно несущей частоты ω_0 на расстоянии, равном $-\Omega$. Таким образом, ширина полосы частот $\Delta\omega$, занимаемая амплитудно-модулированным колебанием при модуляции гармоническим сигналом с частотой Ω , равна $\Delta\omega = 2\Omega$.

Графики несущего колебания $u_0(t)$, модулирующего сигнала $e(t)$ и амплитудно-модулированного сигнала $u_{AM}(t)$ приведены на рисунке 5.1.

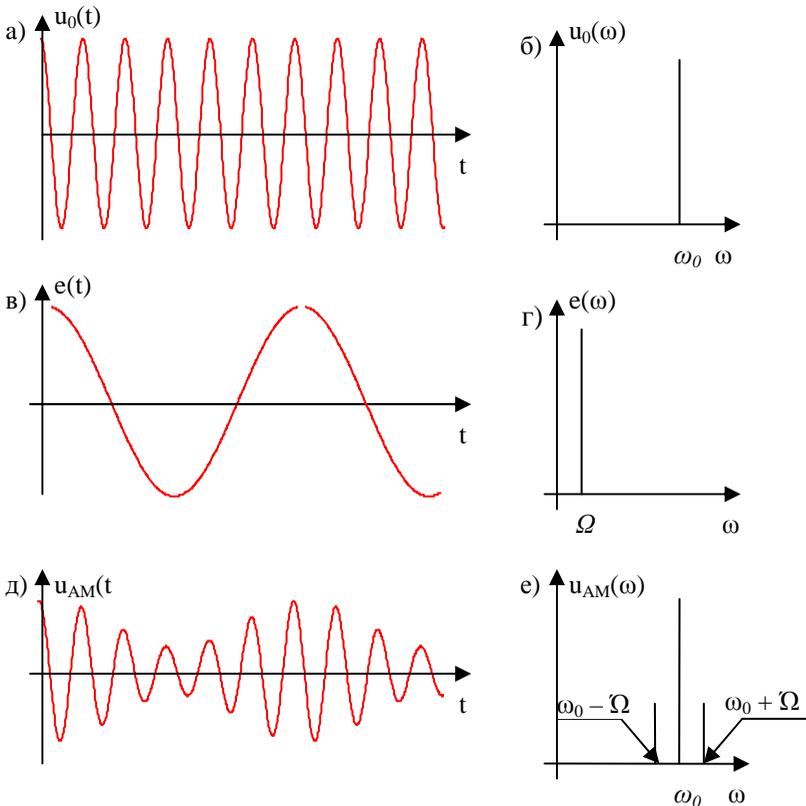


Рис. 5.1 – Тональная амплитудная модуляция: а) несущее колебание и его спектр (б); в) модулирующий сигнал и его спектр (г); д) амплитудно-модулированное колебание и его спектр (е)

При отсутствии модуляции ($M_A = 0$) амплитуды боковых составляющих равны нулю и спектр амплитудно-модулированного сигнала состоит только из несущего колебания с частотой ω_0 . При коэффициенте амплитудной модуляции $M_A < 1$ амплитуда результирующего колебания изменяется от максимального значения $U_{MAX} = U_0(1 + M_A)$ до минимального $U_{MIN} = U_0(1 - M_A)$. Таким образом, коэффициент M_A амплитудной модуляции может быть определен как

$$M_A = (U_{MAX} - U_{MIN}) / (U_{MAX} + U_{MIN}). \quad (5.6)$$

При коэффициенте амплитудной модуляции $M_A > 1$ возникают искажения, называемые перемодуляцией (рисунок 5.2). Такие искажения могут приводить к потере информации и их стараются не допускать.

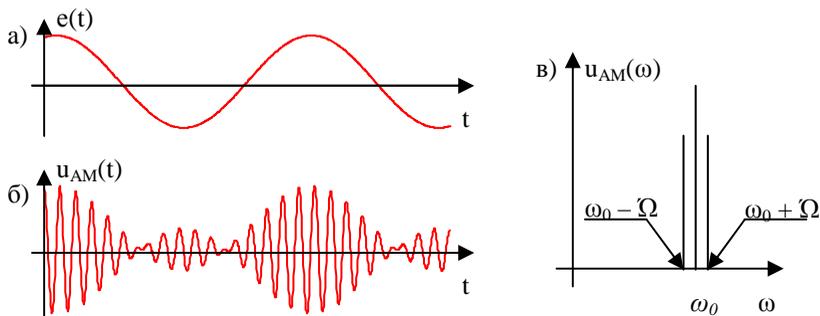


Рис. 5.2 – Тональная амплитудная модуляция при коэффициенте $M_A > 1$: а) модулирующий сигнал; б) амплитудно-модулированное колебание и его спектр (в)

Подобный подход можно применить и к анализу амплитудно-модулированных колебаний сложной формы. В этом случае периодический модулирующий сигнал может быть представлен набором гармонических составляющих, частота которых кратна периоду исходного сигнала. Каждая из гармоник модулирующего сигнала сформирует в спектре амплитудно-модулированного колебания две боковые составляющие, симметрично отстоящие от несущей на величину, равную частоте соответствующей гармоники. Для примера, если спектр модулирующего сигнала имеет вид, представленный на рисунке 5.3,а, то спектр ампли-

тудно-модулированного колебания может быть представлен диаграммой, приведенной на рисунке 5.3,б.

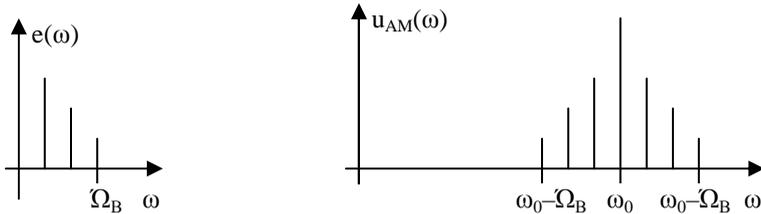


Рис. 5.3 – Спектры сигналов: а) модулирующего сигнала; б) амплитудно-модулированного колебания

В общем случае, ширина Π_{AM} спектра амплитудно-модулированного колебания равна

$$\Pi_{AM} = 2 \Omega_B, \quad (5.7)$$

где Ω_B – верхняя (наибольшая) частота в спектре модулирующего сигнала.

5.3 Частотная модуляция

Если при амплитудной модуляции частота ω_0 и начальная фаза φ несущего колебания сохраняются неизменными, а по закону передаваемого сообщения $e(t)$ изменяется амплитуда U_0 , то при угловой модуляции амплитуда U_0 сохраняется постоянной, а изменяться может частота либо начальная фаза несущего колебания. Поскольку частота и начальная фаза являются составляющими обобщенного угла несущего колебания $[\omega(t) + \varphi(t)]$, то такую модуляцию называют угловой. В зависимости от того, какой из параметров обобщенного угла, частота $\omega(t)$ или начальная фаза $\varphi(e)$, несет информацию о передаваемом сообщении $e(t)$, различают частотную либо фазовую модуляцию.

При частотной модуляции амплитуда несущего колебания U_0 сохраняется постоянной, а частота несущего колебания $\omega(t)$ определяется модулирующим сигналом $e(t)$ в соответствии с выражением:

$$\omega(t) = \omega_0 + k_{\text{ЧМ}} e(t), \quad (5.8)$$

где $k_{\text{ЧМ}}$ – коэффициент пропорциональности, связывающий отклонение $\Delta\omega_{\text{ЧМ}}$ частоты $\omega(t)$ от своего номинального значения

ω_0 , равное $\Delta\omega_{\text{ЧМ}} = \omega(t) - \omega_0$, и величину модулирующего напряжения $e(t)$, вызывающего это отклонение.

Максимальное отклонение частоты, вызываемое максимальным модулирующим напряжением, называют девиацией частоты.

При модулирующем сигнале в виде гармонического напряжения

$$e(t) = E \cos(\Omega t + \Theta)$$

мгновенное значение частоты частотно-модулированного колебания изменяется по закону

$$\omega(t) = \omega_0 + k_{\text{ЧМ}} E \cos(\Omega t + \Theta). \quad (5.9)$$

Временные диаграммы несущего и модулирующего колебаний, а также частотно-модулированного сигнала приведены на рисунке 5.4.

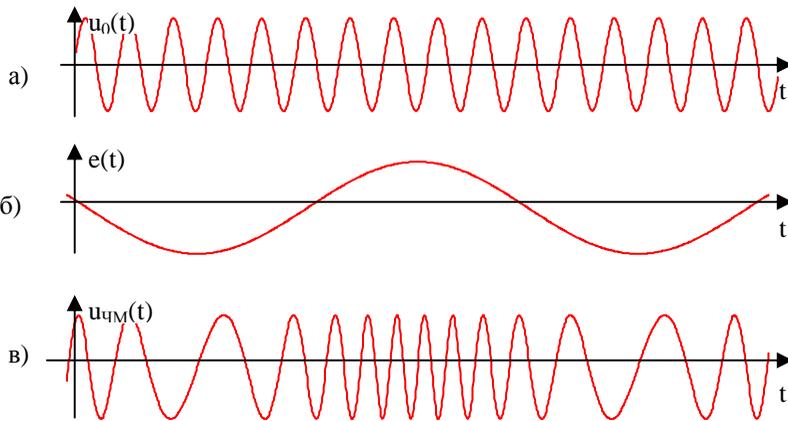


Рис. 5.4 – Частотная модуляция: а) колебание с постоянной частотой; б) модулирующий сигнал; в) частотно-модулированное колебание

Связь между спектрами модулирующего и формируемого им частотно-модулированного сигнала выражается не такими простыми выражениями, как при амплитудной модуляции, и определяется соотношением между отклонением частоты результирующего частотно-модулированного колебания, вызываемого модулирующим сигналом, и скоростью изменения этого отклонения частоты.

В частности, пусть тональная модуляция гармоническим сигналом с частотой Ω вызывает отклонение частоты с девиацией, равной $\Delta\omega_{\text{ЧМ}}$. Тогда в случае «быстрой» модуляции (при $\Delta\omega_{\text{ЧМ}} \ll \Omega$) полоса частот, занимаемая частотно-модулированным колебанием, определяется наибольшей частотой спектра модулирующего сигнала

$$П_{\text{ЧМ}} \approx 2 \Omega. \quad (5.10)$$

В случае «медленной» модуляции (при $\Delta\omega_{\text{ЧМ}} \gg \Omega$) частотный диапазон частотно-модулированного колебания определяется величиной девиации частоты $\Delta\omega_{\text{ЧМ}}$:

$$П_{\text{ЧМ}} \approx 2 \Delta\omega_{\text{ЧМ}}. \quad (5.11)$$

5.4 Фазовая модуляция

При фазовой модуляции амплитуда несущего колебания U_0 сохраняется постоянной, а фаза несущего колебания $\varphi(t)$ связана с модулирующим напряжением $e(t)$ зависимостью

$$\psi(t) = \omega_0 t + k_{\text{ФМ}} e(t) + \varphi_0, \quad (5.12)$$

где $k_{\text{ФМ}}$ – коэффициент пропорциональности, определяющий связь между модулирующим напряжением $e(t)$ и дополнительным приращением полной фазы результирующего фазомодулированного колебания.

При модуляции фазы по гармоническому закону

$$e(t) = E \cos(\Omega t + \Theta)$$

полная фаза фазомодулированного колебания принимает значение

$$\psi(t) = \omega_0 t + k_{\text{ФМ}} E \cos(\Omega t + \Theta) + \varphi_0. \quad (5.13)$$

Максимальное дополнительное отклонение фазы несущего колебания относительно регулярного значения $\omega_0 t$ характеризуется индексом фазовой модуляции $M_{\text{ФМ}}$:

$$M_{\text{ФМ}} = k_{\text{ФМ}} E. \quad (5.14)$$

Таким образом, полное описание фазомодулированного колебания, модулированного тональным сигналом, имеет вид:

$$u_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + k_{\text{ФМ}} E \cos(\Omega t + \Theta) + \varphi_0]. \quad (5.15)$$

Временные диаграммы модулирующего и несущего сигналов, а также фазомодулированного колебания приведены на рисунке 5.5.

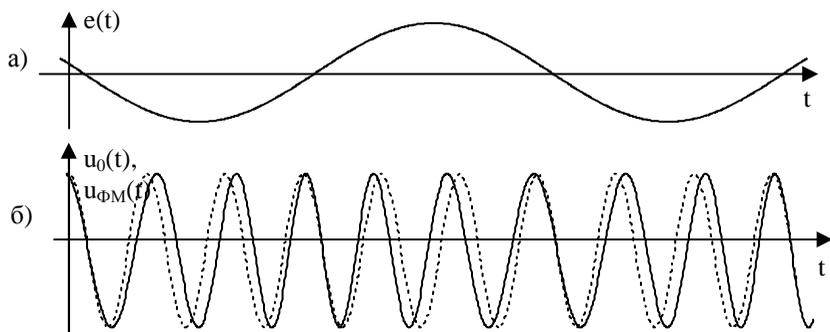


Рис. 5.5 – Фазовая модуляция: а) модулирующий сигнал; б) несущее колебание (штриховая линия) и фазомодулированное колебание (сплошная линия)

Определение спектра фазомодулированного сигнала даже в случае простых модулирующих сигналов представляет собой достаточно сложную задачу. Исключение составляет случай с малым индексом фазовой модуляции ($M_{\Phi M} \ll 1$). В этом случае при нулевых начальных сдвигах фаз ($\Theta = 0$ и $\varphi_0 = 0$) напряжение (4.15) можно представить в виде:

$$u_{\Phi M}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + M_{\Phi M} \cos \Omega t]. \quad u_{\Phi M}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t) \times \cos(M_{\Phi M} \cos \Omega t) - U_0 \sin(\omega_0 t) \sin(M_{\Phi M} \cos \Omega t). \quad (5.16)$$

В силу малости аргумента ($M_{\Phi M} \cos \Omega t \ll 1$) тригонометрических функций $\cos(M_{\Phi M} \cos \Omega t)$ и $\sin(M_{\Phi M} \cos \Omega t)$ справедливы приближенные соотношения $\cos(M_{\Phi M} \cos \Omega t) \approx 1$ и $\sin(M_{\Phi M} \cos \Omega t) \approx M_{\Phi M} \cos \Omega t$. С учетом этих приближений выражение (5.16) приводится к виду:

$$u_{\Phi M}(t) = U_0 \cos \omega_0 t - (U_0 M_{\Phi M}/2) \cos(\omega_0 - \Omega)t + (U_0 M_{\Phi M}/2) \cos(\omega_0 + \Omega)t. \quad (5.17)$$

По своему виду выражение (5.17) для фазомодулированных колебаний при $M_{\Phi M} \ll 1$ напоминает выражение для амплитудно-модулированных колебаний (5.5): несущее колебание с частотой ω_0 и амплитудой U_0 и две боковые составляющие с одинаковыми амплитудами, равными $U_0 M_{\Phi M}/2$, и частотами, равными $(\omega_0 - \Omega)$ и $(\omega_0 + \Omega)$. Различие в составе спектров амплитудно-

модулированных и фазомодулированных колебаний заключается лишь в том, что в этих колебаниях компоненты с частотой, равной $(\omega_0 - \Omega)$, имеют противоположные знаки. Полоса частот, занимаемая фазомодулированным сигналом, в этом случае также равна

$$P_{\text{ФМ}} \approx 2 \Omega. \quad (5.18)$$

При больших индексах фазовой модуляции ($M_{\text{ФМ}} \ll 1$) зависимость между полосами частот, занимаемыми модулирующим и фазомодулированным сигналами, подчиняется более сложным выражениям, чем, например, соотношению (5.18).

5.5 Модулирование импульсных последовательностей

Наряду с модулированием гармонических несущих в различных радиотехнических устройствах находят модулирование импульсных последовательностей (так называемая импульсная модуляция). Уточняющее название вида импульсной модуляции определяется тем параметром последовательности импульсов, который подвергается модуляции. Форма несущего импульсного колебания и продукты модуляции последовательности импульсов при модуляции гармоническим сигналом приведены на рисунке 5.6.

При модуляции амплитуды последовательности импульсов по закону передаваемого сообщения при их постоянной длительности имеет место амплитудно-импульсная модуляция (АИМ – рисунок 5.6,в). При изменении длительности последовательности импульсов при их постоянной амплитуде говорят, что имеет место широтно-импульсная модуляция (ШИМ – рисунок 5.6,г). При изменении временного положения импульсов говорят о временимпульсной модуляции (ВИМ – рисунок 5.6,д).

В системах связи часто имеют дело с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ – рисунок 5.6,е). В этом случае значение аналогового модулирующего сигнала в каждый тактируемый момент преобразуется в цифровой код. Продуктом модуляции является последовательность импульсов, соответствующая этому коду в данном интервале времени. ИКМ сигнал – это одна из форм представления цифрового сигнала.

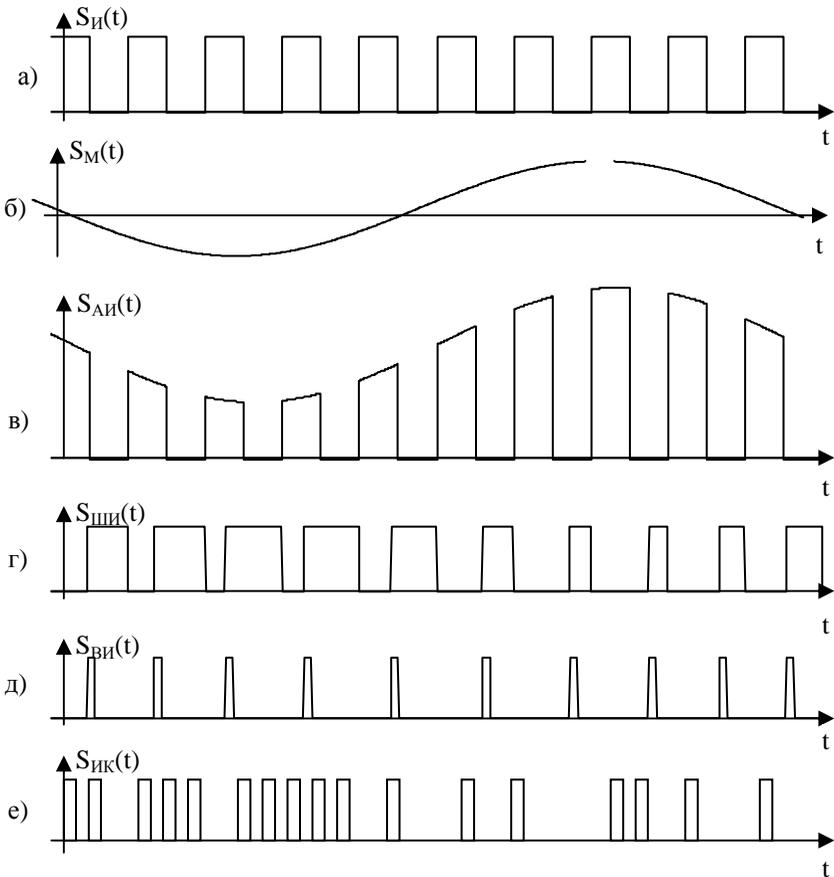


Рис. 5.7 – Модуляция импульсной последовательности:
 а) несущая последовательность импульсов; б) модулирующий сигнал;
 в) амплитудно-импульсная модуляция; г) широтно-импульсная модуляция;
 д) времяимпульсная модуляция;
 е) импульсно-кодовая модуляция

В радиосвязи импульсная модуляция нередко является промежуточным этапом подготовки сигналов для передачи при комбинированных видах модуляции.

В технике радиосвязи импульсно-модулированные колебания вырабатываются на промежуточных этапах формирования передаваемых сигналов при комбинированных видах модуляции.

6 РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

6.1 Общие сведения о радиоволнах

В беспроводной электросвязи непосредственное соединение между источниками и получателями сигналов в виде электрических или оптических кабелей отсутствует. Средства радиосвязи, радиовещания и телевидения в качестве среды распространения электромагнитных волн обычно используют атмосферу Земли. Основные параметры системы связи в значительной степени определяются характеристиками распространения электромагнитных волн. Рассмотрим их подробнее.

Из курса физики известно, что проводник, по которому протекает постоянный электрический ток, создает в окружающем пространстве постоянное магнитное поле. В общем случае, практически любой отрезок проводника при протекании по нему переменного тока является источником переменного электромагнитного поля. Особенностью переменного электромагнитного поля является его способность распространяться в окружающем пространстве.

В свободном пространстве электромагнитные колебания распространяются прямолинейно и равномерно, то есть с постоянной скоростью, равной скорости света ($c=3 \cdot 10^8$ м/с). На распространение электромагнитных волн в несвободном пространстве существенное влияние оказывает окружающая среда. В частности, распространение радиоволн в условиях Земли зависит от многих факторов: рельефа местности, климатических условий, времени суток и года, и, в первую очередь, от длины волны этого колебания.

Электромагнитные волны, расположенные в диапазоне частот от 10 до 10^{13} Гц, используются в радиотехнике и называются *радиоволнами*. Международная классификация диапазонов радиоволн приведена в таблице 6.1. Длина волны λ электромагнитного колебания связана с частотой f этого колебания и скоростью c распространения электромагнитных волн в свободном пространстве соотношением

$$\lambda=c/f. \quad (6.1)$$

Таблица 6.1

| Наименования волн | Диапазон волн | Диапазон частот |
|-------------------|----------------------|-----------------|
| Декамегаметровые | $10^5 \dots 10^4$ км | 3...30 Гц |
| Мегаметровые | $10^4 \dots 10^3$ км | 30...300 Гц |
| Гектокилометровые | $10^3 \dots 10^2$ км | 300...3000 Гц |
| Мириаметровые | 100...10 км | 3...30 кГц |
| Километровые | 10...1 км | 30...300 кГц |
| Гектометровые | 1000...100 м | 300...3000 кГц |
| Декаметровые | 100...10 м | 3...30 МГц |
| Метровые | 10...1 м | 30...300 МГц |
| Дециметровые | 100...10 см | 300...3000 МГц |
| Сантиметровые | 10...1 см | 3...30 ГГц |
| Миллиметровые | 10...1 мм | 30...300 ГГц |
| Децимиллиметровые | 1...0,1 мм | 300...3000 ГГц |

Упрощенный механизм формирования электромагнитного поля можно представить следующим образом. Протекающий по проводнику переменный ток в соответствии с законом электромагнитной индукции будет возбуждать в пространстве, окружающем диполь, переменное магнитное поле. Изменяющееся магнитное поле, в свою очередь, порождает в окружающем пространстве переменное электрическое поле. В процессе взаимного преобразования изменяющегося магнитного поля в электрическое, а переменного электрического поля в магнитное образуется единое электромагнитное поле. Явление возбуждения в пространстве электромагнитного поля переменным током, протекающим в проводнике, называется электромагнитным излучением.

В общем случае любой отрезок проводника, по которому протекает переменный ток, создает в окружающем пространстве электромагнитное поле. Эти явления связаны принципом двойственности: в любом отрезке проводника, находящемся в электромагнитном поле, индуцируется переменная электродвижу-

щая сила (ЭДС). Величина ЭДС, наводимой в проводнике, зависит как от энергии электромагнитного поля, так и от конфигурации проводника и соотношения его размеров и длины волны электромагнитных колебаний.

Для оценки энергетических характеристик электромагнитных волн используют плотность потока мощности, проходящей через единицу площади, перпендикулярной направлению распространения волны. Если предположить, что источник излучения точечный (на практике это означает, что размеры источника излучения пренебрежимо малы по сравнению с длиной волны излучаемого колебания), то можно считать, что электромагнитная волна будет равномерно излучаться во всех направлениях. На удалении R от источника излучения плотность потока мощности Π , создаваемой точечным источником, одинакова и определяется выражением

$$\Pi = P_T / (4\pi R^2), \quad (6.2)$$

где P_T – мощность источника излучения.

Дальность действия системы связи определяется мощностью передатчика и чувствительностью приемника. Напряженности электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля, создаваемого этим источником, определяются мощностью излучения источника P_T и удалением R от источника. Так, для оценки напряженности электрического поля E_T при распространении радиоволн в свободном пространстве можно использовать приближенное соотношение:

$$E_T = \sqrt{30P_T} / R. \quad (6.3)$$

6.2 Физические характеристики среды распространения радиоволн

Радиоволны являются одним из диапазонов электромагнитных волн, поэтому распространение радиоволн подчиняется общим законам распространения электромагнитных колебаний (так же, как и световых волн). Распространение радиоволн в условиях Земли имеет некоторые существенные отличия от распространения радиоволн в свободном пространстве. Поверхностные слои Земли и околоземного пространства представляют

собой среды с разными характеристиками для распространения электромагнитного поля. Так же, как и для оптических волн, на границе сред с различными электрическими характеристиками (например, земля – околоземное пространство) возможно *отражение* и *преломление* радиоволн. В то же время и сама поверхность Земли и околоземное пространство представляют собой неоднородные среды с различными электрическими параметрами (электропроводностью, диэлектрической проницаемостью и т.д.). Поэтому при распространении электромагнитных волн в неоднородных средах могут изменяться как направление, так и скорость распространения электромагнитной энергии (*рефракция*). Дополнительное поглощение энергии радиоволн наблюдается при их распространении в средах с потерями.

Существенной особенностью распространения радиоволн в земных условиях является зависимость характеристик распространения от длины волны. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности зависит от ее рельефа и физических свойств. Наиболее важными электрическими параметрами почвы являются ее *электропроводность* и *диэлектрическая проницаемость*. Эти характеристики определяют параметры отраженных и преломленных волн на границе раздела двух сред. Электропроводность почвы определяет также *потери* энергии при распространении волн. Потери энергии при распространении радиоволн отсутствуют, если поверхность Земли можно считать идеальным проводником либо идеальным диэлектриком. В реальных условиях распространяющиеся над поверхностью земли электромагнитные колебания наводят в почве индукционные токи. При протекании этих токов в почве выделяется тепло. В конечном итоге это вызывает безвозвратные потери распространяющейся электромагнитной волны. Эти потери растут с ростом частоты.

Не менее важное влияние на распространение радиоволн в околоземном пространстве играет земная *атмосфера* (газообразная оболочка Земли). По комплексу физических признаков атмосферу принято делить на три характерных слоя: тропосферу, стратосферу и ионосферу.

Тропосфера представляет собой нижний слой атмосферы, расположенный от поверхности Земли до высот порядка 10 – 20

км. Свойства тропосферы определяются смесью газов (азот, кислород и т.д.) и водяных паров. С высотой температура и давление воздуха, а также содержание водяных паров в тропосфере понижается. Таким образом, тропосфера неоднородна по своим электрическим свойствам. Кроме того, изменение метеоусловий приводит к образованию воздушных течений, вызывающих интенсивные перемешивания слоев тропосферы.

Стратосфера – слой атмосферы, лежащий над тропосферой, простирается до высот порядка 60 – 80 км. Признаком перехода к тропосфере является прекращение понижения ее температуры с высотой (в верхних слоях тропосферы температура опускается до – (50...60)°C). Плотность газов в стратосфере значительно меньше, чем в тропосфере. Электрические свойства тропосферы практически не изменяются, и радиоволны распространяются в ней прямолинейно и почти без потерь.

Ионосфера называется верхний слой ионизированной атмосферы, окружающей Землю (до высот порядка нескольких тысяч километров). Под воздействием космического излучения и ультрафиолетовых лучей солнца из атомов газа, составляющих атмосферу, выбиваются электроны, в результате чего образуются положительные ионы газа и свободные электроны. При встрече свободного электрона с ионизированным атомом происходит их объединение (рекомбинация). На больших высотах плотность атмосферы низка, поэтому вероятность встречи свободного электрона с ионом газа мала, и значительная часть газа оказывается ионизированной. Ионизированный газ обладает электропроводностью и способен изменить характеристики распространения электромагнитных колебаний. Чем больше концентрация свободных электронов, тем сильнее они влияют на распространение радиоволн. Степень ионизации газа определяется многими факторами.

Во-первых, поскольку основной причиной ионизации является излучение Солнца, то понятно, что процессы ионизации активнее происходят на участках земной атмосферы, обращенной к Солнцу. Соответственно, в дневное время в процессе ионизации возникает большее количество свободных электронов и ионизированных молекул, чем в ночные часы. Кроме того, рост интенсивности солнечного излучения в дневное время приводит

к ионизации слоев атмосферы, расположенных ближе к поверхности Земли, т.е. к снижению высоты ионизированных газов.

Во-вторых, на высоте в сотни километров от поверхности Земли газовый состав атмосферы перестает быть однородным. На этих высотах наблюдается расслоение газов, составляющих воздух: более тяжелые газы занимают преимущественно нижнюю часть этого диапазона высот, более легкие газы способны подниматься и до более высоких отметок.

Описанные выше процессы приводят к тому, что концентрация заряженных частиц (ионов и электронов) и по географическим координатам, и по высоте оказывается величиной непостоянной. В зависимости концентрации ионизированного газа от высоты наблюдается ряд экстремумов. Появляются слои атмосферы, в которых количество заряженных частиц оказывается больше, чем на соседних высотах. Участки с повышенной концентрацией объединяют в слои, расположенные на разных высотах. Эти слои имеют специальные названия.

Ионизированные слои атмосферы Земли условно показаны на рисунке 6.1. На высотах 60...80 км от поверхности Земли располагается слой *D*, существующий только днем, когда велика интенсивность ионизирующего излучения Солнца. На высотах 100...120 км над поверхностью Земли располагается слой *E*. Поскольку концентрация свободных электронов зависит от време-

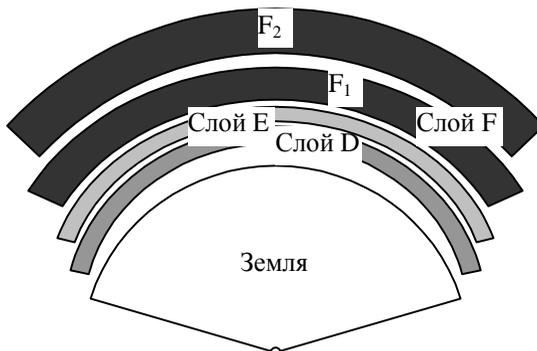


Рис. 6.1 – Ионизированные слои атмосферы Земли:  – слой D,  – слой E,  – слой F

ни года и суток и определяется влиянием излучения Солнца: днем слой E опускается ниже, ночью поднимается выше. Участки с наибольшей концентрацией свободных электронов образуют слой F, расположенный ночью на высотах 250...350 км. Днем этот слой распадается на два подслоя: F_1 и F_2 , располагающихся на высотах от 180 до 450 км от поверхности Земли.

Представление ионосферы в виде слоев достаточно условно. В реальных условиях нет четких границ между ионизированными и неионизированными областями верхних слоев атмосферы. В любом месте атмосферы можно обнаружить заряженные частицы, но их концентрация на разной высоте будет различной. И переходы от слоя к слою имеют конечную (ненулевую) протяженность. Но все же такая упрощенная картина ионосферы помогает понять процессы распространения радиоволн в верхних слоях атмосферы. Наличие «оболочки» из ионизированного газа вокруг Земли определяет особенности распространения электромагнитных волн. Поскольку с изменением времени и координат изменяются электрофизические свойства атмосферы, то меняются и условия распространения электромагнитных колебаний.

В наибольшей степени это касается изменения направления распространения радиоволн. Отклонение направления распространения радиоволн от прямолинейного имеет ту же природу, что и преломление световых волн при прохождении светом оптических сред с различными показателями преломления.

Искривление направления распространения радиоволн обусловлено изменением параметров среды распространения (в ионосфере – это изменение концентрации ионизированного газа) и зависит, в том числе, от высоты над поверхностью Земли. Показатели преломления ионосферы изменяются с высотой таким образом, что направление распространения радиоволн искривляется в сторону Земли. Такое явление называется нормальной рефракцией. Нередко это искривление становится настолько значительным, что излученные с поверхности Земли радиоволны возвращаются обратно на Землю.

Характеристики искривления направления радиоволн в существенной степени зависят от длины распространяемой волны. Чем короче длина волны, тем меньше степень преломления на-

правления радиоволн. С ростом частоты преломление радиоволн сказывается все в меньшей степени, очень короткие волны проходят сквозь атмосферу и продолжают распространяться в космическом пространстве. Диапазон радиоволн, способных преодолевать ионосферу, используется в системах космической и спутниковой связи. На рисунке 6.2 приведены траектории распространения радиоволн, используемых для космической связи с частотой f_1 и наземной связи с частотой f_2 .

Величина изменения направления распространения радиоволн зависит также от угла падения радиоволн на ионизированный слой. Чем меньше угол падения радиоволн на ионизированный слой, тем меньше он испытывает изменение направления распространения волны в этом слое. На рисунке 6.3 приведены траектории лучей 1 с углом падения на ионизирующий слой, равным γ_1 , луча 2 с углом падения на ионизирующий слой, равным γ_2 . Луч 1 с меньшим углом падения получает небольшое искривление направления распространения, а траектория луча 2 искривляется настолько, что луч снова вернется на землю.

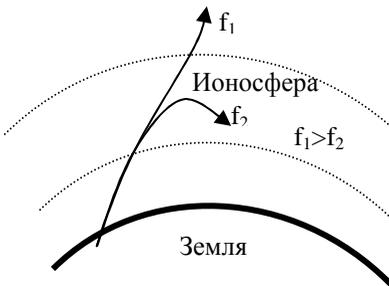


Рис. 6.2 – Преломление радиоволн при разных длинах волн

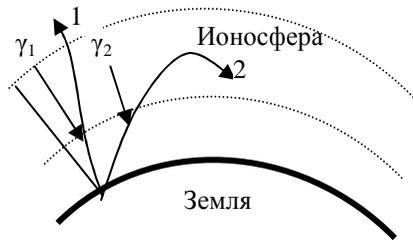


Рис. 6.3 – Преломление радиоволн при разных углах падения

В ионизированных слоях атмосферы радиоволны затухают гораздо сильнее, чем при распространении в тропосфере, причем ослабление радиоволн растет с уменьшением частоты.

Таким образом, распространение радиоволн зависит от многих факторов. В первую очередь, условия распространения электромагнитных колебаний изменяются с уменьшением длины волны (увеличением частоты колебаний). Рассмотрим осо-

бенности распространения радиоволн в зависимости от длины волны электромагнитного излучения.

6.3 Особенности распространения радиоволн различных диапазонов

Радиоволны с длиной волны более 1 километра имеют отличительную особенность – способность хорошо огибать Землю при своем распространении. Поэтому волны этой части диапазона способны распространяться далеко за пределами прямой видимости. Конечно, при удалении излучающей антенны за линию горизонта сигнал будет значительно ослаблен, но, в общем, в этом диапазоне частот может быть обеспечена достаточно уверенная связь на расстояниях в сотни и тысячи километров.

Радиоволны, которые распространяются вдоль поверхности Земли, называют *земными* или *поверхностными* волнами. В этом диапазоне частот, кроме поверхностных волн, для связи используют и пространственные волны. *Пространственными* (*ионосферными, небесными*) называют такие волны, которые, будучи излученными от поверхности Земли, отразятся от ионосферы и вновь вернуться на Землю. Траектория распространения пространственной волны, вернувшейся на Землю после отражения от ионосферы, называется скачком. Электромагнитные волны нижней части радиодиапазона также хорошо отражаются от поверхности Земли (то есть с малыми потерями). Отраженные от Земли радиоволны при достижении ионосферы повторно отражаются от ее нижних слоев, образуя следующий скачок.

Таким образом, упрощенную модель среды распространения длинных и сверхдлинных радиоволн можно представить в виде двух электропроводящих сфер с совмещенными центрами. Радиоволны распространяются в промежутке между этими сферами, попеременно отражаясь то от внешней, то от внутренней сферы. Земля вместе с нижней границей ионосферы образуют для этого диапазона своеобразный сферический волновод. В этом волноводе формируется траектория многоскачкового распространения радиоволн (рисунок 6.4). Изменения свойств ионосферы сказываются не столь существенно для этого диапазона

радиоволн, поэтому связь на этих частотах достаточно устойчива даже на далеких расстояниях и слабо зависит от времени суток.

Высокая стабильность распространения радиоволн этого диапазона используется, например, радиопередатчиками службы точных частот и времени, сигналы которых используются в системах связи всех диапазонов частот.

В заключение следует отметить об особенностях распространения электромагнитных колебаний самой нижней части радиодиапазона. Поскольку величина потерь при распространении радиоволн в среде с потерями (почва, вода, ионизированные газы и т.д.) уменьшается с увеличением длины волны, то и глубина проникновения радиоволн в эту среду увеличивается с увеличением длины волны. Эта особенность распространения радиоволн используется, например, для связи с подводными лодками, погруженными на глубину в сотни метров от поверхности океана. Для такого (единственно возможного) вида радиосвязи используют очень низкие частоты (очень длинные волны), что требует больших размеров антенн и высоких мощностей радиопередатчиков.

Радиоволны с длиной волны от 100 до 1000 метров так же, как и более длинные, распространяются и поверхностными, и пространственными волнами, но их распространение имеет свои особенности. Влияние нестабильностей параметров ионосферы на распространение радиоволн этого диапазона становится все заметнее, и длина пути, проходимого пространственной волной в точку приема, в разное время года и суток оказывается разной.

Днем в этом диапазоне волн на расстояниях до нескольких сотен километров для связи используются поверхностные волны. С увеличением частоты колебаний требуется более высокая концентрация заряженных частиц ионосферы для формирования отраженной волны, при этом радиоволны проникают во все бо-

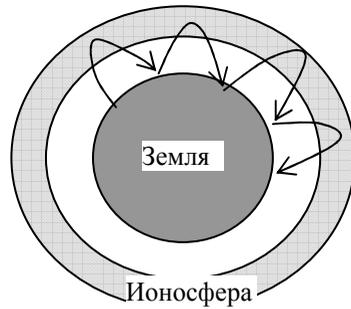


Рис. 6.4 – Распространение длинных радиоволн пространственными лучами

лее высокие слои атмосферы. Но с увеличением длины пути, проходимой радиоволной в ионосфере, возрастают ее потери. Радиоволны этого диапазона достигают слой *E* ионосферы и возвращаются к Земле. Днем более низкий слой *D* имеет высокую концентрацию и вызывает значительное ослабление радиоволн, поэтому пространственные волны этого диапазона весьма слабы.

Ночью дальность связи может быть увеличена за счет того, что ночью слой *D* практически исчезает. Ослабление радиоволны в ионосфере значительно уменьшается и влияние пространственной волны в этом диапазоне становится заметнее. В конечном итоге это приводит к тому, что на больших дальностях в местах приема может наблюдаться эффект замирания, или фединга, проявляющийся в изменении уровня принимаемого сигнала. Основной причиной замирания сигналов является интерференция пространственной и поверхностной волн. На рисунке 6.5 показаны условные пути прохождения в точку, достаточно удаленную от излучающей антенны, поверхностной радиоволны 1 и пространственной радиоволны 2. Так как длина пути, который проходят радиоволны, может постоянно изменяться, то непрерывно изменяются и фазы приходящих сигналов.

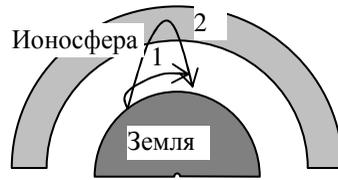


Рис. 6.5 – Распространение поверхностных и пространственных радиоволн

Результат сложения двух сигналов одной частоты, но с различными фазами, изменяется от максимального значения (когда фазы приходящих колебаний совпадают) до минимального (когда фазы этих сигналов противоположны). Если мощности колебаний, приходящих с различных направлений, приблизительно одинаковы, то уровень принимаемого сигнала, образуемого в результате интерференции, может спадать практически до нуля.

Вблизи передатчика, где присутствуют, в основном, поверхностные волны, эффект замирания практически отсутствует. На больших расстояниях, где возможно распространение и пространственной, и поверхностной волны, ночью связь может

улучшаться, но со значительными замираниями. И на очень больших расстояниях, куда практически не достигает земная волна, ночью возможен прием пространственной волны.

Радиоволны с длиной волны от 10 до 100 метров распространяются также в виде пространственной и поверхностной волн, но с ростом частоты еще более возрастает поглощение Землей энергии поверхностных волн, и они ослабевают быстрее. Поэтому в коротковолновом радиодиапазоне распространение поверхностных волн ограничивается практически пределами прямой видимости. Далее простирается зона молчания, где невозможен уверенный прием сигналов.

В диапазоне дециметровых волн также возможен эффект замирания. Причиной его также является интерференция, но уже двух или более пространственных лучей, приходящих в точку приема разными путями.

На рисунке 6.6 показан ход лучей дециметровых волн, излученных из точки А. Волны этого диапазона еще глубже проникают в ионосферу. Граница распространения земных волн обозначена точкой В. В точку С поступают пространственные волны после первого отражения от ионосферы. Пояс земной поверхности между точками В и С образует зону молчания. В этой зоне поверхностные волны уже настолько ослаблены, что не могут быть использованы для связи, а отраженные от ионосферы волны достигают поверхности Земли на гораздо большем удалении от передатчика. На еще большем удалении от точки излучения А возможен приход волны после двукратного отражения от ионосферы. Если в этот же пункт приема приходит другая пространственная волна, например, после однократного

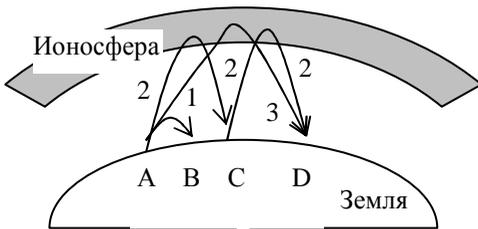


Рис. 6.6 – Распространение дециметровых радиоволн

отражения от ионосферы, то в точке приема D наблюдается интерференция сигналов и, как следствие ее, – замирание во время приема.

Радиоволны, длина которых менее 10 метров, практически не обладают дифракцией, то

есть не могут огибать препятствия на пути распространения. Концентрация заряженных частиц в ионосфере недостаточна для значительного влияния на траекторию распространения радиоволн этого диапазона, поэтому радиоволны практически не отражаются от ионосферы. С одной стороны, это делает невозможной дальнюю связь на поверхности Земли за пределами прямой видимости, с другой стороны, позволяет использовать радиоволны этого диапазона для спутниковой связи.

Таким образом, основные характеристики распространения электромагнитных колебаний ультракоротковолнового (УКВ) диапазона определяют возможную связь в этом диапазоне в пределах прямой видимости между передающей и приемной антеннами. Для увеличения дальности связи антенны устанавливают на высокие опоры (рисунок 6.7).

Максимальная дальность связи D_B (с учетом только шарообразной формы Земли, без уточнения рельефа местности) определяется высотами поднятия передающей и приемной антенн, соответственно h_1 и h_2 , и радиусом Земли R_3 :

$$D_B = \sqrt{2R_3}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}). \quad (6.4)$$

При использовании этой эмпирической формулы максимальное расстояние прямой видимости D_B и радиус Земли R_3 следует выражать в километрах, а высоты поднятия антенн h_1 и h_2 – в метрах.

В этом диапазоне волн также возможна интерференция сигналов, но уже с отраженными сигналами от Земли или других неровностей рельефа либо строений. На рисунке 6.8 условно по-

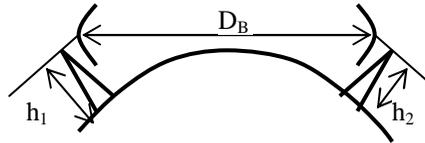


Рис. 6.7 – Максимальная дальность связи на ультракоротких волнах

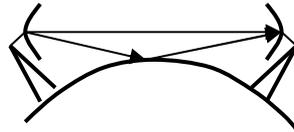


Рис. 6.8 – Распространение прямой и отраженной волн УКВ

казан ход лучей прямой и отраженной от поверхности Земли волн.

При достаточно большой мощности передатчика связь за горизонтом возможна и в этом диапазоне волн. Дальняя связь за пределами прямой видимости оказывается возможной благодаря тому, что в атмосфере Земли по ряду причин могут возникать локальные неоднородности. Эти неоднородности и вызывают рассеяние радиоволн, в том числе и в направлении пункта приема. При достаточной чувствительности приемного устройства может быть организована радиосвязь в труднодоступных районах на расстоянии нескольких сотен километров.

На рисунке 6.9 представлена схема возможной связи с использованием рассеяния радиоволн на неоднородностях атмосферы.

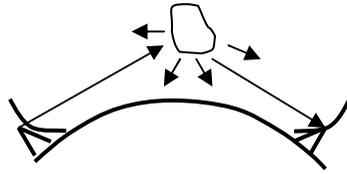


Рис. 6.9 – Рассеяние радиоволн от неоднородностей атмосферы

7 ОБОРУДОВАНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ

7.1 Антенно-фидерные устройства

Для излучения и приема электромагнитных колебаний, переносящих информацию, используются специальные радиотехнические устройства, называемые *антеннами*. Конструкции и характеристики антенн зависят от многих факторов, в частности, от назначения радиопередающего устройства, диапазона рабочих длин волн и т.д.

В метровом и дециметровом диапазонах волн одним из распространенных типов антенн является симметричный вибратор. Симметричный вибратор представляет собой два одинаковых отрезка проводника, лежащих на одной линии с небольшим зазором, величина которого много меньше длины проводника (рис. 7.1). Зазор предусмотрен для подключения источника переменного тока. Наилучшие характеристики имеют симметричные вибраторы, у которых длина каждого из проводников равна четверти длины волны излучаемого колебания. Размеры антенны в этом случае оказываются равными половине длины волны, и такая антенна называется полуволновым вибратором.

Одной из важнейших характеристик антенн является *диаграмма направленности*. Под диаграммой направленности антенны понимают зависимость плотности потока мощности от направления излучения при передаче. График диаграммы направленности представляет собой геометрическое место точек, расстояние от которых до центра координат пропорционально плотности потока мощности, излучаемой в данном направлении. При этом центр антенны помещают в центр координат. При приеме диаграмма направленности характеризует зависимость наводимой ЭДС от направления пространственной ориентации антенны. Одной из характеристик направленности является *коэффициент направленного действия D* , определяемый как отношение плотности потока мощности P_{MAX} , излучаемой в направлении максимального излучения, к плотности потока мощности P , излучаемой точечным источником такой же мощности в том же направлении:

$$D = P_{\text{MAX}}/P.$$

Диаграмма направленности симметричного вибратора приведена на рисунке 7.1,б. В плоскости, проходящей через ось проводника, диаграмма направленности симметричного вибратора напоминает «восьмерку». Это означает, что в направлении оси «Х» плотность излучаемой мощности максимальна, а в направлении оси «Y» – минимальна. Направленные свойства симметричного вибратора выражены слабо, и в достаточно широком секторе направлений φ плотность потока излучаемой мощности изменяется незначительно.

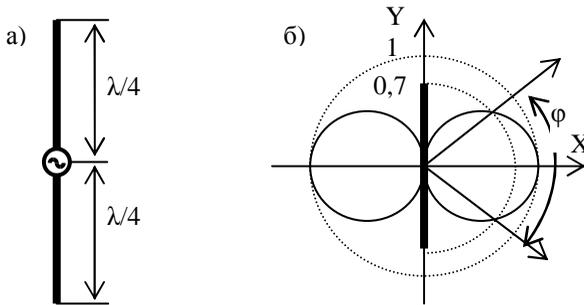


Рис. 7.1 – Полуволновой вибратор (а) и его диаграмма направленности (б)

Направленные свойства антенны можно усилить, если усложнить конструкцию антенны дополнительными элементами. На рисунке 7.2,а приведено схематическое изображение антенны типа «волновой канал». Вибратор, к которому подключен источник переменного тока при передаче (или вход приемника при приеме), называется активным. Токи, протекающие в активной антенне при передаче, создадут в окружающем пространстве электромагнитное поле. В антенне типа «волновой канал» на определенном расстоянии от активного вибратора A помещают пассивные вибраторы. Электромагнитное поле, созданное активным вибратором, наведет индукционные токи в пассивных вибраторах. В свою очередь, токи, протекающие во вторичных вибраторах, наведут в окружающем пространстве собственное электромагнитное поле. Взаимное расположение и размеры пассивных вибраторов выбирают таким образом, чтобы усилить результирующее поле в одном направлении и ослабить в дру-

гом. Пассивные вибраторы, в направлении которых от активного вибратора поле усиливается, называются директорами (D_1 , D_2 и D_3 на рис. 7.2,б), вибратор, в направлении которого результирующее поле ослабляется, называется рефлектором (Р).

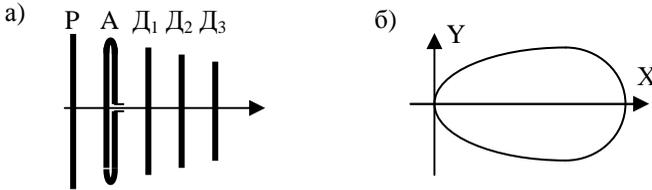


Рис. 7.2 – Антенна типа «волновой канал» (а) и его диаграмма направленности (б)

Направленные свойства антенн можно использовать как для увеличения дальности связи (в направлении максимального излучения), так и для избирательного приема в пространстве (при этом различные средства связи могут работать в разных пространственных секторах, не оказывая друг на друга мешающего влияния).

В рассмотренных выше вариантах антенн продольная ось вибратора располагалась в плоскости, параллельной поверхности земли. Возможен также вариант вертикального расположения оси вибратора. В диапазонах радиоволн относительно низких частот Земля представляет собой хороший проводник электрического тока и вертикальный вибратор может быть представлен только одной половинкой. Источник переменного тока включают между основанием вертикального вибратора и Землей (рис.7.3).

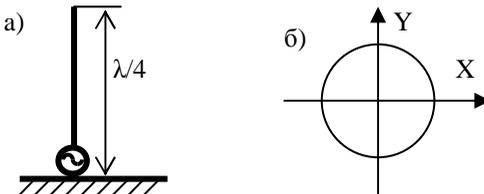


Рис. 7.3 – Несимметричный четвертьволновый вибратор (а) и его диаграмма направленности в горизонтальной плоскости (б)

Такая антенна называется несимметричной четвертьволновой вибраторной антенной. В случае проводящей Земли в каждую точку окружающего надземного пространства приходит прямая волна непосредственно от антенны и волна, отраженная от Земли. Эти волны будут наводить такое же электромагнитное поле, как и поле, наводимое полным симметричным вибратором, изолированным от Земли. Результирующее электромагнитное поле над поверхностью Земли будет совпадать с полем, сформированным полуволновым вибратором, но с уменьшенной вдвое мощностью. Диаграмма направленности такой антенны в горизонтальной плоскости представляет собой окружность: передачу (прием) можно вести с любого направления без ухудшения характеристик. Такие антенны применяются не только в диапазоне метровых волн, но и в диапазонах более длинных волн.

В дециметровом и сантиметровом диапазонах волн для передачи электромагнитных колебаний используют волноводы (металлические трубы круглого или прямоугольного сечения). Открытый конец такого волновода способен излучать в открытое пространство электромагнитную энергию. Однако резкое изменение условий распространения электромагнитных колебаний на границе волновод – открытое пространство обуславливает плохие характеристики излучателя. Для улучшения направленных свойств антенны и согласования характеристик перехода среды распространения волновод – открытое пространство излучающий конец волновода выполняют в виде рупора (рис. 7.4). Характеристики направленности рупорной антенны улучшаются с увеличением площади излучающей части рупора, называемой раскрывом антенны. И все же в качестве самостоятельного устройства рупорные антенны применяются крайне редко, и более часто являются элементами более сложных антенн.

Направленные свойства антенны можно улучшить с помощью зеркального отражателя специальной формы. Если в фокусе параболического рефлектора поместить излучатель, то отраженные от зеркала лучи будут концентрироваться в узком секторе пространства (рис. 7.5). В данном случае площадь раскрыва антенны определяется размерами рефлектора, а направленные

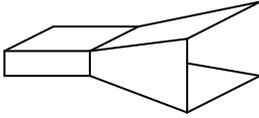


Рис. 7.4 – Рупорная антенна

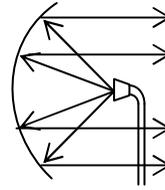


Рис. 7.5 – Зеркальная параболическая антенна

свойства антенны зависят от соотношения диаметра отражающего зеркала и длины волны излучаемого колебания. Кроме рассмотренных в технике связи используются также и другие типы антенн.

Электрические цепи, с помощью которых радиосигналы передаются от радиопередатчика к антенне или от антенны к радиоприемнику, называются *фидерами*. Конструктивное исполнение фидеров зависит от диапазона рабочих частот, уровней мощности передаваемых сигналов, условий эксплуатации и т.д.

В диапазоне длинных волн фидеры выполняют в виде волоочных линий. В области более высоких частот используют коаксиальные кабели: два проводника в форме цилиндров с совмещенными осями симметрии (coaxial – соосный). Внешний проводник коаксиального кабеля (оплетка) отделен от внутренней проводящей жилы диэлектриком и является хорошим защитным экраном для токов, протекающих по центральному проводнику, от внешних электромагнитных излучений. В диапазоне сверхвысоких частот лучшие характеристики для передачи электромагнитной энергии имеют волноводы: полые металлические трубы круглого или прямоугольного сечения.

7.2 Радиоприемные устройства

Под *радиоприемным устройством* (РПУ) понимается комплекс технических средств, предназначенных для выделения радиосигналов с определенными свойствами из множества электромагнитных колебаний, присутствующих в месте приема. Мощность полезного сигнала может составлять ничтожную долю от суммарной мощности электромагнитных колебаний в

месте приема. РПМУ предназначено для выделения полезного радиосигнала из смеси принятых сигналов и восстановления передаваемого сообщения.

Основные характеристики РПМУ во многом определяются структурой его построения. В настоящее время используется несколько принципов построения РПМУ. Рассмотрим две наиболее часто встречающиеся технологии приема радиосигналов.

Схема *приемника прямого усиления* приведена на рисунке 7.6. На вход приемника поступает вся совокупность сигналов, наведенных в антенне в месте приема. Наряду с полезными сигналами в приемной антенне наводятся электромагнитные колебания других радиостанций и иных источников радиоизлучения.

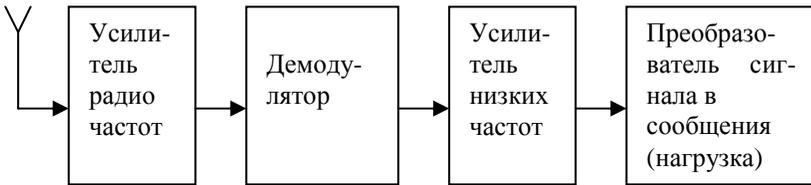


Рис. 7.6 – Структурная схема приемника прямого усиления

Усилитель радиочастот из смеси наведенных в антенне сигналов выбирает и усиливает только те колебания, частота которых соответствует несущей частоте полезного сигнала. Затем выделенный и усиленный до необходимого уровня полезный радиосигнал поступает на демодулятор. *Демодулятор* выполняет операции, обратные операциям модуляции в передатчике, в итоге на выходе демодулятора формируется сигнал, соответствующий передаваемому сообщению. В большинстве случаев этот сигнал слаб и поэтому усиливается до необходимой величины в *усилителе низких частот*. *Нагрузкой* усилителя низких частот является преобразователь сигнала в сообщения. При передаче речи в качестве преобразователей сигнала в сообщении используют, например, громкоговорители, головные телефоны и т.д.

Такая структура приемного устройства называется схемой прямого усиления, потому что принимаемый сигнал усиливается без дополнительных преобразований, на той же самой частоте, на которой он был излучен. При усилении слабых сигналов

схема усилителя радиочастот усложняется, становится многокаскадной. Схема приемника очень проста, но с ростом частоты принимаемого сигнала становится все труднее обеспечить хорошую избирательность и чувствительность принимаемых сигналов, особенно при перестройке несущей частоты.

Более универсальной является техника приема с преобразованием частоты принимаемых сигналов. Обобщенная структурная схема супергетеродинного приемника приведена на рисунке 7.7.

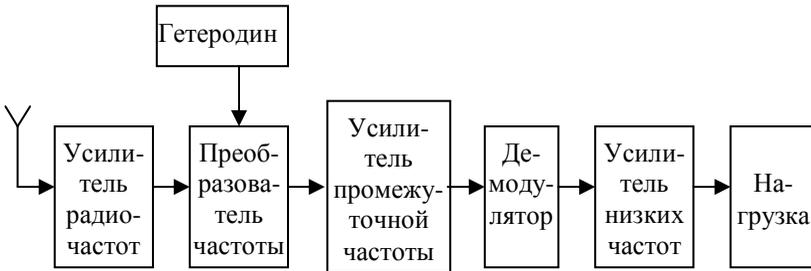


Рис. 7.7 – Структурная схема супергетеродинного приемника

Отличительной особенностью супергетеродинного приема является преобразование (перенос) спектра принимаемого сигнала из области несущей частоты в область промежуточной частоты с помощью местного маломощного генератора (гетеродина). Достоинством такой технологии приема является то, что при изменении несущей частоты принимаемого сигнала нет необходимости изменять параметры настройки многокаскадного усилителя радиочастот, достаточно изменить частоту гетеродина. Технически это гораздо проще, чем добиваться одинакового изменения параметров в каскадах со сложными характеристиками. В конечном итоге это дает возможность строить приемники радиосигналов с хорошими показателями чувствительности и избирательности, так как основное усиление сигнала осуществляется в постоянном диапазоне частот.

Супергетеродинный приемник работает следующим образом. На вход *усилителя радиочастот* (УРЧ) поступает вся совокупность сигналов и помех, наведенных в антенне в месте приема. Усилитель радиочастот выполняет предварительную селек-

цию (отбор) сигналов с частотой, равной частоте полезного (принимаемого) сигнала. Усиление сигналов в УРЧ обычно невелико (в простейших приемниках на радиочастоте совсем нет усиления).

Основное усиление сигнал получает в *усилителе промежуточной частоты* (УПЧ), на вход которого поступают продукты преобразования, получаемые в *преобразователе частоты* при смешивании принимаемого сигнала с выхода УРЧ и колебаний *гетеродина*. Преобразователем частоты называют устройство, с помощью которого переносится спектр принимаемого сигнала, расположенный в районе частоты несущего колебания, называемый радиочастотой, в область несущих колебаний с другим значением частоты, называемой промежуточной частотой. Если преобразование сигнала выполнено без искажений, то спектр принимаемого сигнала переместится параллельно по оси частот, на величину, равную частоте гетеродина, а значение промежуточной частоты $f_{ПЧ}$ будет равно

$$f_{ПЧ} = |f_C - f_H|, \quad (7.1)$$

где f_C и f_H – частоты, соответственно, сигнала и гетеродина.

При таком преобразовании частоты сохраняется вся информация, заложенная в параметрах модуляции несущего колебания принимаемого сигнала (отличается только само значение несущей частоты). Спектры принимаемого сигнала, гетеродина и сигнала промежуточной частоты приведены на рисунке 7.8.

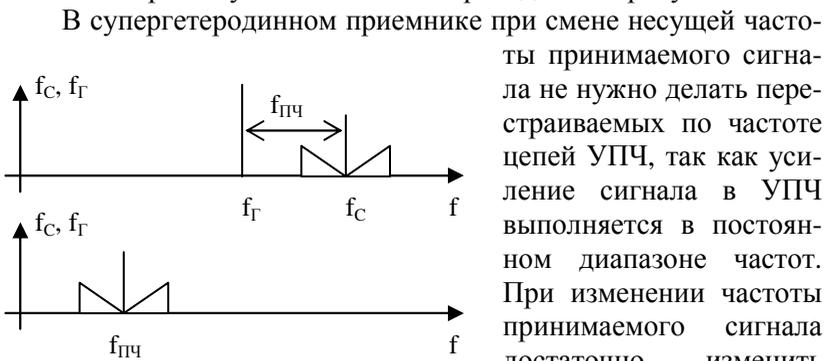


Рис. 7.8 – Спектры сигналов при супергетеродинном приеме

ты принимаемого сигнала не нужно делать пере-страиваемых по частоте цепей УПЧ, так как усиление сигнала в УПЧ выполняется в постоянном диапазоне частот. При изменении частоты принимаемого сигнала достаточно изменить частоту гетеродина так, чтобы выполнялось соотношение (7.1). С одной

стороны, это упрощает построение приемника в целом, с другой стороны, позволяет улучшить характеристики приема сигналов: избирательность и чувствительность. Следует отметить, что эти преимущества возрастают с увеличением частоты принимаемого сигнала.

Последующие узлы приемника – *демодулятор, усилитель низких частот, нагрузка* – выполняют те же операции, что и подобные каскады приемника прямого усиления.

Основным недостатком супергетеродинного приемника является возможность приема сигналов с другой несущей частотой (так называемые паразитные каналы приема). Соотношение (7.1) выполняется как при $f'_c = f_\Gamma + f_{\text{ПЧ}}$, так и при $f''_c = f_\Gamma - f_{\text{ПЧ}}$. Это означает, что приемник может принимать одновременно сигналы двух станций, как с частотой f'_c , так и с частотой f''_c . Один из этих сигналов соответствует основному каналу приема и является полезным сигналом, второй канал приема называют зеркальным каналом. Сигнал зеркального канала является помехой основному каналу приема, и принимаются меры для уменьшения влияния зеркального канала. Для этого во входных цепях приемника (до преобразователя частоты) обеспечивают разные условия прохождения сигналов с частотами f'_c и f''_c (стараясь выделить полезный сигнал и, наоборот, подавить зеркальный канал). Частоты этих сигналов отличаются на довольно большую величину (равную удвоенной промежуточной частоте $2f_{\text{ПЧ}}$), поэтому требования к УРЧ в супергетеродинном приемнике не такие жесткие, как в приемнике прямого усиления.

Радиоприемные устройства можно классифицировать:

- по назначению – вещательные (радиовещательные и телевизионные), профессиональные (магистральные приемники радиорелейных и спутниковых линий связи и т.п.) и специальные радиоприемные устройства (радиолокационные, радионавигационные и т.д.);
- по структуре построения (прямого усиления, супергетеродинные приемники и т.д.);
- по диапазону рабочих частот;
- по условиям эксплуатации (стационарные, переносные и т.д.).

Основными характеристиками радиоприемных устройств являются чувствительность, избирательность, помехоустойчивость.

Избирательностью (селективностью) называют свойство приемного устройства, позволяющее отличать по определенным признакам полезный радиосигнал от радиопомех. Другими словами, избирательность – это способность радиоприемного устройства выделять нужный сигнал от множества электромагнитных колебаний, наведенных в приемной антенне, ослабляя все остальные мешающие сигналы.

Сигналы можно избирать по различным признакам. Пространственная избирательность связана с направлением прихода радиосигналов и обеспечивается характеристиками направленности приемных антенн. Частотная избирательность характеризует способность радиоприемного устройства выделять из совокупности сигналов и помех, действующих на входе, сигнал, соответствующий частоте настройки радиоприемника.

Чувствительность приемника отражает способность радиоприемного устройства принимать слабые радиосигналы. Проблема усиления слабых сигналов заключается в том, что в приемнике усиливается не только полезный сигнал, но и помехи. Причем, из-за неидеальности характеристик элементов приемника с ростом коэффициента усиления помехи усиливается в большей степени, чем полезный сигнал. Качество сигнала на выходе приемника оценивается отношением мощности сигнала к мощности шума (так называемое отношение сигнал/шум) на выходе приемника. В этих условиях чувствительность приемника определяется как минимальное значение ЭДС сигнала на входе приемного устройства, при котором отношение сигнал/шум на выходе устройства не превышают допустимых значений.

Под *помехоустойчивостью* понимается способность приемного устройства функционировать с требуемыми характеристиками качества приема в условиях помех.

7.3 Радиопередающие устройства

Под *радиопередающим устройством* (РПУ) понимают комплекс оборудования, предназначенный для формирования и

излучения радиосигналов. Основными узлами РПДУ являются генератор несущей частоты и модулятор. В современных системах связи РПДУ содержит и другое оборудование, обеспечивающее совместную работу средств связи: источники питания, системы синхронизации, автоматического управления, контроля и сигнализации, защиты и т.д.

Обобщенная структурная схема радиопередающего устройства с амплитудной либо фазовой модуляцией сигналов приведена на рисунке 7.9.

Первичный сигнал, подлежащий передаче, поступает на входную цепь. Входная цепь обеспечивает согласование этого сигнала с РПДУ, в конечном итоге, это определяется параметрами модулированного радиосигнала, передаваемого в линию.

Генератор несущей частоты формирует колебания несущей частоты, которые и являются переносчиками сообщения. В современных системах связи генератор несущей частоты выполняют в виде синтезатора частот. Синтезатор частот – устройство, предназначенное для формирования в заданном диапазоне частот высоко стабильных колебаний, определяемых стабильностью параметров задающего генератора.

Модулятор – узел, в котором на параметры несущего колебания накладывается передаваемое сообщение. При формировании в РПДУ радиосигналов с амплитудной или фазовой модуляцией синтезатор частоты вырабатывает колебания с постоянной частотой. При дополнительном воздействии модулирующим сигналом на частоту выходного колебания синтезатора частот можно получить радиосигналы с частотной модуляцией.



Рис. 7.9 – Обобщенная структурная схема радиопередающего устройства

Усилитель мощности предназначен для увеличения уровня радиосигнала до величины, определяемой мощностью излучаемого сигнала в системе связи. Необходимое согласование РПУ с антенной обеспечивает *выходная цепь*.

Преимущества цифровых методов обработки информации (передача, хранение, преобразование) способствовали широкому распространению цифровых систем связи. Достоинством представления сигналов в цифровом виде является также ее универсальность, то есть независимость от природы передаваемых сообщений. Современные системы связи способны передавать не только дискретные сообщения, но и непрерывные (как по времени, так и по уровню). Для преобразования непрерывных сигналов в цифровые служат специальные устройства – аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

В *аналого-цифровом преобразователе* из сигнала, непрерывного по времени, сначала выбирают значения сигнала в определенные моменты времени. Чаще всего такие отсчеты берут через одинаковые промежутки времени. Выбранные значения сигнала называют выборками, а операцию получения отсчетов называют *дискретизацией* по времени.

На следующем этапе обработки весь диапазон возможных значений сигнала разбивают на определенное количество интервалов и выясняют, к какому из этих интервалов относится значение текущей выборки. На этом этапе обработки за значение сигнала принимается не действительное значение выборки, а ближайшее к нему округленное значение сигнала. Это значение может соответствовать середине того интервала, в который попадает данный отсчет, либо другому значению из этого интервала (начало или конец этого интервала). Операция замены действительного значения сигнала ближайшим к нему округленным значением называется *квантованием*, а ширину этого интервала называют шагом квантования. Если все интервалы, на которые разбиваются возможные значения сигнала, одинаковые, то такое квантование называется равномерным. В некоторых случаях, например, при передаче речи, оказывается выгодным такие интервалы делать неодинаковыми. В таком случае говорят о неравномерном квантовании.

На последнем этапе аналого-цифровой преобразователь заменяет действительное значение выборки номером того интервала, в пределах которого находится значение данного отсчета. Операция замены значения отсчета номером (кодом) называется *кодированием*. Наибольшее распространение в современных системах получило представление отсчетов в виде двоичных кодов. Затем полученные коды передаются по системе связи.

Упрощенная структурная схема приемопередатчика цифровой системы связи приведена на рисунке 7.10. Рассмотрим работу этого устройства.

Непрерывное сообщение от источника сообщений поступает на устройство, называемое *кодером*. Под кодированием в широком смысле понимают операцию преобразования отсчетов непрерывных сигналов в последовательность кодовых символов. В результате, на выходе кодера формируются электрические сигналы, соответствующие кодовой последовательности и определяемой передаваемым сообщением.

Кодовые сигналы в виде последовательности импульсов затем поступают на *модулятор*, на второй вход которого подается колебание несущей частоты с выхода синтезатора частоты. В модуляторе выполняется соответствующая модуляция (ампли-

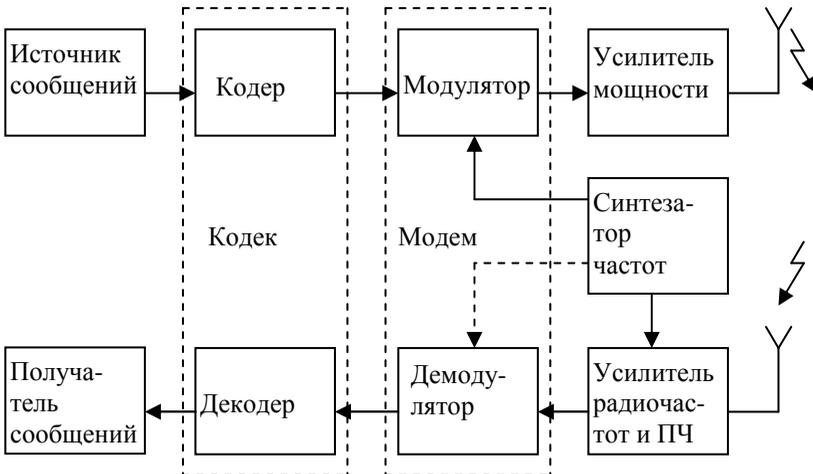


Рис. 7.10 – Приемопередатчик цифровой системы связи

тудная, фазовая, частотная и т.д.) колебания несущей частоты в соответствии с поступающей кодовой последовательностью. Затем модулированные сигналы усиливаются до необходимого уровня с помощью *усилителя мощности* и излучаются передающей антенной.

Наведенные в приемной антенне электромагнитные излучения поступают на вход усилителя и преобразователя частоты, где выделяются и усиливаются колебания несущей частоты полезного сигнала. В демодуляторе выполняется демодуляция принимаемого сообщения, и на выходе демодулятора формируется последовательность импульсов, соответствующая последовательности импульсов передаваемого сообщения (на выходе кодера), которая поступает на декодер. В декодере выполняется операция, обратная кодированию, и восстановленное сообщение направляется получателю сообщений.

В одном приемопередающем устройстве кодер и декодер обычно объединяют в единый конструктивный узел (чаще – это одна микросхема) и объединенный блок кодер-декодер по первым буквам составляющих называют *кодеком*. Аналогично, объединенный блок модулятор-демодулятор называют *модемом*.

Радиопередающие устройства отличаются по назначению, условиям эксплуатации, виду модуляции радиосигналов и другим характеристикам.

К основным энергетическим показателям РПДУ относят величину *мощности* сигнала, подводимого к антенне, и коэффициент полезного действия. Различают пиковую мощность полезного сигнала РПДУ и усредненное значение мощности за определенный интервал времени. *Коэффициент полезного действия* – это отношение полезной мощности, подводимой к антенне, к мощности, потребляемой РПДУ от источника электропитания.

Под *диапазоном частот*, в котором работает данное РПДУ, понимают такую полосу частот, которая необходима для передачи полезных сигналов в системе связи и выделена данному РПДУ для формирования радиосигналов. К сожалению, кроме полезных сигналов, радиопередающие устройства излучают и побочные колебания.

Внеполосными излучениями называют такие сигналы, формируемые РПДУ, спектры которых расположены вне полосы, отведенной для данной системы связи. Внеполосные излучения являются источниками дополнительных помех для систем связи, работающих в других полосах частот.

Важной характеристикой систем связи является стабильность частоты излучаемых колебаний. Под *нестабильностью частоты* РПДУ понимают отклонение частоты излучаемых колебаний относительно номинального значения. Недостаточная стабильность частоты ухудшает качество связи и может являться причиной помех для радиотехнических устройств, работающих в смежных диапазонах частот.

По назначению радиопередающие устройства делят на связные и радиовещательные. По условиям эксплуатации РПДУ разделяют на стационарные и мобильные (устанавливаемые на подвижных объектах: самолетные, автомобильные, носимые и т.д.). РПДУ различаются также диапазоном рабочих частот, мощностью излучаемых колебаний и т.д.

8 РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

8.1 Радиорелейные системы связи

Успешное развитие радиосвязи сопровождается увеличением скоростей и объемов передаваемой информации. Для передачи возрастающих потоков информации с малыми потерями используют сигналы с более широкой полосой, что требует расширения диапазона частот, занимаемого системой связи. В свою очередь, передача сигналов с более широкой полосой требует перехода на более высокие несущие частоты. Тем более, что расширять полосу рабочих частот систем связи в уже освоенных диапазонах волн становится невозможным из-за тесноты в эфире. Исторически сложилось так, что в первую очередь были освоены длинноволновые участки радиодиапазона, а для перспективных радиотехнических систем, как международными соглашениями, так и национальными стандартами, резервировались области более высокочастотных сигналов.

В результате, современные системы связи осваивают диапазоны все более коротких волн. К достоинствам диапазонов ультракоротких волн относится также несущественный уровень атмосферных и промышленных помех. Кроме того, широкополосные сигналы позволяют использовать прогрессивные виды модуляции и другие приемы обработки сигналов, обеспечивающие лучшие характеристики помехоустойчивости приема. В то же время нужно помнить, что радиоволны с длиной волны короче 10 метров можно эффективно использовать лишь в пределах границ прямой видимости.

Компромиссным решением при построении широкополосных систем связи, предназначенных для работы на больших дальностях, является применение *радиорелейных линий связи* (РРЛ). Радиорелейные линии представляют собой цепочку ретрансляторов, обеспечивающих поочередную передачу радиосигналов между оконечными станциями. Различают два вида радиорелейных систем передачи (РРСП) – РРСП прямой видимости, станции которых размещаются на расстоянии прямой видимости, и тропосферные РРСП, использующие рассеяние и

отражение радиоволн в нижних областях атмосферы при взаимном расположении станций далеко за пределами прямой видимости.

В РРСП *прямой видимости* для увеличения расстояния между станциями радиорелейных линий антенны ретрансляторов подвешивают на высокие сооружения (мачты, опоры, высотные строения и т.д.). В условиях равнинной местности высота поднятия антенн 60... 100 метров позволяют организовать уверенную связь на расстояниях 40... 60 километров.

Цепочку радиорелейной линии составляют радиорелейные станции трех типов: оконечные радиорелейные станции (ОРС), промежуточные радиорелейные станции (ПРС), узловые радиорелейные станции (УРС). Условная радиорелейная линия связи схематично представлена на рисунке 8.1.

На оконечной радиорелейной станции начинается и заканчивается тракт передачи. Аппаратура ОРС осуществляет преобразование сигналов, поступающих от разных источников информации (телефонные сигналы от междугородней телефонной станции, телевизионные сигналы от междугородней телевизионной аппаратуры и т.д.) в сигналы, передаваемые по радиорелейной линии, а также обратное преобразование сигналов, приходящих по РРЛ, в сигналы телерадиовещания или телефонии. Радиосигналы ОРС с помощью передающего устройства и антенны излучаются в направлении следующей, обычно промежуточной, радиорелейной станции.

Промежуточные радиорелейные станции предназначены для приема сигналов от предыдущей станции радиорелейной линии, усиления этих сигналов и излучения в направлении последующей станции РРЛ.

На каждой промежуточной радиорелейной станции установлены по две антенны, ориентированные на соседние РРСП. Каждая из антенн является приемопередающей, то есть используется и для приема, и для передачи сигналов. Одним из пре-

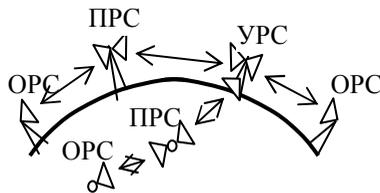


Рис. 8.1 – Радиорелейная линия связи

имущество работы радиорелейной линии связи в сверхвысоко-частотном (СВЧ) диапазоне является возможность применения высоконаправленных антенн с малыми габаритами. Небольшие размеры антенн упрощают их установку на высоких сооружениях. Хорошие направленные свойства антенн СВЧ диапазона позволяют облегчить требования к характеристикам приемопередающего тракта.

Если бы частота излучаемого сигнала промежуточной радиорелейной станции была бы равна частоте принимаемого сигнала той же ПРС, существовала бы опасность прохождения мощного сигнала, излученного в направлении последующей РРСП, на вход приемника той же ПРС, принимающего сигнал с противоположного направления от предыдущей РРСП. Объясняется это тем, что, несмотря на хорошие направленные свойства передающей и приемной антенн СВЧ диапазона, все же не удастся полностью исключить возможность попадания мощного сигнала передатчика (пусть и ослабленного направленными характеристиками антенн) на вход приемника с высокой чувствительностью. Такое несанкционированное (паразитное) прохождение сигналов передатчика промежуточной радиорелейной станции на вход приемника той же ПРС стараются уменьшить. В противном случае ПРС может перейти в режим самовозбуждения и, вместо ретрансляции принятых сигналов, передатчик ПРС будет излучать колебания, не имеющие никакого отношения к передаваемой по РРЛ информации.

Один из способов уменьшения влияния передатчика на работу приемника той же самой ПРС заключается в том, что выходящий сигнал ПРС излучают на другой частоте, смещенной относительно частоты принимаемого сигнала на величину сдвига, равного

$$f_{\text{СДВ}} = |f_{\text{ПРД}} - f_{\text{ПРМ}}|, \quad (8.1)$$

где $f_{\text{ПРМ}}$ – частота принимаемого сигнала; $f_{\text{ПРД}}$ – частота излучаемого сигнала. Величину $f_{\text{СДВ}}$ выбирают из условия гарантированного исключения взаимного влияния сигналов на выбранных частотах.

Одна цепочка приемопередатчиков РРЛ образует СВЧ симплексный (т.е. предназначенный для передачи сигналов в одном

направлении) ствол. Структура симплексного ствола с учетом плана распределения частот приведена на рисунке 8.2.

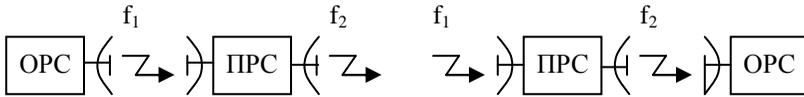


Рис. 8.2 – Распределение частот в символьном стволе радиорелейной линии

Два симплексных ствола, работающие во встречных направлениях, образуют дуплексный СВЧ ствол. Для передачи сигналов в обратном направлении может быть использована та же пара частот, что и в прямом направлении (двухчастотная система), либо другая пара частот (четырёхчастотная система). Структурная схема одноствольной дуплексной промежуточной радиорелейной станции приведена на рисунке 8.3.

Для увеличения пропускной способности радиорелейной линии на каждой радиорелейной станции устанавливают несколько комплектов приемопередающей аппаратуры, подключенных к общей антенне. Магистральные радиорелейные линии связи могут иметь до восьми дуплексных СВЧ стволов (из них 6...7 рабочих и 1...2 резервных).



Рис. 8.3 – Структурная схема дуплексной ПРС

Кроме ОРС и ПРС для ввода в радиорелейную линию дополнительных потоков информации и вывода из РРЛ части передаваемой информации используют узловые радиорелейные станции. В узловых радиорелейных станциях, как и в ОРС, имеется аппаратура преобразования телефонных, радио и телевизионных сигналов в сигналы, передаваемые по РРЛ, и аппаратура обратного преобразования. Кроме того, от узловых радиорелейных станций могут начинаться новые радиорелейные линии (ответвления).

При проектировании радиорелейных линий следует учитывать и возможные изменения условий распространения радиоволн. Так, при повышенной рефракции (искривление направле-

ния распространения радиоволн) сигналы могут распространяться далеко за горизонтом. Поэтому колебания, излучаемые радиорелейной станцией с частотой, например, f_1 , могут быть приняты не только соседней станцией, но и станцией, отстоящей от нее через три пролета. Но для последней станции это будет паразитным сигналом, так как она должна принимать сигналы только от ближайшей станции. Нежелательные сигналы от всех других станций будут вызывать ухудшение качества приема.

Для устранения подобных явлений ретрансляторы радиорелейной линии связи располагают не по прямой линии, а зигзагом, так, чтобы не совпадали главные направления соседних участков трассы, использующих одинаковые частоты. При этом используют направленные свойства антенн. Радиорелейные станции разносят от генерального направления радиорелейной линии связи таким образом, чтобы направлению на станцию, отстоящую через три пролета, соответствовали минимальные уровни диаграммы направленности антенны. На рисунке 8.4 показаны три пролета участка трассы РРЛ. На крайних пролетах используются одинаковые частоты. На такой трассе даже при сильной рефракции радиоволн сигналы от станций с номерами ПРС_i и ПРС_{i+2} практически не влияют друг на друга. На рисунке заметно, что антенны практически не воспринимают радиоволны, приходящие с направления, лежащего на прямой, связывающей эти станции.

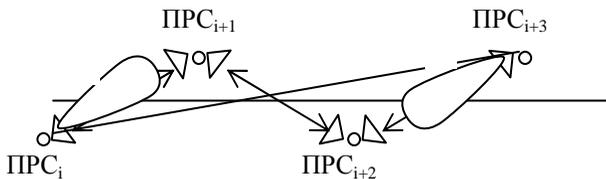


Рис. 8.4 – Схема расположения ретрансляторов на трассе радиорелейной линии связи

Тропосферные радиорелейные системы передачи используют локальные объемные неоднородности атмосферы, вызываемые различными физическими процессами, происходящими в околоземном пространстве. Эти неоднородности способны отражать и рассеивать электромагнитные колебания при их рас-

пространении в атмосфере. Поскольку неоднородности располагаются на значительной высоте, то и рассеиваемые ими радиоволны могут распространяться на большие расстояния, значительно превышающие расстояние прямой видимости.

В силу нерегулярной структуры неоднородностей тропосферы сигналы тропосферных линий подвержены глубоким замираниям. Это затрудняет передачу больших объемов информации с хорошим качеством. С учетом изложенных обстоятельств тропосферные радиорелейные линии связи оказывается выгодным строить в труднодоступных и удаленных районах при не слишком больших объемах передаваемой информации. На рисунке 8.5. показан участок трассы радиорелейной линии связи. При этом расстояния между станциями можно выбирать до нескольких сотен километров, а емкость систем связи может составлять десятки телефонных каналов.

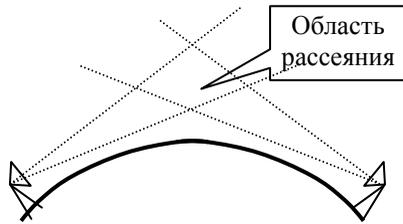


Рис. 8.5 – Тропосферная РРСП

8.2 Спутниковые системы связи. Общие сведения

Системы спутниковой связи можно рассматривать как особый вид радиорелейных линий связи, если антенну ретранслятора подвесить на опору, высота которой равна высоте орбиты спутника. В такой системе связи значительно увеличивается зона прямой видимости поверхности Земли, просматриваемой со спутника и, соответственно, размеры земной территории, с которой виден спутник в один и тот же момент времени.

Радиооборудование спутниковой системы связи, расположенное на спутнике, называют космической радиостанцией, а радиооборудование, расположенное на Земле, называют наземной радиостанцией. Канал передачи радиосигнала от наземной станции на спутник называют восходящим, а канал передачи сигналов в обратном направлении – нисходящим. На спутниках, помимо ретрансляционной аппаратуры, размещают также источники электропитания (солнечные батареи). Кроме того, на

спутниках имеется оборудование, обеспечивающее стабилизацию положения спутников на орбите и ориентирование его в пространстве (антенны ретранслятора направляют в сторону Земли, солнечные батареи – в сторону Солнца).

Характеристики спутниковых систем связи в значительной степени зависят от параметров орбиты спутника. Орбита спутника – это траектория движения спутника в пространстве.

Физическое тело выходит на круговую орбиту вокруг Земли и становится ее спутником, если ему сообщить первую космическую скорость. В этом случае центростремительная сила, равная силе притяжения спутника Землей, уравнивается центростремительной силой, определяемой линейной скоростью спутника v и расстоянием между центрами масс Земли и спутника, равного $R+h$, где R – радиус Земли, h – высота спутника над поверхностью Земли. Без учета других факторов, влияющих на поведение спутника на орбите, уравнение состояния динамического равновесия спутника имеет вид:

$$\gamma \frac{m \cdot M}{(R+h)^2} = \frac{m \cdot v^2}{R+h}, \quad (8.2)$$

где m – масса спутника; M – масса Земли, равная $M = 5,98 \cdot 10^{24}$ килограмм массы; γ – гравитационная постоянная, равная $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$; R – средний радиус Земли, равный $R = 6371$ км.

Для высот, значительно меньших радиуса Земли ($h \ll R$), выражение (8.2) упрощается:

$$m \cdot g \approx m \cdot v^2/R, \quad (8.3)$$

где $g = \gamma \cdot M/R^2 \approx 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения у поверхности Земли.

Скорость, необходимая для того, чтобы движущееся тело превратилось в спутника Земли, определяется из соотношения (8.2):

$$v = R \sqrt{\frac{g}{R+h}}. \quad (8.4)$$

Первая космическая скорость у поверхности Земли ($h \approx 0$), согласно (8.3), (8.4) равна

$$v = \sqrt{R \cdot g} \approx 7,9 \text{ км/с}. \quad (8.5)$$

Период обращения спутника вокруг Земли с учетом выражения (8.4) определяется как

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \frac{R+h}{v} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{R+h}{R \sqrt{\frac{g}{R+h}}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{(R+h)^{3/2}}{R \cdot g^{1/2}}. \quad (8.6)$$

Графики зависимости линейной скорости спутника на круговой орбите и периода обращения спутника вокруг Земли от высоты орбиты над поверхностью Земли приведены на рисунке 8.6. Более точные формулы движения спутника учитывают влияние других факторов (отличие формы Земли от шарообразной, притяжение Луны, Солнца и других небесных тел и т.д.).

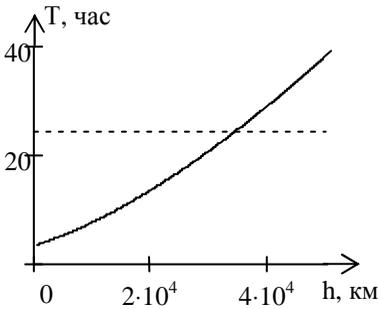


Рис. 8.6 – Зависимость периода обращения спутника вокруг Земли от высоты орбиты

Если спутнику сообщают скорость большую, чем первая космическая, то он будет двигаться по эллиптической орбите. Скорость спутника при движении по эллиптической орбите непрерывно изменяется от наименьшего значения в точке максимального удаления от Земли (апогей) до максимального значения в точке наибольшего сближения с Землей (перигей).

Орбиты могут проходить в любом направлении вокруг земного шара, но плоскость орбиты будет проходить через центр Земли. Орбиты могут быть классифицированы по различным признакам.

Орбиты различают по взаимному расположению плоскости орбиты спутника и плоскости земного экватора. Если плоскость орбиты спутника совпадает с плоскостью экватора Земли, то орбиту спутника называют экваториальной. Орбиту называют полярной, если плоскость орбиты спутника проходит через полюса Земли. Орбиту называют наклонной при других взаимных расположениях плоскости орбиты спутника и плоскости земного экватора.

Орбиты могут быть круговыми с центром окружности, расположенным в центре Земли, или эллиптическими, при этом центр Земли находится в одном из фокусов эллипса. Кроме того, орбиты различаются также по высоте над поверхностью Земли.

Уникальные свойства имеет спутник, расположенный на экваториальной орбите, на высоте около 36 тысяч километров от поверхности Земли. Период обращения спутника на такой высоте совпадает с периодом вращения Земли вокруг своей оси. Если на такую орбиту запустить спутник в направлении, совпадающем с направлением вращения Земли, то такой спутник будет казаться неподвижным относительно поверхности Земли. Спутник на такой орбите называют геостационарным.

Для построения спутниковых систем связи используют, в основном, три разновидности орбит: геостационарную орбиту, высокую эллиптическую орбиту и низко-высотную орбиту. Примерные схемы этих орбит приведены на рисунке 8.7.

Участок земной поверхности, на котором могут быть расположены наземные станции спутниковой связи, называется *зоной обслуживания*. Характеристики системы связи определяются положением спутника на орбите. Одним из важных параметров спутниковой связи является *угол возвышения* спутника для земного наблюдателя – это угол между направлением на спутник и касательной к окружности в точке расположения земной станции.

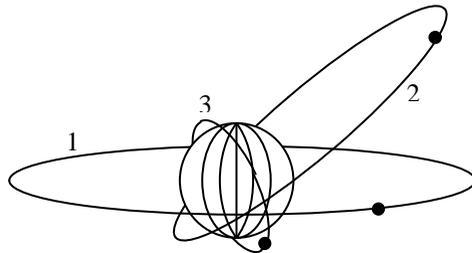


Рис. 8.7 – Орбиты спутников Земли:
1 – геостационарная; 2 – высокая эллиптическая; 3 – низко-высотная

8.3 Основные характеристики спутниковых систем связи

Схема взаимного расположения Земли и спутника представлена на рисунке 8.8. В точке *A* расположена земная станция. Если точка *A* находится на касательной *AB* к окружности, то для

возвышения $\angle DAB$ и угол охвата земной поверхности $\angle AOD$. Под углом охвата земной поверхности $\angle AOD$ понимают телесный угол, в пределах которого часть поверхности с наземными станциями спутниковой связи видна из центра Земли.

При минимальном угле возвышения $\angle AOD = \theta$ время t_3 задержки распространения сигнала до спутника и обратно изменяется в пределах:

$$\frac{2h}{c} \leq t_3 \leq \frac{2(R+h)\sin(\angle AOB)}{c \cdot \cos \theta}. \quad (8.10)$$

Коэффициент 2 отражает задержку распространения сигнала на восходящем и нисходящем участках трассы.

Геостационарный спутник находится на большой высоте, с которой видно более четверти поверхности земного шара. Это является одним из достоинств геостационарной орбиты. Так как геостационарный спутник кажется неподвижным для земного наблюдателя, то упрощается наведение антенн наземных станций (не требуется слежения за положением спутника на орбите). Но большая высота орбиты имеет и недостатки: задержка распространения сигнала составляет около 1/4 секунды, сигнал получает значительное ослабление на таких протяженных трассах. Кроме того, в северных широтах спутник виден под малыми углами к горизонту, а в приполярных областях и вовсе не виден. На геостационарной орбите находится несколько сотен спутников, обслуживающих разные регионы Земли, в том числе и отечественные спутники «Горизонт», «Экран».

Для обслуживания территорий в северных широтах используют спутники на *высокой эллиптической орбите* с большим углом наклона. В частности, отечественные спутники «Молния» имеют эллиптическую орбиту с высотой апогея над северным полушарием порядка 40 тысяч километров и перигея около 500 километров. Наклонение плоскости орбиты к плоскости земного экватора составляет 63° и период обращения 12 часов. Движение спутника в области апогея замедляется, и сеансы радиосвязи возможны в течение 6...8 часов. Данный тип спутников также позволяет обслуживать большие территории. Но недостатком их использования является необходимость слежения

антенных систем за медленно дрейфующими спутниками и их переориентирования с заходящего спутника на восходящий.

Низкоорбитальные спутники запускаются на круговые орбиты с высотой порядка 500...1500 километров и большим углом наклона орбиты (полярные и околополярные орбиты). Запуск легких спутников связи осуществляют с помощью недорогих пусковых установок. В системах связи с низко-высотными спутниками времена задержки распространения сигнала невелики, но значительно уменьшены и зоны охвата. Скорость перемещения спутника относительно поверхности Земли достаточно высока, и длительность сеанса связи от восхода спутника до его захода не превышает десятки минут. Поэтому для обеспечения связи на больших территориях на низко-высотных орбитах должны одновременно находиться десятки спутников.

В спутниковых системах связи (ССС) обычно поддерживается радиообмен между несколькими земными станциями. Земные станции подключены к источникам и потребителям программ теле- и радиовещания, к узлам коммутации сетей связи, например, междугородним телефонным станциям. Для примера рассмотрим вариант дуплексной связи между двумя земными станциями. Структурная схема такой ССС приведена на рисунке 8.9.

Сигнал U_1 , предназначенный для передачи в системе связи, поступает на передатчик Пд₁ первой земной станции. В передатчике Пд₁ осуществляются необходимые преобразования несущего колебания с частотой f_1 (модуляция, усиление и т.д.) и сформированный передатчиком радиосигнал через разделительный фильтр РФ₁ поступает на антенну земной станции 1, которая излучает его в сторону спутника-ретранслятора. Сигнал U_2 , поступающий для передачи в системе связи на вторую земную станцию, претерпевает подобные преобразования в аналогичных узлах и излучается в сторону космической станции с частотой, равной f_2 .

Радиосигналы с частотами f_1 и f_2 , наведенные в антенне космической станции, через разделительный фильтр РФ₀ поступают на приемники сигналов Пм₀₁ и Пм₀₂. Принимаемые сигналы получают в этих приемниках необходимую обработку (преобразование частоты, усиление, в некоторых системах связи предусмотрена демодуляция сигналов либо другие преобразования, предусмотрен-

ные алгоритмом обработки сигналов). Затем в передатчиках Пд_{01} и Пд_{02} сигналы переносятся на частоты сигналов нисходящих каналов и усиливаются до необходимого уровня. В результате этих преобразований сигнал с частотой f_1 на выходе цепочки, состоящей из приемника Пм_{01} и передатчика Пд_{01} , преобразуется в сигнал с частотой f_3 , а сигнал с частотой f_3 на выходе цепочки $\text{Пм}_{02} - \text{Пд}_{02}$ преобразуется в сигнал с частотой f_4 . Через разделительный фильтр РФ_0 эти сигналы поступают на антенну космической станции и излучаются в сторону земных станций.

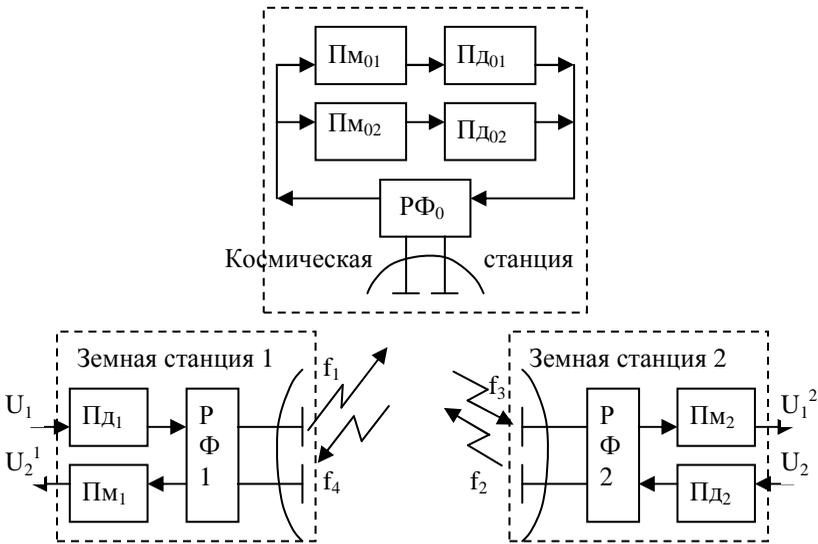


Рис. 8.9 – Структурная схема спутниковой системы связи

На Земле сигналы с частотами f_3 и f_4 достигают антенн земных станций и поступают на входы соответствующих приемников. Приемник Пм_2 настроен на частоту f_3 , соответственно, на выходе приемника будет восстановлен сигнал U_1 , подаваемый на вход системы связи со стороны земной станции 1. В свою очередь, на выходе приемника Пм_1 будет восстановлен сигнал U_2 , передаваемый земной станцией 2.

Для систем спутниковой связи выделены полосы частот отдельно для восходящих и нисходящих каналов в диапазоне частот от 0,6...86 ГГц.

8.4 Службы спутниковой связи

Одним из эффективных применений ССС является организация теле- и радиовещания с использованием спутников связи. В этом случае программы центральных студий теле- и радиовещания через ретрансляторы спутников связи передаются на сеть земных станций, принимающих сигналы спутников. Дальнейшее распределение этих сигналов по наземной сети осуществляется традиционными способами: с помощью эфирного или кабельного (проводного) телерадиовещания.

В зависимости от назначения спутниковых систем связи и типа земных станций различают следующие службы радиосвязи:

- фиксированная спутниковая служба – для связи между станциями, расположенными в определенных, фиксированных пунктах, а также распределения телевизионных программ;
- подвижная спутниковая служба – для связи между мобильными станциями, размещенными на транспортных средствах (самолетах, морских судах, автомобилях и т.д.);
- радиовещательная спутниковая служба для непосредственного приема радио- и телевизионных программ на терминалы, находящиеся у абонентов.

Фиксированная спутниковая служба традиционно развивается в направлении создания систем магистральной связи на основе мощных земных станций с антенными системами размером в несколько десятков метров. Из международных систем связи наиболее известна ССС InTelSat, через спутники которой передается около 2/3 международных телефонных переговоров и подавляющая часть телевизионных программ. В Российской системе «Орбита» используются спутники на высокой эллиптической орбите «Молния» и геостационарные спутники «Радуга» и «Горизонт».

Подвижная спутниковая служба поддерживает системы связи, в которых хотя бы одна станция была установлена на подвижных объектах. Например, система морской спутниковой связи InMarSat с помощью геостационарных спутников обеспечивает связь между морскими судами и береговыми станциями в акваториях Атлантического, Индийского и Тихого океанов.

Сочетание достижений в микроэлектронике и космической технике позволили создать системы связи с приемлемыми характеристиками на основе низкоорбитальных спутников. Низкая высота орбиты не позволяет устанавливать длительных сеансов связи с одним спутником. Непрерывность связи в таких системах может быть обеспечена увеличением количества спутников, одновременно находящихся на орбите и поочередно облетающих обслуживаемую ими территорию. Низкая стоимость запуска легких спутников делает экономически целесообразным размещение на орбите нескольких десятков спутников одновременно.

В системах спутниковой связи с использованием низкоорбитальных спутников возможна разная организация связи между абонентами. Если оба абонента находятся в зоне видимости одного спутника, между ними устанавливается прямая радиотелефонная связь через ретранслятор спутника. Если же абоненты находятся в зоне видимости разных спутников, то устанавливается специальный канал связи между этими спутниками. Если спутники находятся в пределах взаимной видимости, связь между ними может быть установлена специальная межспутниковая радиолиния. Кроме того, связь между спутниками может быть установлена через наземные сети связи, к которым подключены земные станции, находящиеся в зоне видимости каждого из спутников.

Радиовещательная спутниковая служба для непосредственного приема телевизионного вещания (НТВ) обеспечивает прием абонентами телевизионных программ в диапазоне частот 12 гигагерц. Этот частотный диапазон выбран из условия минимизации затрат на бортовое и наземное оборудование систем спутниковой связи. Для непосредственного приема программ спутникового телевидения абоненты (коллективные или индивидуальные) должны иметь дополнительное оборудование. В составе этого оборудования для приема и преобразования сигналов со спутника используют конвертор (преобразователь частоты сигнала со спутника) и антенную систему с устройством дистанционного управления антенной, с помощью которого устанавливается направление антенны на выбранный геостационарный спутник.

9 ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

9.1 Физические основы передачи оптических изображений

Под телевидением понимается передача оптических изображений с помощью технических средств на расстоянии. Параметры устройств связи, обеспечивающих передачу телевизионных сигналов, должны быть согласованы с характеристиками органов зрения человека.

Источником оптической информации для человека является видимый свет в диапазоне волн 380...760 нм, излучаемый либо отражаемый различными физическими телами. Приемником этой информации является глаз человека. Оптическая система глаза с помощью прозрачного хрусталика, имеющего форму двояковыпуклой линзы, и мышц, управляющих радиусом кривизны этого хрусталика, преобразует световой поток от объекта и фокусирует его в перевернутое изображение на задней поверхности глазного яблока, называемой сетчаткой.

Сетчатка состоит из множества нервных окончаний двух видов. Около 7 миллионов нервных окончаний, по форме напоминающие колбочки, расположены в основном в пределах небольшого участка напротив хрусталика. Этот небольшой участок сетчатки характеризуется наилучшим зрением и называется желтым пятном. Колбочки способны различать как интенсивность световой волны, несущей информацию об освещенности объекта или яркости его излучения, так и длину этой волны, несущей информацию о цвете объекта. Вокруг желтого пятна расположены более 100 миллионов нервных окончаний, по форме напоминающих палочки. Палочки являются более чувствительными рецепторами интенсивности оптических потоков, то есть способны обнаруживать более слабые световые сигналы, но палочки не способны различать длину световой волны, то есть не могут различать цвета объектов.

Светочувствительные элементы глаза преобразуют энергию световых волн в сигналы нервной системы человека, передаваемые в зрительные центры головного мозга, где и осуществляется обработка поступающей информации. В результате обработки импуль-

сов от многих миллионов нервных окончаний складывается цельный образ объекта: яркость, цвет, геометрические размеры и т.д.

Система передачи оптической информации на небольшие расстояния может быть осуществлена с помощью световодов. Световоды представляют собой прозрачные для света волокна, объединенные в жгут и способные за счет внутреннего отражения передавать оптические сигналы даже по криволинейной траектории. Если на один торец жгута из таких волокон спроектировать изображение какого-либо объекта, то это изображение может быть передано в виде суммы отдельных элементов изображения, передаваемых каждым из волокон.

Каждый из элементов такого разделенного изображения может быть передан с помощью электрических сигналов (с предварительным преобразованием оптического изображения в электрический сигнал и с обратным преобразованием электрического сигнала в оптическое изображение на приемном конце линии связи). Система связи с одновременной передачей сигналов от всех элементов изображения (параллельный способ передачи элементов изображения) требует значительных ресурсов. Более экономным оказывается способ последовательной передачи элементов изображения по одной линии связи.

В основе *последовательной передачи элементов изображения* лежит свойство зрения сохранять в памяти световые воздействия. Это свойство заключается в том, что светочувствительные нервные окончания остаются раздраженными еще какой-то интервал времени после окончания светового сигнала. Инерционность органов зрения составляет приблизительно 0,1 секунды, и в течение этого времени органы зрения как бы продолжают «видеть» на самом деле уже закончившийся световой сигнал.

Если оптические сигналы повторять редко, то органы зрения будут фиксировать отдельные световые вспышки. С увеличением частоты повторения вспышек ощущение мерцания изображения прекратится, и поток отдельных световых импульсов будет вызывать такое же ощущение, как и от источника непрерывного излучения.

Величину частоты повторения отдельных вспышек, начиная с которой возникает ощущение слитности восприятия, называют *критической частотой мерцаний* (мельканий). Крити-

ческая частота мерцаний зависит от интенсивности раздражения нервных окончаний, то есть от яркости излучения. При построении телевизионных систем учитывают, что критическая частота мерцаний, определяемая параметрами изображения на экране телевизора, составляет 40...48 Гц. Следует заметить, что с увеличением угловых размеров объекта величина критической частоты мерцаний возрастает. Это учитывается при проектировании широкоформатных телевизионных систем.

Сущность последовательной передачи элементов изображения заключается в том, что передаваемое изображение раскладывается на отдельные элементы, называемые элементами разложения, и по линии связи поочередно передается информация о каждом элементе разложения. На приемном конце линии связи поверхность экрана раскладывается на такое же количество элементов разложения, и каждому элементу разложения на приемном конце последовательно передается информация о параметрах соответствующего ему элемента разложения на передающем конце.

Сигналы от каждого отдельного элемента изображения при последовательном способе обработки можно передавать в различном порядке. Траектория, по которой перемещается элемент разложения изображения при передаче и приеме, называется *разверткой изображения*. При передаче непрерывных изображений широкое распространение получила *построчная развертка*. При построчной (прогрессивной) развертке вся площадь экрана прямоугольной формы разбивается на ряд не перекрывающихся горизонтальных строк.

Элементы разложения в строке считываются последовательно от начала строки до ее конца (строки показаны сплошными линиями на рисунке 9.1,а; строки также считываются последовательно одна за другой, образуя так называемый *растр*). Устройства, обеспечивающие развертку изображения, обладают инерционностью, то есть не могут мгновенно перескочить в начало следующей строки. На рисунке 9.1,а пунктиром показан обратный ход луча к началу новой строки. Строки располагаются плотно одна под другой, и полная совокупность строк образует *кадр* изображения.

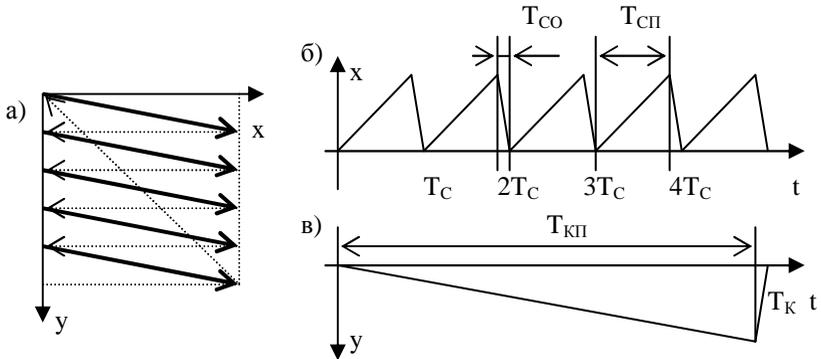


Рис. 9.1 – Построчная развертка изображения: а) формирование раstra; б) горизонтальная координата элемента разложения (развертка по строке); в) вертикальная координата элемента разложения (развертка по кадру)

Поочередный выбор элементов в строке и последовательный перебор строк в кадре обеспечивает специальное развертывающее устройство. Последовательному изменению координат выбираемого элемента по горизонтали и вертикали соответствуют пилообразные напряжения развертки по строкам и кадрам, приведенные на рисунках, соответственно, 9.1,б и 9.1,в.

На рисунке использованы следующие обозначения: x и y – соответственно, горизонтальная и вертикальная координаты элемента разложения; T_C – период разложения изображения по горизонтали, причем, $T_{CП}$ – длительность прямого хода развертки по строке, T_{CO} – длительность обратного хода; $T_К$ – период развертки изображения по вертикали, причем, $T_{КП}$ – длительность прямого хода по вертикали. При построчной развертке изображения период развертки по кадру кратен периоду развертки по строке $T_К = N \cdot T_C$, где N – целое число. В этом случае после перебора всех элементов разложения предыдущего кадра развертывающее устройство обеспечит передачу информации о первом элементе первой строки последующего кадра.

Количество элементов разложения по горизонтали и вертикали выбирается с учетом характеристик зрения человека. Наилучшее восприятие объекта обеспечивается, если он рассматривается в вертикальной плоскости под углом зрения, равным 15° ,

и в горизонтальной плоскости под углом, равным 20° . Такие соотношения обеспечиваются при расстояниях до прямоугольного экрана, в 5 раз превышающих высоту этого экрана.

Количество строк выбирается из условия необходимого разрешения в вертикальном направлении (четкость по вертикали). При этом не должна быть заметной строчная структура изображения. В разных стандартах используется различное количество строк. В отечественном телевизионном вещании принято 625 строк в кадре.

Полное изображение кадра формируется при последовательном сканировании всех строк. Если частота смены кадров выше критической частоты мерцаний, то изображение кадра выглядит единой картинкой, и при смене кадров не ощущаются мерцания.

В вещательном телевидении более эффективной оказывается *чересстрочная развертка*. При таком способе развертки изображения весь цикл формирования развертки на интервале одного кадра разбивается на два подцикла. В первом подцикле обрабатываются все нечетные строки, во втором подцикле – все четные строки. Полное изображение кадра передается за два цикла развертки. Для того, чтобы обеспечить формирование чересстрочной развертки, в кадре должно быть нечетное количество строк. Для формирования двух полей со сдвинутыми строками формирование второго полукадра должно начинаться с середины строки.

Структура раstra при чересстрочной развертки приведена на рисунке 9.2,а. В отечественном вещательном телевидении

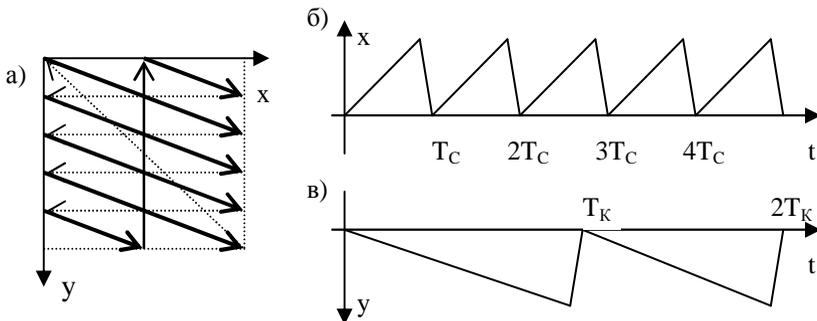


Рис. 9.2 – Чересстрочная развертка изображения: а) формирование раstra; б) сигнал строчной развертки; в) сигнал кадровой развертки

частота смены полукадров выбрана больше критической частоты мерцаний и равна частоте питающей сети переменного тока 50 Гц. Такой выбор частоты смены кадров уменьшает отрицательное влияние фона переменного тока на работу узлов телевизионной системы и, в конечном счете, на формирование изображения. На рисунках 9.2,б и 9.2,в приведены сигналы, соответственно, горизонтальной и вертикальной разверток.

9.2 Структурная схема системы передачи черно-белого изображения

Структурная схема телевизионной системы (без учета передачи звукового сопровождения телевизионных программ) приведена на рисунке 9.3.

Преобразование оптического изображения в электрический сигнал осуществляется с помощью оптико-электрического преобразователя, формирующего сигнал яркости (освещенности) элемента изображения. С помощью генераторов строчной и кадровой развертки формируется растр, и в течение кадрового интервала вырабатываются сигналы яркости от всех элементов изображения текущего кадра. Работа генераторов кадровой и строчной развертки синхронизируется специальными сигналами синхронизации кадровой и строчной развертки, вырабатываемых синхрогенератором. В видеоусилителе сигнал изображения усиливается и объединяется с дополнительными сигналами, обеспечивающими согласованное формирование растра передатчика и приемника телевизионной системы.

Сигнал на выходе видеоусилителя кроме сигнала изображения содержит кадровые и строчные синхросигналы и сигналы гашения обратного хода кадровой и строчной развертки и называется *полным телевизионным сигналом*. Полный телевизионный сигнал поступает на модулятор, на второй вход которого поступает колебание несущей частоты с выхода генератора несущей частоты. Модулированное колебание несущей частоты с выхода модулятора подается на передающую антенну после необходимого усиления в усилителе мощности.

Излучаемый передающей антенной сигнал достигает приемной антенны и вместе с сигналами других телевизионных ка-

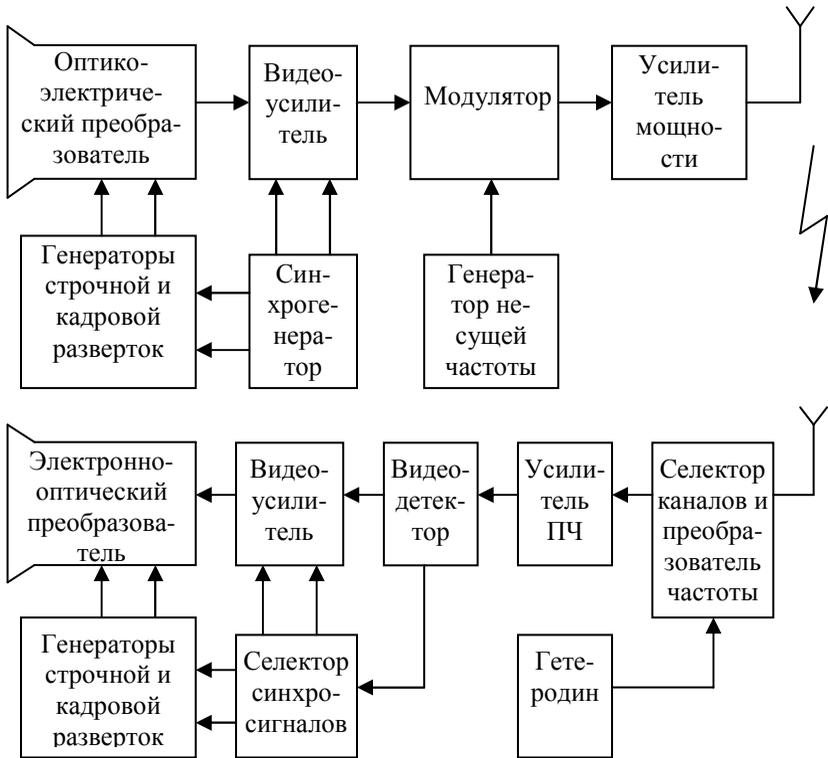


Рис. 9.3 – Структурная схема системы передачи черно-белого изображения

налов и наведенными помехами поступает на вход телевизионного приемника. Селектор каналов и преобразователь частоты с помощью гетеродина обеспечивают выбор нужного канала приема и переносят спектр принимаемого сигнала на фиксированную промежуточную частоту, на которой осуществляется основное усиление сигналов.

Усиленный сигнал промежуточной частоты поступает на видеодетектор, на выходе которого выделяется объединенный сигнал изображения и сигналы синхронизации и гашения обратного хода развертки. Сигналы видеодетектора поступают на электронно-оптический преобразователь и селектор синхросигналов. Селектор синхросигналов выделяет кадровый и строчный

синхросигналы для управления работой генераторов кадровой и строчной разверток приемника телевизионных сигналов. Генераторы кадровой и строчной развертки формируют сигналы, обеспечивающие формирование развертки изображения на экране телевизионного приемника.

Электронно-оптический преобразователь преобразует электрический сигнал в яркостную отметку одного элемента изображения. В результате совместной работы электронно-оптического преобразователя и устройства формирования развертки на экране телевизионного приемника будет сформировано черно-белое изображение, соответствующее освещенности (яркости) оригинала на входе передающего устройства системы связи.

Реальные системы телевизионного вещания помимо передачи сигналов изображения обеспечивают также звуковое сопровождение телевизионных программ. Кроме того, современные системы телевидения позволяют обеспечить дополнительные сервисные функции.

Структура полного телевизионного сигнала на интервале длительности одной строки во время прямого хода кадровой развертки приведена на рисунке 9.4.

На интервале времени $T_{\text{СПР}}$, соответствующему прямому ходу строчной развертки, передается сигнал яркости изображения. Величина сигнала в каждый момент времени зависит от освещенности (яркости) соответствующего элемента разложения и его отражательной способности. Уровень сигнала на выходе оптико-электрического преобразователя в зависимости от освещенности объекта может изменяться от так называемого уровня черного до уровня белого. Для сигнала, приведенного на рисунке 9.4, принято, что самому освещенному (яркому) элементу разложения изображения соответствует наименьшее значение сигнала на выходе оптико-электрического преобразователя, а самому темному элементу соответствует максимальное значение сигнала. Такая зависимость уровня электрического сигнала на выходе оптико-электрического преобразователя от интенсивности оптического сигнала (яркости, освещенности) называется отрицательным кодированием яркости сигнала.

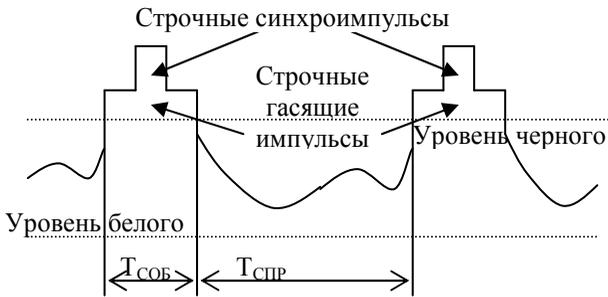


Рис. 9.4 – Полный телевизионный сигнал на интервале активной строки

На интервале времени, соответствующем обратному ходу строчной развертки, к сигналу изображения добавляется строчный гасящий импульс. Величина телевизионного сигнала на этом интер-

вале независимо от освещенности объекта принимает значение, превышающее уровень черного. Это сделано для того, чтобы ни один элемент экрана не был «подсвечен» случайной помехой во время обратного хода строчной развертки.

Во время обратного хода развертки передается также сигнал строчной синхронизации. Уровень этих сигналов находится в так называемой области «чернее черного», поэтому эти сигналы не влияют на формирование сигнала изображения.

Принцип формирования кадровых строчных импульсов и кадровых гасящих импульсов такой же, как и соответствующих строчных импульсов. В течение обратного хода кадровой развертки формируют кадровый гасящий импульс, его уровень такой же, как и уровень строчного гасящего импульса, а длительность соответствует длительности обратного хода кадровой развертки. Кадровый синхроимпульс предназначен обеспечивать синхронность кадровых разверток передатчика и приемника.

Принцип формирования кадровых строчных импульсов и кадровых гасящих импульсов такой же, как и соответствующих строчных импульсов. В течение обратного хода кадровой развертки формируют кадровый гасящий импульс, его уровень такой же, как и уровень строчного гасящего импульса, а длительность соответствует длительности обратного хода кадровой развертки.

Кадровые синхроимпульсы предназначены для обеспечения синхронности в работе кадровых разверток передатчика и при-

емника. Для того, чтобы в телевизионном приемнике можно было разделить кадровые и строчные синхроимпульсы, длительность кадровых синхроимпульсов выбрана значительно больше длительности строчных синхроимпульсов.

Поскольку кадровые и строчные синхроимпульсы имеют одинаковый уровень, то во время обратного хода кадровой развертки строчные синхроимпульсы перекрываются кадровыми синхроимпульсами и в полном телевизионном сигнале может быть потеряна информация о строчной синхронизации. За время отсутствия строчных синхроимпульсов может быть нарушен синхронизм строчной развертки. Для исключения подобной ситуации в кадровом синхроимпульсе формируют специальные так называемые импульсы врезки. Синхронизацию строчной развертки на этапе формирования кадрового синхроимпульса осуществляют по заднему фронту импульса врезки (вне интервала кадрового синхроимпульса синхронизацию строчной развертки осуществляют по переднему фронту строчных синхроимпульсов).

Структура полного телевизионного сигнала на интервале кадрового гасящего импульса приведена на рисунке 9.5.

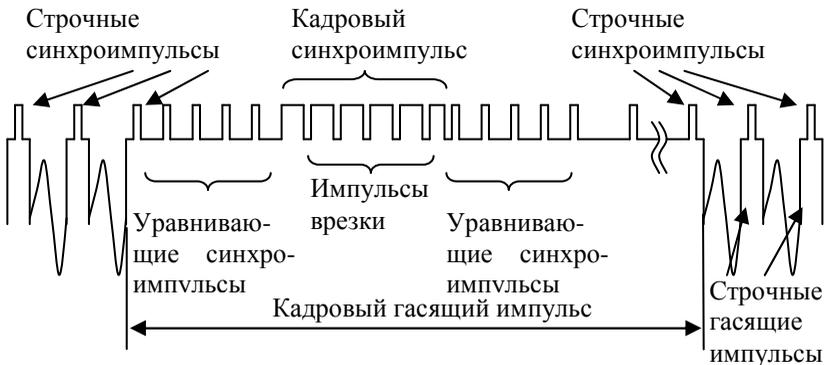


Рис. 9.5 – Полный телевизионный сигнал во время обратного хода кадровой развертки

При чересстрочной развертке кадровые синхроимпульсы начинаются с начала строки в нечетном полукадре и с середины строки в четном полукадре. Для выравнивания работы схемы выделения синхроимпульсов для четных и нечетных полукадров

частоту повторения импульсов врезки делают вдвое больше частоты следования строчных синхроимпульсов. Кроме того, непосредственно перед кадровым синхроимпульсом и сразу после него вводят по 5 импульсов с частотой следования, равной удвоенной частоте повторения строчных синхроимпульсов, называемых выравнивающими импульсами.

9.3 Передача цветных изображений

Системы цветного телевидения строят таким образом, чтобы они были совместимы с появившимися ранее системами черно-белого телевидения. Это означает, что передача сигналов цветного телевидения осуществляется на тех же каналах и в той же полосе частот, что и передачи черно-белого телевидения. Основные характеристики черно-белого телевидения соответствуют аналогичным показателям цветного телевидения.

Передача цветных изображений в фотографии, кино, на телевидении основана на теории трехкомпонентного цветового зрения. Согласно этой теории ощущение любого цвета может быть получено при смешивании в определенной пропорции трех сигналов с различными длинами волн (трех разных цветов). В качестве опорных сигналов (цветов) выбирают такие, которые при смешивании двух цветов в любых пропорциях не дают ощущения третьего цвета. Международными соглашениями рекомендуется в качестве опорных сигналов использовать монохроматические оптические сигналы с длинами волн, соответствующими красному ($\lambda_R = 700$ нм), зеленому ($\lambda_G = 546,1$ нм) и синему ($\lambda_B = 435,8$ нм) цветам. Выбор таких волн определяется как их линейной независимостью, так и доступностью формирования на имеющемся оборудовании.

Для получения сигналов основных цветов в оптико-электронных преобразователях изображения в электрический сигнал световой поток с помощью цветоразделительных зеркал или светофильтров разделяют на три составляющие с определенным спектральным составом. При обратном преобразовании каждого из сигналов получают одно из трех цветоделенных изображений. При пространственном совмещении этих монохроматиче-

ских изображений восстанавливается цветное изображение объекта.

Совместимость систем черно-белого и цветного телевидения основана на том, что система цветного телевидения должна использовать такой сигнал, который на экране черно-белого телевизора давал бы черно-белое изображение. Это означает, что в системах цветного телевидения в качестве опорного должен быть использован сигнал яркости, а дополнительные сигналы обеспечивали бы передачу цветности.

Сигнал яркости E_Y (белый цвет) может быть получен смешиванием сигналов трех основных цветов в определенных пропорциях

$$E_Y = a \cdot E_R + b \cdot E_G + c \cdot E_B, \quad (9.1)$$

где E_R , E_G и E_B – опорные сигналы основных цветов, соответственно, красного, зеленого и синего; a , b , c – коэффициенты, определяемые чувствительностью глаза к соответствующим цветам.

При формировании белого цвета обычно полагают, что источники основных цветов обеспечивают одинаковую интенсивность основных сигналов $E_R = E_G = E_B$. В различных стандартах цветного телевидения коэффициенты a , b , c принимают различные значения, например, в отечественном стандарте они приняты равными: $a = 0,299$, $b = 0,587$, $c = 0,114$.

Оптико-электронный преобразователь можно представить в виде трех фотоэлектронных преобразователей, одновременно формирующих сигналы трех основных цветов для каждого элемента разложения. Конструктивно три преобразователя, формирующие сигналы красного, зеленого и синего цветов, объединены в единый узел. В следующий момент времени передаются сигналы основных цветов соседнего элемента разложения и т.д. Схема формирования сигнала яркости из трех цветовых сигналов яркости приведена на рисунке 9.б,а. Выбором сопротивлений резисторов обеспечивается необходимый коэффициент передачи каждого из резистивных делителей в соответствии с выражением (9.1).

Для передачи цветных изображений кроме сигнала яркости передают сигналы цветности. Для получения сигнала о цвете достаточно передать лишь два цветовых сигнала. Сигнал третье-

го цвета может быть восстановлен в приемнике из сигнала яркости и сигналов двух других основных цветов. Такой способ обладает некоторой избыточностью, так как в сигнале каждого из цветов содержится также и информация о яркости.

В системах цветного телевидения более эффективным оказывается вместо сигналов двух цветов передавать так называемые цветоразностные сигналы, например:

$$E_{R-Y} = E_R - E_Y, \quad (9.2)$$

$$E_{B-Y} = E_B - E_Y. \quad (9.3)$$

Эти сигналы не несут информации о яркости и при передаче участков белого или серого цветоразностные сигналы равны нулю (при $E_R = E_G = E_B$). Формирование цветоразностного сигнала может быть обеспечено матрицей сопротивлений, приведенной на рисунке 9.6,б.

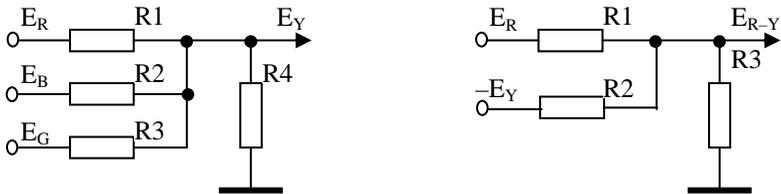


Рис. 9.6 – Формирование сигналов цветного телевидения:
а) сигнала яркости; б) цветоразностного сигнала

При передаче сигналов яркости E_Y и двух цветоразностных сигналов, к искажениям тонов которых глаз наименее чувствителен: E_{R-Y} и E_{B-Y} , в приемнике могут быть получены сигналы всех основных цветов:

$$E_R = E_Y + (E_R - E_Y), \quad (9.4)$$

$$E_B = E_Y + (E_B - E_Y). \quad (9.5)$$

$$E_G = [E_Y - (a \cdot E_R + c \cdot E_B)] / b, \quad (9.6)$$

где коэффициенты a , b , c выбраны в соответствии с выражением (9.1).

С учетом свойств зрения спектр цветоразностных сигналов может использовать меньшую полосу частот, чем спектр яркостного сигнала. При уменьшении угловых размеров рассматриваемых деталей менее $10'$ зрение от цветового переходит в монокроматическое. Без заметного ухудшения качества цветного

изображения полоса спектра цветоразностных сигналов может быть уменьшена до 1,5...2,0 МГц, при этом самые мелкие детали изображения будут воспроизводиться в черно-белых тонах.

В системе цветного телевидения, в общем случае, требуются дополнительные меры для передачи сигналов цветности в пределах стандартного телевизионного канала черно-белого изображения. В различных стандартах вещательного телевидения задача уплотнения спектра решается разными способами. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие системы цветного телевидения: NTSC (США), PAL (Германия), SECAM (Франция). В России используется французский стандарт цветного телевизионного вещания. Современные поколения телевизионных приемников позволяют получать цветные передачи различных стандартов.

Приемники цветного телевидения имеют такие же каналы изображения (яркости) и звука, как и у телевизоров черно-белого изображения. Дополнительно для обработки сигналов цветного телевидения в приемнике имеется декодирующее устройство (блок цветности), обеспечивающее декодирование принятых сигналов. Полученные в результате декодирования сигналы используются для получения цветного изображения на экране электронно-оптического преобразователя.

Одним из направлений развития телевидения является совершенствование систем, обеспечивающих высокую четкость изображения. В телевизионных системах высокой четкости изображение формируется увеличенным количеством элементов разложения, выбран более предпочтительный для пользователей формат кадра (отношение ширины экрана к его высоте) 16:9 (стандартное вещательное телевидение использует соотношение 4:3).

Самым перспективным направлением телевизионного вещания, пожалуй, является цифровое телевидение. Цифровые технологии обработки сигналов успешно применяются во всех областях связи. Особенность телевизионных сигналов, до недавнего времени тормозившая внедрение цифровых технологий, заключается в их относительно широком спектре (сигнал яркости занимает полосу 6 МГц, сигналы цветности – 1,5...2,0 МГц). Непосредственное преобразование таких широкополосных сиг-

налов в цифровой формат приводит к существенному расширению спектра. Такой «обмен» улучшения качества сигналов за счет расширения требуемой полосы частот, занимаемой сигналом, характерен для цифровых систем связи. Расчеты показывают, что для передачи оцифрованного телевизионного сигнала требуется канал с полосой пропускания более 100 МГц. Поэтому важнейшей задачей при разработке систем цифрового телевидения является решение проблемы сжатия информации при обработке видеосигналов. Современные системы сжатия информации позволяют таким образом закодировать видеоизображение, что ширина спектра оцифрованного сигнала становится соизмеримой или даже меньше ширины спектра аналогового телевизионного сигнала.

Кроме того, цифровые методы передачи и распределения сигналов позволяют организовать интерактивный (двухсторонний) обмен информации с пользователем программ телевизионного вещания. В этом случае организуется узкополосный канал обратной связи, позволяющий выбирать и получать дополнительные услуги цифрового телевидения.

10 СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

10.1 Системы персонального радиовызова

В современных условиях возрастают потребности в обмене разнообразной информацией, в том числе, и между подвижными объектами. Системы радиосвязи, в которых оборудование одного или нескольких участников связи размещается на подвижных объектах (автомобилях, кораблях, самолетах, переносные и портативные конструкции), называются системами подвижной (мобильной) радиосвязи. В зависимости от характера предоставляемых такими системами услуг на современном этапе можно выделить следующие основные виды подвижной связи:

- системы персонального радиовызова (Paging Systems);
- профессиональные системы подвижной радиосвязи (Professional Mobile Radio);
- системы сотовой подвижной радиосвязи (Cellular Radio System);
- системы беспроводных телефонов (Cordless Telephony).

Системы *персонального радиовызова* (пейджинговые системы радиосвязи) предназначены для оперативной передачи подвижному абоненту, находящемуся в зоне действия системы связи, ограниченного по объему сообщения. Так как в пейджинговой системе не предусмотрена двухсторонняя связь, то требуется меньше затрат на организацию самой связи, за счет увеличения мощности центральной передающей станции можно снизить требования к мобильному приемнику: уменьшить чувствительность приемника, его энергопотребление, вес, габариты и т.д.

Системы персонального радиовызова строятся, в основном, для обслуживания значительных территорий. В то же время имеется немало систем ограниченного применения, например, для внутрипроизводственной связи внутри одного здания или в границах группы строений.

В самом общем виде система персонального радиовызова представляет собой набор портативных приемников подвижных абонентов и общий радиопередающий центр, обеспечивающий

подготовку и излучение адресной информации. Система персонального радиовызова работает следующим образом.

Для сбора и формирования передаваемых сообщений радио-передающий центр содержит систему сбора информации и пейджерный терминал. В систему сбора информации могут поступать сообщения в различном формате: по телефонной сети общего пользования, по компьютерным сетям и т.д. Эти сообщения обрабатываются операторами или службами автоматической обработки (для сообщений, поступающих по цифровым каналам) и подаются на пейджерный терминал. Пейджерный терминал осуществляет основную обработку поступивших сообщений в соответствии с используемым протоколом. Коды каждого сообщения заносятся в буферную память и ставятся в очередь к ранее поступившим сообщениям. Каждому сообщению присваивается определенный адрес. Затем эти сообщения пакетами (группами) с определенной периодичностью излучаются в пределах зоны обслуживания сети. Для этого с помощью передатчиков сигналы пейджерного терминала модулируют несущую частоту (обычно в диапазонах метровых или дециметровых волн), в течение короткого времени излучаемую в пространство.

Малогобаритный приемник (пейджер) абонента сети подвижной связи постоянно находится в режиме дежурного приема в зоне действия системы связи. Каждый приемник имеет свой индивидуальный номер (адрес) для приема адресуемой ему информации. Для этого абонентские пейджеры постоянно анализируют адреса всех поступивших сообщений. При совпадении адреса поступившего сообщения с номером абонента это сообщение обрабатывается и сохраняется в памяти приемника. О поступившем сообщении абонент извещается звуковым или световым сигналом либо вибрацией корпуса.

Передача данных в разных системах связи осуществляется по различным протоколам. Протокол – это набор правил, которые устанавливают порядок взаимодействия участников связи. Протокол определяет основные характеристики обмена информацией: формат передаваемых сообщений, скорость передачи, способность противодействовать помехам, вид модуляции и т.д.

Одна из первых распространенных систем подвижной связи использовала протокол POCSAG, позволяющий передавать

цифровые, буквенные и тональные сообщения в виде потока бит со скоростью 512 бит/с и частотной манипуляцией несущей. При этом передаче логической единицы соответствует уменьшение частоты излучаемого сигнала на 4,5 кГц, передаче логического нуля соответствует увеличение частоты на 4,5 кГц.

Комбинации бит представляют собой кодовые слова. Формат кодовых слов в POCSAG представлен на рис.10.1. В стандарте POCSAG кодовое слово составляют 32 бита. Различают два вида кодовых слов: информационное кодовое слово и кодовое слово синхронизации. В свою очередь, информационные кодовые слова разделяют на кодовое слово адреса и кодовое слово сообщения, различающиеся первыми битами, называемые флагами. Бит, соответствующий флагу кодового слова адреса, принимает значение 0; бит, соответствующий флагу сообщения, принимает значение 1.

В информационном слове биты со 2 по 21 составляют поле информационных бит. В адресном слове комбинации бит этого поля определяют номер вызываемого абонента, а в слове сообщения они определяют передаваемую пользовательскую информацию. Таким образом, данная система может содержать 2^{21} адресов (из них каждый пейджер может иметь 4 адреса).

| | | | |
|-----------------|------|---------------------|------------------|
| Биты | 1 | 2...21 | 22...32 |
| Поле | Флаг | Информационные биты | Проверочные биты |
| Слово адреса | 0 | Код адреса | Контрольный код |
| Слово сообщения | 1 | Код сообщения | Контрольный код |

Рис.10.1 – Формат кодовых слов стандарта POCSAG

Остальные биты информационного слова (с 22 по 32) составляют поле проверочных бит и используются для обнаружения и исправления ошибок. В данной системе проверочные биты образуют такой код, который позволяет исправлять до двух ошибочно принятых бит в каждом кодовом слове.

Два информационных слова объединяются в один кадр. В свою очередь, кодовое слово синхронизации и 8 информационных кадров объединяются в пакет. Формат цикла передачи системы персонального радиовызова приведен на рис. 10.2.

Все адреса пейджеров разбиты на 8 групп, и каждой группе для приема отводится время одного кадра. Приемники каждой группы анализируют адреса поступающих сообщений во время приема только «своего» кадра. Во время приема других кадров приемник находится в ждущем режиме, чем увеличивается срок службы элементов питания и увеличивается емкость системы (количество возможных абонентов).

Слово синхронизации имеет определенный формат и передается в каждом пакете для периодической синхронизации компонентов системы персонального радиовызова.



Рис.10.2 – Формат передачи системы персонального радиовызова

По мере накопления сообщений они группируются в пакеты, и примерно каждые две минуты очередная порция пакетов излучается радиопередающим центром. Передача любой порции пакетов начинается с преамбулы. В данном стандарте преамбула определена в виде чередующейся последовательности нулей и единиц, общим количеством не менее 576, для восстановления тактовой синхронизации по окончании паузы.

Дальнейшим развитием стандарта POCSAG явилось увеличение скорости передачи до 1200 бит/с, а затем и до 2400 бит/с. Более скоростные протоколы передачи данных (до 6400 бит/с) предусмотрены протоколами ERMES и FLEX.

Ведутся работы по расширению сетей персонального радиовызова путем добавления новых зон обслуживания. При этом может быть организована как синхронная, так и поочередная работа всех передающих центров. Известны также системы дуплексной связи, когда в радиопередающий центр приходит квитанция (ответ о приеме сообщения) и, возможно, некоторая дополнительная информация.

10.2 Профессиональная подвижная радиосвязь

Под профессиональной подвижной радиосвязью понимают радиосети, доступные для ограниченного круга пользователей (аварийные, спасательные, санитарные службы, органы правопорядка, таксопарки и т.п.). В этом случае общий частотный ресурс выделяется для сведенных в рабочие группы пользователей, объединенных общими интересами. В таких сетях обычно предусмотрен как групповой вызов, так и индивидуальный вызов абонента с набором дополнительного номера.

Простейшая сеть профессиональной подвижной радиосвязи состоит из размещенной примерно в центре обслуживаемого района *базовой станции* (стационарный приемопередатчик с антенной, поднятой на высоту, требуемую для получения устойчивого сигнала в зоне обслуживания) и *мобильных станций* (радиостанции на подвижных объектах). В первых системах подвижной радиосвязи каждой группе выделялась фиксированная рабочая частота с общегрупповым либо избирательным вызовом любого из абонентов группы. Число абонентов в группе определялось возможностями радиоканала, и с ростом числа абонентов формировали новую группу, которой выделяли другой радиоканал (рис.10.3,а).

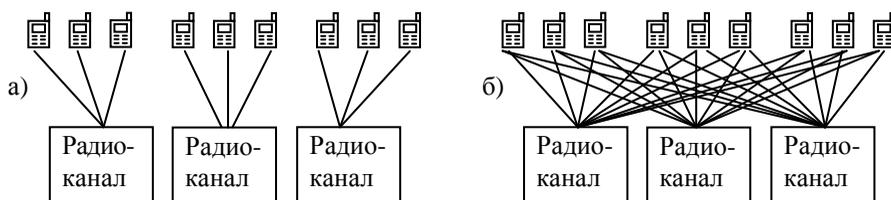


Рис.10.3 – Система профессиональной подвижной радиосвязи:
 а) с закрепленными за группой радиоканалами; б) с доступом к любому каналу из магистрали

В настоящее время системы профессиональной подвижной радиосвязи используют принцип равноправного доступа мобильных абонентов к любому из выделенных каналов радиосети, называемый транковым (или транкинговым – от английского trunk – пучок, магистраль). В транковых системах при поступ-

лении вызова каждой паре абонентов выделяется свободный канал; после окончания сеанса связи этот канал освобождается и может быть предоставлен другой паре (рис.10.3,б).

Так как мобильная станция для сеанса связи может занять любой свободный канал, то в системах связи с доступным пучком каналов пропускная способность оказывается значительно выше, чем в системах связи с закрепленными каналами.

Поскольку в таких системах радиоканал не закреплен за мобильной станцией, то требуются дополнительные средства для поиска свободного канала, а также время для его осуществления. Выделение свободного канала конкретному абоненту по его запросу осуществляют обычно одним из двух способов.

По первому способу поиск свободного канала для сеанса связи производит сама мобильная станция, при этом на каждом из выделенных каналов делается попытка установления связи с базовой станцией. Поиск свободного канала затягивает этап установления связи, поэтому такой принцип выделения каналов используется при небольшом числе радиоканалов.

По второму способу для поиска свободных каналов используется специальный канал управления базовой станции. Каналы управления каждой базовой станции разнесены по частоте, и мобильная станция сканирует все доступные сигналы управления для поиска наиболее сильного сигнала (ближайшей базовой станции при зонной структуре радиосети). Сигнал канала управления базовой станции позволяет мобильным станциям синхронизироваться с базовой станцией, а также получить информацию о временных интервалах, которые доступны для передачи сигнала вызова в этом канале. В этом временном интервале мобильная станция передает базовой станции код вызываемого абонента и свой собственный код. Базовая станция по коду вызываемого абонента устанавливает маршрут соединения с другой базовой станцией (если вызываемый абонент находится в зоне обслуживания другой базовой станции) и назначает абонентам свободные рабочие каналы.

Входящий вызов на подвижную станцию поступает по каналу управления базовой станции, который постоянно сканируют все работающие в ее зоне мобильные станции.

В аналоговых системах профессиональной подвижной радиосвязи разнос между каналами составляет обычно 12,5 кГц. В этом диапазоне может быть передана речь с амплитудной модуляцией либо частотной модуляцией с небольшой девиацией частоты, а также могут быть переданы данные со скоростью до 1200 бит/с. В большинстве цифровых систем профессиональной подвижной радиосвязи разнос частот между каналами – 25 кГц.

В системах профессиональной подвижной радиосвязи обычно бывает предусмотрена возможность оперативного переключения канала связи на другую несущую частоту как при снижении уровня принимаемых сигналов, так и при возрастании уровня помех.

В качестве примера системы транковой подвижной связи рассмотрим Европейский стандарт TETRA. В этой системе диапазон частот 380...400 МГц выделен для аварийных служб, и полоса частот 400...500 МГц – остальным пользователям. Радиоканалы образуют сетку частот с разномом 25 кГц и разнесением частот на прием и передачу – 10 МГц. Радиоканал шириной 25 кГц поочередно выделяется четырем парам (группам) пользователей (рис. 10.4), то есть реализуется принцип частотно-временного разделения каналов.

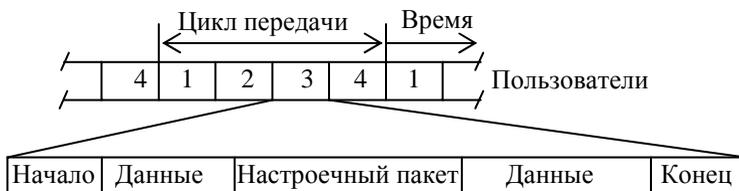


Рис. 10.4 – Формат системы передачи TETRA

Каждому из четырех пользователей поочередно отводится интервал времени порядка 57 мкс, в течение которого передаются две порции пользовательской информации по 216 бит и три порции служебной информации (для синхронизации передачи, для оптимизации настройки параметров приемника, а также защитный интервал для исключения влияния соседних каналов).

Для кодирования речи применяется специальный речевой кодер (вокодер), формирующий цифровой поток с низкой скоростью (примерно 4,6 кбит/с). Цифровая форма представления сиг-

нала является хорошей основой для дальнейшего шифрования речи с целью повышения секретности передачи. Кроме того, передача цифровых сигналов речи может быть дополнена передачей данных в формате радиомодема либо удаленного терминала.

Время установления вызова для системы TETRA не превышает 0,3 с, что приемлемо для аварийных служб. Возможна одновременная передача сообщения нескольким абонентам. Предусмотрен также режим работы двух мобильных станций напрямую друг с другом, минуя базовую станцию. Этот режим может быть использован в аварийных ситуациях, когда мобильная станция может оказаться в условиях «радиотени» (в пещере и т.п.).

10.3 Системы сотовой подвижной связи

Системы подвижной связи с одной базовой станцией, обеспечивающей работу системы на всей обслуживаемой территории (называемые радиальными), имеют два основных недостатка. Во-первых, при большом удалении от базовой станции сигнал на мобильную станцию приходит с большим ослаблением. Это вынуждает увеличивать мощность радиопередатчиков и чувствительность радиоприемников, что, в свою очередь, вызывает нежелательный рост веса и габаритов мобильной станции и сокращения цикла работы ее источника питания. Во-вторых, увеличение количества обслуживаемых абонентов приводит к пропорциональному росту необходимых радиоканалов. При дефиците частотного ресурса это тормозит дальнейшее развитие системы.

В сотовых системах связи вся обслуживаемая территория делится на относительно небольшие зоны (ячейки). Наилучшая форма такой зоны имеет вид правильного шестиугольника (при такой форме центры соседних ячеек находятся на одинаковом расстоянии друг от друга, и в любую точку на границе между соседними ячейками сигналы от соответствующих базовых станций будут приходить одинакового уровня). Организация системы связи в этом случае напоминает рисунок сот в пчелином улье, и такие системы называют *сотовыми* (рис.10.5).

Приблизительно в центре каждой соты устанавливается маломощная *базовая станция*. За каждой базовой станцией закрепляется набор рабочих частот (в простейшем случае это может быть одна частота). Базовые станции с помощью специальных каналов связи (это могут быть проводные или радиоканалы) связаны друг с другом и с центром коммутации, управляющим работой всей системы.

Антенна базовой станции в общем случае имеет круговую диаграмму направленности. Мощность радиопередатчика выбирается из условия устойчивого приема сигналов на территории всей соты. В общем случае на территории соседней соты сигнал имеет ненулевое значение, поэтому может нарушать нормальную работу радиосредств соседней ячейки.

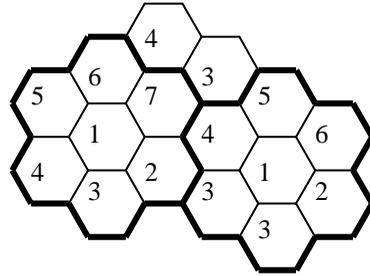


Рис. 10.5 – Структура сотовой системы

Частоты радиоканалов каждой соты для уменьшения взаимного влияния сигналов станций соседних ячеек выбирают по определенному правилу и базовые станции с одинаковым набором частот разносят на величину защитного интервала, за пределами которого взаимное влияние соседних станций пренебрежимо мало. Для этого между базовыми станциями с одинаковыми наборами частот помещают базовые станции с другим набором рабочих частот. Группа соседних сот с различными наборами частот образуют *кластеры*, в которых представлены все рабочие частоты, выделенные данной системой связи, причем ни одна из частот в полном наборе не повторяется. Полный набор частот определяет размерность кластера.

На рисунке 10.5 жирными линиями выделены кластеры с количеством частот в наборе, равном 7 (на практике формируются кластеры и с другим количеством частот). В результате вся обслуживаемая территория покрывается сетью кластеров, и в каждом кластере используется 7 различных частот (7 наборов различных частот). Таким образом, на обслуживаемой территории 7 рабочих частот, выделенных в данной системе подвижной

связи, будут повторяться столько раз, сколько кластеров образуют данную систему. И в то же время работа станций на этих частотах в соседних кластерах не будет вызывать отрицательного влияния друг на друга. Метод многократного использования частот позволяет во столько же раз повысить количество обслуживаемых абонентов.

Для дальнейшего увеличения количества обслуживаемых клиентов принимают и другие меры: уменьшают радиус соты на территориях с повышенной концентрацией мобильных станций (супермаркеты, аэропорты и т.п.). Типичный размер ячейки сотовой подвижной связи составляет несколько километров, ячейки размерами несколько сот метров называют микросотами, а ячейки размерами несколько десятков метров – пикосотами. Для этой же цели на базовых станциях используют не одну антенну с круговой диаграммой направленности, а несколько антенн с секторными диаграммами направленности. В этом случае структура повторного использования частот имеет более сложный характер, но зато одна частота в пределах одного кластера может использоваться дважды.

Структурная схема сотовой системы подвижной связи представлена на рисунке 10.6. Обслуживаемая территория разбивается на ячейки соответствующего размера. Примерно в центре каждой ячейки устанавливается базовая станция, включающая в себя приемопередающее устройство, антенно-фидерное устройство для образования радиоканалов с мобильными станциями и управляющее устройство (контроллер). *Контроллер*

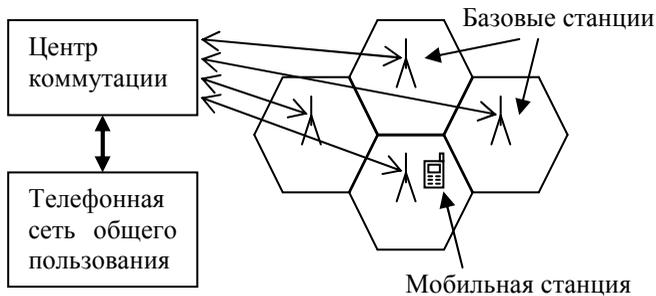


Рис. 10.6 – Структурная схема сотовой системы подвижной радиосвязи

предназначен для обработки соединений мобильной станции с остальной сетью. Мобильная станция может находиться в любом месте обслуживаемой территории. Ядром системы является *центр коммутации*, к которому подключена каждая базовая станция специальным каналом связи. Центр коммутации также имеет выход на телефонную сеть общего пользования и управляет установлением соединений, как между мобильными станциями, так и стационарными телефонами.

В сотовых системах между мобильной станцией и базовой станцией могут быть установлены каналы связи двух типов: *каналы управления* и *информационные каналы*. Каналы управления предназначены для обмена информацией, связанной с выполнением заявки на обслуживание, вызовом абонента и установлением соединения между вызывающим и вызываемым абонентом. В свою очередь канал управления делится на прямой (от базовой станции) и обратный (от мобильной станции). Информационные каналы предназначены для передачи речи или данных между пользователями.

Мобильная станция постоянно работает в режиме дежурного приема на канале вызова. Предварительно (при включении) выполняется инициализация мобильной станции: мобильная станция сканирует *прямые каналы управления* соседних базовых станций и выбирает канал с самым сильным сигналом (ближайшую базовую станцию). По свободному *обратному каналу управления* мобильная станция передает в центр коммутации свои персональные данные, которые используются для регистрации мобильной станции. Операции обмена служебной информацией с базовой станцией регулярно повторяются, пока включена мобильная станция. Кроме того, мобильная станция следит за сигналами вызова.

В системах подвижной связи должна быть обеспечена непрерывность связи при перемещении абонента из одной ячейки в другую. Для этого мобильная станция постоянно сканирует каналы управления соседних базовых станций и выбирает канал с самым сильным сигналом. Это позволяет следить за перемещением мобильной станции, и если мобильная станция входит в другую ячейку, выбирается новая базовая станция. Такая организация связи мобильных станций называется *эстафетной пе-*

редачей, которая выполняется без прерывания сеанса связи, а в современных системах и незаметно для абонентов.

Заявка на сеанс связи от мобильной станции отправляется по свободному каналу управления через базовую станцию на центр коммутации. Центр коммутации по данным регистрации мобильных станций определяет базовую станцию, в зоне действия которой в данный момент находится вызываемая мобильная станция, и направляет ей номер вызываемого абонента. Базовая станция по прямому каналу управления направляет звонок вызываемому абоненту.

Вызываемая мобильная станция в потоке служебной информации прямого канала управления распознает по номеру адресуемое ему сообщение и направляет ответ базовой станции. По этому ответу центр коммутации устанавливает канал связи между базовыми станциями, обслуживающими вызывающего и вызываемого абонентов, а также информационные каналы внутри соты, по которым обмениваются информацией базовая и мобильная станции. Соответствующие сигналы от центра коммутации передаются на базовые станции, а затем на мобильные станции, в результате чего мобильные станции перейдут на выделенные им информационные каналы. Если во время сеанса связи мобильная станция переходит в зону действия другой базовой станции, то под управлением центра коммутации старый канал заменяется новым без прерывания сеанса связи.

Несмотря на короткий исторический отрезок развития, подвижная сотовая связь прошла несколько этапов.

Первое поколение сотовых систем связи использовали аналоговые сигналы для передачи речи. Из разнообразных систем подвижной связи наибольшее распространение получили AMPS (Северная Америка), NMT (Северная Европа). Эти же системы используются в России. Так, система NMT (Nordic Mobile Telephone System) использует диапазон частот 453...467 МГц (NMT-450) с дуплексным разносом 10 МГц и 890...960 МГц с разносом 45 МГц. Каждый канал в обеих системах занимает полосу 25 кГц с частотной модуляцией сигналов.

Аналоговые системы подвижной связи первого поколения используют разные стандарты, что затрудняет их совместное

использование, имеют низкое качество связи, не допускают шифрования передаваемых сообщений.

Системы подвижной связи второго поколения используют цифровые методы передачи. Наиболее широкое распространение получили европейский стандарт GSM, американский D-AMPS и японский JDC. В России в качестве федерального стандарта принят стандарт GSM.

Система GSM-900 (Global System for Mobile communications) работает в диапазоне 890...915 МГц для передачи сигналов от мобильной станции и в диапазоне 935...960 МГц для передачи от базовой станции. Каждый из этих диапазонов разбит на 124 частотных канала с разносом между частотами 200 кГц. Временная и частотная структура сигнала GSM приведена на рисунке 10.7. В каждом частотном канале в течение *кадра* передаются поочередно сигналы 8 абонентов, то есть используется и частотное, и временное разделение каналов.

Структура канального интервала стандарта GSM приведена на рисунке 10.8. Зашифрованные информационные биты передаются двумя порциями по 57 бит. Настраиваемая последовательность (известная комбинация битов, разная для каждой ячейки)

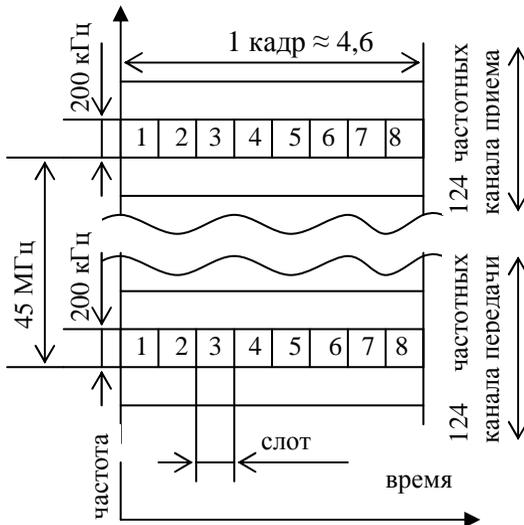


Рис. 10.7 – Временная и частотная структура сигнала GSM

используется для настройки параметров приемника по получаемому сигналу. В каждом канальном интервале передаются служебные сигналы (синхронизации, управления и т.п.), предусмотрены защитные биты, предохраняющие проникновение сигналов соседних каналов.

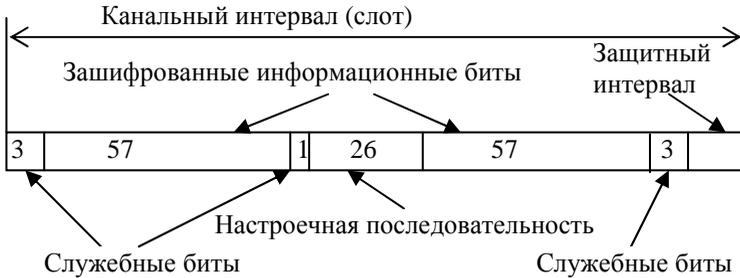


Рис. 10.8 – Структура канального интервала стандарта GSM

В системе GSM при изменении расстояния между базовой и мобильной станцией базовая станция передает сигналы управления на мобильную станцию для временного сдвига сигналов, передаваемых мобильной станцией. Это исключает попадание сигналов разных мобильных станций, находящихся на разных расстояниях от базовой станции, на общие временные интервалы. При изменении дальности на мобильную станцию также поступают сигналы управления, регулирующие мощность излучаемого сигнала.

В условиях городской застройки распространение сигнала сопровождается многочисленными отражениями и переизлучениями. В результате в точку приема поступает не только основной сигнал, но и копии этого сигнала, имеющие разные амплитуды и временные задержки. В конечном итоге многолучевое распространение приводит к замираниям сигнала. Для борьбы с замираниями в системе GSM используют медленные скачки частоты: сообщение, передаваемое абоненту в выделенном временном интервале, в каждом кадре передается на другой частоте.

10.4 Системы беспроводных телефонов

Системы беспроводных телефонов предназначены для обслуживания с высоким качеством ограниченно мобильных абонентов в зоне с радиусом несколько сот метров. Принципы построения таких систем во многом аналогичны принципам построения сотовых систем связи, но обслуживание небольших территорий делает экономически выгодным развитие этого сектора радиосвязи.

Первые беспроводные (бесшнуровые) телефоны использовались для персонального обслуживания на небольшой территории: в офисах фирм, в жилой зоне и т.д. Простейшие аппараты представляли собой телефонную трубку, связанную по радиоканалу с остальной частью телефона (называемой базовым блоком или базовой станцией). В учреждениях базовая станция обслуживала несколько трубок. Для увеличения зоны обслуживания несколько базовых станций, подключенных к коммутатору, объединяют в радиосеть. Для связи использовались аналоговые сигналы, в многоканальных системах использовалось частотное разделение каналов.

С развитием систем беспроводных телефонов стали появляться национальные и международные стандарты. Система бесшнуровых телефонов первого европейского стандарта СТ1 (Cordless Telephone) обслуживает 40 дуплексных каналов с частотной модуляцией несущей в диапазоне частот 900 МГц. Позднее емкость системы была удвоена, но основным недостатком аналоговых систем является отсутствие возможности шифрования речи.

Следующее поколение систем беспроводных телефонов на основе цифровых технологий разрабатывались на базе стандарта СТ2. В этих устройствах также используется множественный доступ с частотным разделением каналов, но дуплексную связь обеспечивает временное разделение каналов. При временном дуплексном разделении каналов сеанс передачи разбивается на временные интервалы (слоты) определенной длительности: в течение одного интервала сигнал передается от базовой станции к абоненту, в течение следующего интервала – от абонента к станции и т.д.

Рост популярности систем беспроводных телефонов объясняется не только относительной подвижностью абонента и хорошим качеством сигнала, но и возможностью передачи разнообразной цифровой информации. В Европе разрабатывается стандарт на системы беспроводных телефонов DECT (Digital European Cordless Telecommunication), предназначенный для передачи речевых сообщений и данных. Как речь, так и данные могут быть переданы в зашифрованной форме. Системы стандарта DECT могут быть использованы в качестве беспроводной учрежденческой АТС либо для обеспечения беспроводного доступа стационарных абонентских систем к различным сетям.

Системы связи стандарта DECT работают в диапазоне 1880...1900 МГц, разбитом на 10 частотных каналов с разносом 1,78 МГц. В каждом частотном канале организованы 12 каналов с временным дуплексным разнесением: в течение первой половины кадра длительностью 10 мс передаются сигналы от базовой станции к 12 телефонным трубкам, в течение второй половины кадра – от 12 подвижных трубок к базовой станции (рис. 10.9).



Рис. 10.9 – Структура каналов и сигнала стандарта DECT

В системах стандарта DECT выбор канала для связи возложен на абонентское устройство (в отличие от систем сотовой связи, где канал задает центр коммутации). К любому из 120

каналов имеет доступ любое устройство стандарта DECT. При установлении соединения абонентское устройство выбирает свободный канал с хорошим качеством связи. Контроль качества каналов продолжается в течение всего сеанса связи, и если параметры канала связи ухудшаются, то абонентское устройство переключается на свободный канал с лучшими характеристиками. Такой вид переключений относится к внутрисотовым. При перемещении абонента в зону действия другой базовой станции осуществляется межсотовое переключение.

Для защиты системы связи от несанкционированного доступа используется идентификация, как абонентских устройств, так и самого пользователя. Перед установлением соединения система связи проверяет, есть ли у мобильной станции права доступа к DECT: базовая станция направляет зашифрованный запрос абонентскому устройству, требующему связи. На этот запрос мобильная станция формирует зашифрованный ответ, и при правильном ответе абонентскому устройству предоставляется канал связи.

Для защиты передаваемой информации от прослушивания предусмотрено шифрование речи и данных.

11 МЕЖДУНАРОДНЫЕ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ В СВЯЗИ

11.1 Организации стандартизации в связи

Роль стандартизации в области телекоммуникаций трудно переоценить. Производители оборудования, которое соответствует действующим стандартам, имеют широкий рынок сбыта. Это стимулирует развитие высоких технологий и способствует снижению затрат при производстве продукции. Кроме того, оборудование различных производителей, выполненное по единым стандартам, позволяет организовать связь, в том числе, и международную. Разработкой общих правил, направленных на совместное использование оборудования, и занимаются органы стандартизации.

По диапазону охвата различают стандарты международные, национальные и фирменные. Стандарты различного уровня разрабатывают организации, объединяющие интересы как производителей, так и потребителей. В процессе подготовки стандарта обеспечивается всестороннее его обсуждение и учет мнений всех заинтересованных сторон.

Из международных организаций стандартизации наибольшее значение в области связи имеют следующие.

Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization – *ISO*) разрабатывает стандарты в различных областях деятельности, в том числе и в области телекоммуникаций. Например, широко известны стандарты качества серии ISO 9000. В области телекоммуникаций одним из широко используемых стандартов ISO является семиуровневая модель взаимодействия открытых систем. Членами ISO на добровольной основе являются национальные организации стандартизации.

Международный союз электросвязи (International Telecommunication Union – *ITU*) является специализированным органом ООН. Членами ITU (также на добровольной основе) являются государства – участники союза. Подготовительные работы по формированию стандартов ведутся в следующих секторах ITU:

сектор радиосвязи ITU (ITU Radio communication Sector – *ITU-R*) вырабатывает стандарты в области радиосвязи в мировом масштабе; *сектор стандартизации телекоммуникаций ITU* (Telecommunication Standardization Sector of ITU – *ITU-T*) подготавливает международные стандарты в области телекоммуникаций. В состав ITU входит также *сектор развития электросвязи* (Telecommunication Development Sector of ITU – *ITU-D*).

Деятельность ITU охватывает практически все направления работ в области связи. Результаты работы ITU (стандарты) издаются в виде Рекомендаций (Recommendation), объединенных в серии. Рекомендации не являются обязательными для применения, но фактически они широко используются на практике. На Рекомендации ITU часто ссылаются в технических условиях, прилагаемых к поставляемому оборудованию. Рекомендации ITU также широко используются в документах других организаций стандартизации.

В Европе вопросами стандартизации в области связи занимаются следующие организации:

Европейский институт стандартизации в области телекоммуникаций (European Telecommunications Standards Institute – *ETSI*) определяет техническую политику в области связи для стран – членов Европейского сообщества;

Европейская конференция почтовых и телекоммуникационных ведомств (Conference of European Post and Telecommunications *CEPT*) разрабатывает стандарты Европейского уровня в области связи.

Значительную роль в развитие средств связи вносит неправительственная организация – *институт инженеров по электротехнике и электронике* (Institute of Electrical and Electronic Engineers – *IEEE*).

Из национальных организаций, внесших наиболее существенный вклад в развитие средств связи и занимающихся проблемами стандартизации в этой области, следует отметить такие организации:

Американский институт национальных стандартов (American National Standards Institute – *ANSI*) разрабатывает стандарты для использования в США, затем многие из этих

стандартов утверждаются международными организациями стандартизации;

Ассоциация телекоммуникационной промышленности (Telecommunication Industrial Association – TIA) является одной из групп ANSI по телекоммуникациям;

Ассоциация электронной промышленности (Electric Industrial Association – EIA) также одна из групп ANSI.

В Российской Федерации национальные стандарты во всех областях деятельности разрабатывает Государственный Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации (Госкомстандарт). Работы, связанные с подготовкой стандартов в области связи и контроль их исполнения, осуществляют подразделения министерства связи: департаменты и соответствующие комиссии.

В заключение следует отметить, несмотря на громадную положительную роль, стандартизация имеет и отрицательные стороны. Следование стандартам на каком-то этапе развития техники становится тормозом внедрения новых технологий до тех пор, пока новый, более прогрессивный стандарт не пройдет этап отработки, проверки, согласования и утверждения.

11.2 Общие сведения о связи в Российской Федерации

Связь Российской Федерации (СРФ) представляет собой совокупность сетей и служб и функционирует на территории России как взаимоувязанный производственно-хозяйственный комплекс [Б-к]. СРФ предназначена для удовлетворения потребностей населения, органов государственной власти, обороны, безопасности, охраны правопорядка, а также хозяйствующих субъектов в услугах электрической и почтовой связи. Связь совместно со средствами вычислительной техники создает техническую базу информатизации общества. Сети связи совместно с информационно-вычислительными сетями образуют информационную инфраструктуру страны.

Связь Российской Федерации подразделяется на Федеральную связь и производственную. Структура СРФ представлена на рисунке 11.1. Федеральная связь в свою очередь делится на Федеральную электросвязь и почтовую связь. Электросвязь вклю-

чает в себя телефонную, документальную связь, радиовещание и телевидение, выделенную в отдельную группу электросвязи «Радиовещание и телевидение». Почтовая связь включает обычную почтовую связь для населения и специальную почтовую связь. Электросвязь в России осуществляется во Взаимоувязанной сети связи (ВСС) России, а также по выделенным, внутрипроизводственным и технологическим сетям. В свою очередь, ВСС подразделяется на сети общего пользования и ведомственные, то есть сети ограниченного пользования.



Рис. 11.1 – Связь Российской Федерации

Органами управления в области связи РФ являются:

- Министерство транспорта и связи Российской Федерации, включая Департаменты Министерства транспорта и связи, а также состоящие при министерстве Государственную комиссию по электросвязи (ГКЭС), Государственную комиссию по радиочастотам (ГКРЧ), Государственную комиссию по информатизации (ГКИ);
- Федеральное агентство правительственной связи и информации при президенте РФ (ФАПСИ).

Задачей органов управления является обеспечение устойчивой и качественной работы средств и сетей связи. Министерство связи формирует политику в области связи и обеспечивает регу-

лирование деятельности в области использования радиочастотного спектра и орбитальных позиций спутников связи гражданского назначения для целей телерадиовещания, развития средств массовых коммуникаций и распространения средств массовой информации. Федеральное агентство правительственной связи и информации обеспечивает специальными видами связи органы государственной власти РФ.

Государственная комиссия по радиочастотам осуществляет регулирование использования радиочастотного спектра и позиций спутников связи. Органы Департамента по надзору за связью и информатизацией обеспечивают контроль над деятельностью операторов связи.

Структура федеральных органов власти в области связи на территории РФ представлена на рисунке 11.2.

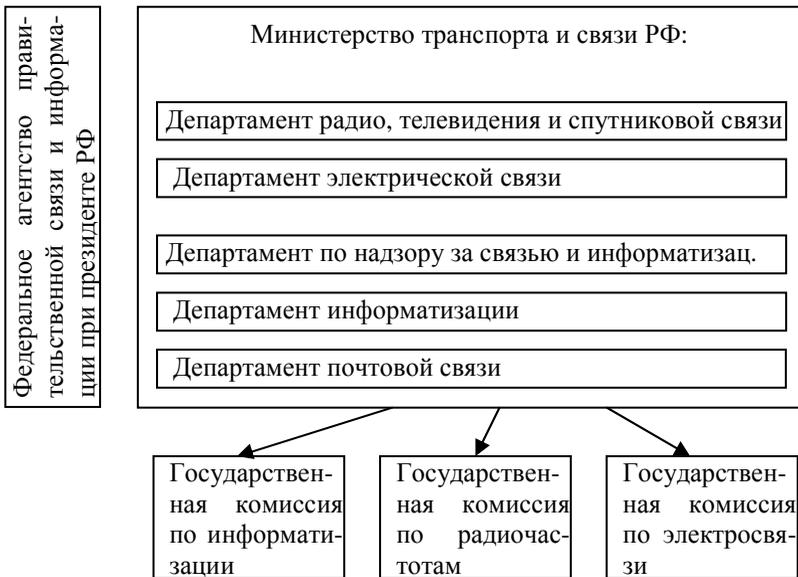


Рис. 11.2 – Федеральные органы связи РФ

Основу электрической связи России составляет Взаимовязанная сеть связи, представляющая собой комплекс технологически сопряженных сетей общего пользования (ОП) и ведомственных сетей на территории Российской Федерации под общим

централизованным управлением независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности. В ВСС не входят выделенные сети физических и юридических лиц, а также внутрипроизводственные и технологические сети связи учреждений и предприятий, создаваемых для управления внутрипроизводственной деятельностью и технологическими процессами и не имеющими выхода на сети связи общего пользования. Состав ВСС представлен на рисунке 11.3.

Главные составляющие ВСС – сети связи ОП, открытые для всех пользователей на территории Российской Федерации. Благодаря своей разветвленности, широкому кругу охватываемых абонентов эти сети имеют статус федеральных сетей. В зависимости от масштабности различают сети федерального, зонального или местного значения. К сетям связи ОП относятся сети телефонной, документальной связи, передачи данных и сетей распределения программ телевидения и радиовещания.

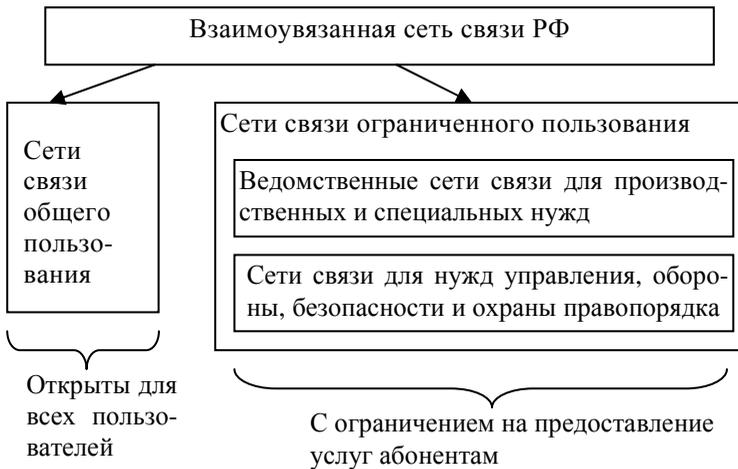


Рис. 11.3 – Состав Взаимоувязанной сети связи РФ

Ведомственные сети связи создаются для удовлетворения производственных и специальных нужд различных ведомств и имеют выход в сеть связи ОП.

11.3 Стандартизация высшего профессионального образования в РФ

Высшее профессиональное образование в нашей стране, в том числе и в области связи, обеспечивается в соответствии с законом Российской Федерации «Об образовании» и Государственным образовательным стандартом (ГОС) высшего профессионального образования (ВПО), утвержденным Постановлением Правительства РФ в 1994 г.

Согласно этим законам [10], высшее профессиональное образование – образование на базе среднего общего или среднего профессионального образования, осуществляемое в высшем учебном заведении по основным профессиональным образовательным программам, отвечающим требованиям, установленным ГОС ВПО, завершающееся итоговой аттестацией и выдачей выпускнику документа о высшем профессиональном образовании.

Высшее учебное заведение – образовательное учреждение, учрежденное и действующее на основании законодательства РФ об образовании, имеющее статус юридического лица и реализующее в соответствии с лицензией образовательные программы высшего профессионального образования.

Основная профессиональная образовательная программа высшего профессионального образования – документ, определяющий содержание образования по направлению (специальности) определенного уровня высшего профессионального образования, включая всю совокупность образовательных услуг.

ГОС ВПО устанавливает: структуру высшего профессионального образования, документы о высшем образовании; общие требования к основным профессиональным образовательным программам ВПО и условиям их реализации; общие нормативы учебной нагрузки студента высшего учебного заведения и ее объем; а также другие вопросы, касающиеся деятельности ВУЗа в обеспечении ВПО.

Стандартом определена структура ВПО как совокупность различных по назначению и нормативным срокам обучения основных профессиональных образовательных программ ВПО,

характеризующих уровни высшего профессионального образования.

Первый уровень ВПО является неполным высшим образованием и осуществляется по части основной профессиональной образовательной программы в объеме не менее первых двух лет обучения. Завершение студентом этой части основной профессиональной образовательной программы должно позволять ему продолжить высшее образование или, по желанию, без итоговой аттестации, получить диплом о неполном высшем образовании. Конкретный объем и содержание неполного высшего образования отражается в приложении к диплому.

Второй уровень ВПО осуществляется высшим учебным заведением по основной профессиональной образовательной программе, обеспечивающей подготовку специалистов с квалификацией «бакалавр». Основная профессиональная образовательная программа должна включать гуманитарные, социально-экономические, естественнонаучные дисциплины общенаучного характера, а также общепрофессиональные дисциплины, специальные дисциплины и практику, имеющие профессиональное назначение. Нормативный срок обучения должен составлять не менее четырех лет. Данная программа завершается итоговой аттестацией с присвоением выпускнику квалификации «бакалавр», удостоверенной дипломом.

Третий уровень ВПО осуществляется высшим учебным заведением по основным профессиональным образовательным программам двух типов, обеспечивающим подготовку специалистов с квалификацией «магистр» или традиционно указываемой квалификацией – «инженер» («специалист»).

Основная профессиональная образовательная программа включает гуманитарные, социально-экономические и естественнонаучные дисциплины общенаучного характера, общепрофессиональные дисциплины, а также теоретическую и практическую подготовку по специальности и специализации, предполагающую различные виды профессиональной деятельности выпускника. Данная программа завершается итоговой аттестацией, включая дипломную работу (проект), с присвоением выпускнику квалификации специалиста – «инженер», удостоверенной дипломом.

Основная профессиональная образовательная программа, состоящая из программы обучения бакалавра по соответствующему направлению и не менее двухлетней специализированной подготовки, завершается итоговой аттестацией, с присвоением выпускнику квалификации «магистр», удостоверенной дипломом. Общий нормативный срок обучения составляет не менее шести лет.

Лицам, обучавшимся в высшем учебном заведении по аккредитованным³ направлениям (специальностям), выдаются документы государственного образца в подтверждение того, что его обладатель успешно завершил основную профессиональную образовательную программу и имеет право продолжить образование на следующем уровне и (или) осуществлять профессиональную деятельность в соответствии с полученной квалификацией по направлению (специальности) обучения. Квалификации выпускников высших учебных заведений, удостоверенные дипломами о высшем профессиональном образовании, обеспечивают им возможность осуществления различных видов профессиональной деятельности, определенных в ГОС ВПО в части государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по конкретным направлениям (специальностям) ВПО.

Основные профессиональные образовательные программы ВПО предусматривают изучение студентом следующих обязательных дисциплин: общих гуманитарных и социально-экономических дисциплин; математических и общих естественнонаучных дисциплин; общепрофессиональных дисциплин (для данного направления или специальности подготовки); специальных дисциплин.

Обязательный минимум содержания каждой основной профессиональной образовательной программы ВПО устанавливается федеральным компонентом ГОС ВПО, который определяет государственные требования к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по конкретным направлениям (специ-

³ Аккредитация организации – официальное признание полномочным или авторитетным органом компетентности организации выполнять работы в определенной/заявленной области.

альностям). Содержание основных профессиональных образовательных программ, отражающее региональные особенности подготовки специалистов, определяется региональным компонентом ГОС ВПО. Общие требования к основной образовательной программе по направлению подготовки дипломированного специалиста – «Телекоммуникации» приведены в приложении.

Основные профессиональные образовательные программы ВПО, наряду с обязательными, включают дисциплины по выбору студента и факультативные дисциплины. Максимальный объем учебной нагрузки студента не должен превышать 54 часа в неделю, включая все виды его аудиторной и внеаудиторной учебной работы.

Проверка деятельности ВУЗа, в том числе и на соответствие требованиям ГОС ВПО, осуществляется путем аттестации⁴.

ТУСУР имеет все необходимые документы на право осуществления высшего профессионального образования по ряду направлений и специальностей, в том числе и по специальности «Радиосвязь, радиовещание, телевидение». Качество подготовки специалистов подтверждается результатами регулярных аттестаций.

В качестве примера в приложении приведены основные положения ГОС ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста – «Телекоммуникации» [11]. В этом стандарте определены требования, предъявляемые к различным аспектам подготовки специалистов по специальности «Радиосвязь, радиовещание, телевидение». В приведенном документе перечислены все наименования разделов стандарта (для сведения) и более полно отражено содержание разделов, относящихся к требованиям, предъявляемым к специалисту по данному направлению.

⁴ Аттестация осуществляется посредством проверки организации на соответствие установленным критериям аккредитации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Исторический очерк – Томск: Изд-во ТУСУР, 2002. – 175 с.
2. История электросвязи томской области – Томск: Изд-во «Спектр», 2000. – 440 с.
3. Телекоммуникационные системы и сети. Т2 / Под Ред. В.П. Шувалова – Новосибирск: ЦЭРИС, 2000. – 624 с.
4. Гаранин М.В., Журавлев В.И., Кунегин С.В. Системы и сети передачи информации – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.
5. Радиосвязь / Под ред. О.В. Головина – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 288 с.
6. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы – М.: Радио и связь, 1994. – 480 с.
7. Аналоговые и цифровые системы передачи / Под. ред. В.И. Иванова – М.: Горячая линия – Телеком, 2003 – 293 с.
8. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники – М.: Высшая школа, 2000. – 399 с.
9. Быков Р.Е. Теоретические основы телевидения. – Санкт-Петербург, 1998. – 288 с.
10. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования / Общие положения – М., 1994.
11. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования / направление подготовки дипломированного специалиста – «Телекоммуникации». Квалификация – Инженер – М., 2000.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Направление подготовки дипломированного специалиста –
«Телекоммуникации»
Квалификация – инженер

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННОГО СПЕЦИАЛИСТА «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

1.1. Направление подготовки дипломированного специалиста утверждено приказом Министерства образования Российской Федерации № 686 от 02.03.2000 г.

1.2. Перечень образовательных программ (специальностей), реализуемых в рамках данного направления подготовки дипломированного специалиста:

- 071700 Физика и техника оптической связи
- 200900 Сети связи и системы коммутации
- 201000 Многоканальные телекоммуникационные системы
- 201100 Радиосвязь, радиовещание и телевидение
- 201200 Средства связи с подвижными объектами
- 201800 Защищенные системы связи

1.3. Квалификация выпускника – инженер.

Нормативный срок освоения образовательных программ подготовки инженера в рамках направления подготовки дипломированного специалиста «Телекоммуникации» при очной форме обучения – 5 лет.

1.4. Квалификационная характеристика выпускника.

1.4.1. Место направления в области науки и техники.

Телекоммуникации – область науки и техники, которая включает совокупность технологий, средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на создание условий для обмена информацией на расстоянии.

1.4.2. Объекты профессиональной деятельности выпускника.

Объектами профессиональной деятельности выпускника в соответствии с Федеральным законом о связи являются технологические системы, технические средства, обеспечивающие всякую передачу, излучение и прием знаков, сигналов, письменного текста, изображений, звуков по проводной, радио, оптической или следующим другим системам:

- многоканальные телекоммуникационные системы, включая системы оптического диапазона;
- сети связи и системы коммутации;
- системы и устройства радиосвязи, включая системы спутниковой и мобильной связи;
- системы и устройства звукового и телевизионного вещания, электроакустики и речевой информатики, мультимедийной техники;
- системы и устройства передачи данных;
- средства защиты информации в телекоммуникационных системах;
- средства метрологического обеспечения телекоммуникационных систем и сетей;
- управление эксплуатационным и сервисным обслуживанием телекоммуникационных устройств;
- менеджмент и маркетинг в телекоммуникациях.

Выпускник должен быть подготовлен к выполнению следующих видов профессиональной деятельности:

- производственно-технологической,
- проектной,
- научно-исследовательской,
- организационно-управленческой.

Конкретные виды деятельности определяются содержанием образовательной программы, разрабатываемой вузом.

Инженер должен быть подготовлен к решению следующих типов задач:

а) производственно-технологическая деятельность:

- организация и эффективное осуществление контроля за качеством функционирования систем коммутации и сетей связи, средств оптической связи, предприятий радиосвязи и телерадиовещания, систем подвижной радиосвязи;
- техническое обслуживание оборудования систем коммутации и сетей связи, многоканальных систем и направляющих систем электро-связи, средств оптической связи, предприятий радиосвязи и телерадиовещания, систем и средств подвижной радиосвязи;
- эффективное использование ресурсов сетей связи, средств вычислительной техники для организации производственных процессов при проектировании, строительстве и технической эксплуатации объектов связи, многоканальных систем и направляющих систем электро-связи, систем радиосвязи и телерадиовещания, объектов систем подвижной радиосвязи;

- автоматизированное управление сетями электросвязи, предприятиями радиосвязи и телерадиовещания, сетями подвижной радиосвязи;
 - строительство и монтаж многоканальных систем и направляющих систем электросвязи;
 - совершенствование, модернизация и улучшение технико-экономических показателей средств связи;
 - проведение стандартных и сертификационных испытаний систем коммутации, сетей связи и составляющих их элементов, многоканальных систем и направляющих систем электросвязи, средств оптической связи, систем радиосвязи и телерадиовещания, систем и средств подвижной радиосвязи и составляющих их элементов;
 - осуществление метрологической поверки основных средств измерений параметров систем и сетей связи, многоканальных систем и направляющих систем электросвязи, систем радиосвязи и телерадиовещания, систем и сетей подвижной радиосвязи;
 - организация мероприятий по охране труда, безопасности жизнедеятельности и защите окружающей среды в процессе производственной деятельности предприятия;
- б) проектная деятельность:
- разработка проектов коммутационных станций, узлов и сетей электросвязи; оптических линий связи для различных участков телекоммуникационных сетей; многоканальных систем с учетом направляющих систем электросвязи; стационарных систем и устройств радиосвязи и телерадиовещания; сетей, систем и устройств подвижной радиосвязи;
 - проектирование и модернизация отдельных устройств и блоков систем связи;
 - проектирование и внедрение специальных технических и программно-математических средств защиты информации в телекоммуникационных системах;
 - формулирование целей проекта, критериев и показателей достижения целей, декомпозиция целей, выявление приоритетных целей;
 - разработка обобщенных вариантов решения проблемы, анализ этих вариантов с учетом многокритериальности и неопределенности исходных данных, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многовариантности;
 - планирование реализации проекта с учетом внедрения новых телекоммуникационных технологий;
 - сравнительный технико-экономический анализ различных вариантов построения и практического применения средств связи;

- разработка проектов технических условий, стандартов, технических описаний применительно к системам электросвязи;

- проведение экспертной оценки технических предложений, технических заданий и других документов, связанных с проектированием средств связи;

в) научно-исследовательская деятельность:

- применение методов анализа, синтеза и оптимизации структуры телекоммуникационных сетей; многоканальных систем и направляющих систем электросвязи; систем оптической связи; систем радиосвязи и телерадиовещания; сетей подвижной радиосвязи и составляющих их элементов;

- разработка и использование методов математического и физического моделирования в процессе исследования и оптимизации параметров отдельных элементов и систем связи в целом;

- разработка планов, программ и методик проведения измерений параметров телекоммуникационных сетей и составляющих их элементов; многоканальных систем и направляющих систем электросвязи; систем стационарной и мобильной радиосвязи и телерадиовещания с широким использованием средств вычислительной техники;

- анализ и прогнозирование трафика, показателей качества функционирования и других параметров сетей электросвязи;

- анализ и прогнозирование развития, показателей качества функционирования и ряда других параметров многоканальных систем и направляющих систем электросвязи, систем стационарной и мобильной радиосвязи и телерадиовещания;

- проведение исследований с целью нахождения и выбора наиболее целесообразных практических решений по защите информации в телекоммуникационных системах;

- разработка документации, необходимой при проведении НИОКР в процессе исследований и создания перспективных средств связи;

- организация и проведение патентных исследований и библиографического поиска в области телекоммуникаций;

г) организационно-управленческая деятельность:

- организация работы коллектива исполнителей, принятие организационно-управленческих решений с учетом различных мнений;

- осуществление технического контроля и управления качеством функционирования телекоммуникационных сетей, многоканальных систем и направляющих систем электросвязи, предприятий радиосвязи и телерадиовещания;

– принятие многокритериальных решений (качество, надежность, стоимость, информационная защищенность, сроки исполнения) как при долгосрочном, так и при краткосрочном планировании развития телекоммуникационных сетей, многоканальных систем и направляющих систем электросвязи, систем стационарной и мобильной радиосвязи и телерадиовещания;

– обеспечение организационных и инженерно-технических мер защиты информации в телекоммуникационных системах;

– оценка производственных и непроизводственных затрат при планировании функционирования телекоммуникационных сетей, систем многоканальной электросвязи и направляющих систем электросвязи, предприятий радиосвязи и телерадиовещания; принятие обоснованных технико-экономических решений при планировании развития систем и сетей связи;

– проведение мероприятий, обеспечивающих рентабельную деятельность предприятий связи на рынке телекоммуникационных услуг;

– проведение необходимых мероприятий по подбору, расстановке, подготовке и переподготовке кадров.

Для решения перечисленных профессиональных задач инженер:

– выполняет работы в области научно-технической деятельности по проектированию, информационному обслуживанию, организации производства, труда и управлению, метрологическому обеспечению, техническому контролю;

– способствует полезному использованию природных ресурсов, энергии и материалов;

– разрабатывает методические и нормативные материалы, техническую документацию, а также предложения и мероприятия по осуществлению разработанных проектов и программ;

– проводит технико-экономический анализ, комплексно обосновывает принимаемые и реализуемые решения, изыскивает возможности сокращения цикла выполнения работ, содействует подготовке процесса их выполнения, обеспечению необходимыми техническими данными, материалами, оборудованием;

– участвует в работах по осуществлению исследований, разработке проектов и программ, в проведении необходимых мероприятий, связанных с испытаниями оборудования и внедрением его в эксплуатацию, а также выполнении работ по стандартизации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, в рассмотрении различной технической документации и подготавливает необходимые обзоры, отзывы, заключения;

- изучает и анализирует необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работ, обобщает и систематизирует их, проводит необходимые расчеты, используя современные технические средства;

- составляет графики работ, заказы, заявки, инструкции, пояснительные записки, карты, схемы и другую техническую документацию, а также установленную отчетность по утвержденным формам и в установленные сроки;

- оказывает методическую и практическую помощь при реализации проектов и программ, планов и договоров;

- осуществляет экспертизу технической документации, надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией оборудования, выявляет резервы, устанавливает причины существующих недостатков и неисправностей в его работе, принимает меры по их устранению и повышению эффективности использования;

- следит за соблюдением установленных требований, действующих норм, правил и стандартов;

- организует работу по повышению научно-технических знаний работников;

- способствует развитию творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрению достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использованию передового опыта, обеспечивающих эффективную работу учреждения, организации, предприятия.

Инженер должен знать:

- принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств, материалов и их свойства;

- методы исследования, правила и условия выполнения работ;

- методы проведения технических расчетов и определения экономической эффективности исследований и разработок;

- основные требования, предъявляемые к технической документации, материалам, изделиям;

- постановления, распоряжения, приказы вышестоящих и других органов, методические, нормативные и руководящие материалы, касающиеся выполняемой работы;

- достижения науки и техники, передовой и зарубежный опыт в соответствующей выполняемой работе, области знаний;

- перспективы технического развития и особенности деятельности учреждения, организации, предприятия;

- основы экономики, организации производства, труда и управления;

- основы трудового законодательства;
- правила и нормы охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной защиты.

В соответствии с квалификационными требованиями Квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и других служащих, утвержденного Постановлением Минтруда России от 21.08.98 г. № 37, выпускники могут занимать первичные должности инженеров научно-исследовательских учреждений, конструкторских и проектных организаций, инженеров-проектировщиков, инженеров-электроников, инженеров по защите информации, инженеров-программистов, младших научных сотрудников и прочие должности.

1.5. Возможности продолжения образования выпускника.

Инженер, освоивший основную образовательную программу высшего профессионального образования в рамках направления подготовки дипломированного специалиста «Телекоммуникации», подготовлен для продолжения образования в аспирантуре.

2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ПОДГОТОВКИ АБИТУРИЕНТА

(Текст данного раздела в этом приложении не приводится.)

3. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННОГО СПЕЦИАЛИСТА «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

3.1. Основная образовательная программа подготовки инженера разрабатывается на основании настоящего государственного образовательного стандарта дипломированного специалиста и включает в себя учебный план, программы учебных дисциплин, программы учебных, производственных практик.

3.2. Требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы подготовки инженера, к условиям её реализации и срокам её освоения определяются настоящим государственным образовательным стандартом.

3.3. Основная образовательная программа подготовки инженера состоит из дисциплин федерального компонента, дисциплин национально-регионального (вузовского) компонента, дисциплин по выбору студента, а также факультативных дисциплин. Дисциплины вузовского компонента и по выбору студента в каждом цикле должны содержать

тельно дополнять дисциплины, указанные в федеральном компоненте цикла.

3.4. Основная образовательная программа подготовки инженера должна предусматривать изучение студентом следующих циклов дисциплин:

цикл ГСЭ – Общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины;

цикл ЕН – Общие математические и естественнонаучные дисциплины;

цикл ОПД – Общепрофессиональные дисциплины;

цикл СД – Специальные дисциплины, включая дисциплины специализаций;

ФТД – Факультативы.

3.5. Содержание национально-регионального компонента основной образовательной программы подготовки инженера должно обеспечивать подготовку выпускника в соответствии с квалификационной характеристикой, установленной настоящим государственным образовательным стандартом.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ МИНИМУМУ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННОГО СПЕЦИАЛИСТА «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

Специальность 201100 – «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»

| Индекс | Наименование дисциплин и их основные разделы | Всего часов |
|-----------------|--|--------------------|
| ГСЭ | Общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины | 1800 |
| ГСЭ.Ф.00 | Федеральный компонент | 1260 |
| ГСЭ.Ф.01 | <i>Иностранный язык</i> | 340 |
| ГСЭ.Ф.02 | <i>Физическая культура</i> | 408 |
| ГСЭ.Ф.03 | <i>Отечественная история</i> | |
| ГСЭ.Ф.04 | Культурология | |
| ГСЭ.Ф.05 | Политология | |
| ГСЭ.Ф.06 | Правоведение | |
| ГСЭ.Ф.07 | Психология и педагогика | |

| Индекс | Наименование дисциплин и их основные разделы | Всего часов |
|-----------------|--|--------------------|
| ГСЭ.Ф.08 | Русский язык и культура речи | |
| ГСЭ.Ф.09 | Социология | |
| ГСЭ.Ф.10 | <i>Философия</i> | |
| ГСЭ.Ф.11 | Экономика | |
| <i>ГСЭ.Р.00</i> | <i>Национально-региональный (вузовский) компонент</i> | <i>270</i> |
| <i>ГСЭ.В.00</i> | <i>Дисциплины по выбору студента, устанавливаемые вузом</i> | <i>270</i> |
| ЕН | Общие математические и естественно-научные дисциплины | 2500 |
| ЕН.Ф.00 | Федеральный компонент | 2350 |
| ЕН.Ф.01 | Математика | 652 |
| ЕН.Ф.02 | Информатика | 300 |
| ЕН.Ф.03 | Физика | 635 |
| ЕН.Ф.04 | Химия | 100 |
| ЕН.Ф.05 | Экология | 70 |
| | <i>Дисциплины, устанавливаемые по предложению УМО</i> | <i>593</i> |
| ЕН.Ф.06 | Дискретная математика | 85 |
| ЕН.Ф.07 | Теория вероятностей и математическая статистика | 153 |
| ЕН.Ф.08 | Электромагнитные поля и волны | 153 |
| ЕН.Ф.09 | Физические основы электроники | 102 |
| ЕН.Ф.10 | Химия радиоматериалов | 100 |
| <i>ЕН.Р.00</i> | <i>Национально-региональный (вузовский) компонент</i> | <i>150</i> |
| ОПД | Общепрофессиональные дисциплины | 1900 |
| ОПД.Ф.00 | Федеральный компонент | 1530 |
| ОПД.Ф.01 | Начертательная геометрия. Инженерная графика | 102 |
| ОПД.Ф.01.01 | Инженерная и компьютерная графика | 102 |
| ОПД.Ф.02 | Электротехника и электроника | 578 |
| ОПД.Ф.02.01 | Основы теории цепей | 306 |
| ОПД.Ф.02.02 | Электроника | 85 |
| ОПД.Ф.02.03 | Основы схемотехники | 102 |

| Индекс | Наименование дисциплин и их основные разделы | Всего часов |
|-----------------|---|--------------------|
| ОПД.Ф.02.04 | Электропитание устройств и систем телекоммуникаций | 85 |
| ОПД.Ф.03 | Метрология, стандартизация и сертификация | 119 |
| ОПД.Ф.04 | Безопасность жизнедеятельности | 170 |
| | <i>Дисциплины, устанавливаемые по рекомендации УМО</i> | 561 |
| ОПД.Ф.05 | Теория электрической связи | 272 |
| ОПД.Ф.06 | Вычислительная техника и информационные технологии | 102 |
| ОПД.Ф.07 | Основы построения телекоммуникационных систем и сетей | 119 |
| ОПД.Ф.08 | Менеджмент в телекоммуникациях | 68 |
| <i>ОПД.Р.00</i> | <i>Национально-региональный (вузовский) компонент</i> | <i>170</i> |
| <i>ОПД.В.00</i> | <i>Дисциплины и курсы по выбору студента, устанавливаемые вузом</i> | <i>200</i> |
| СП | Специальные дисциплины | 1612 |
| СД.01 | Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства | 110 |
| СД.02 | Микропроцессоры и цифровая обработка сигналов | 100 |
| СД.03 | Радиоприемные устройства | 150 |
| СД.04 | Радиопередающие устройства | 150 |
| СД.05 | Телевидение | 180 |
| СД.06 | Электроакустика и звуковое вещание | 180 |
| СД.07 | Космические и наземные системы радиосвязи и сети телерадиовещания | 180 |
| ДС.00 | Дисциплины специализаций | 562 |
| <i>ФТД.00</i> | <i>Факультативы</i> | <i>450</i> |
| ФТД.01 | Военная подготовка | 450 |

Всего часов теоретического обучения

8262 часа

5. СРОКИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННОГО СПЕЦИАЛИСТА «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

(Текст данного раздела в этом приложении не приводится.)

6. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ И УСЛОВИЯМ РЕАЛИЗАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННОГО СПЕЦИАЛИСТА «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

(Текст данного раздела в этом приложении не приводится.)

7. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКНИКА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННОГО СПЕЦИАЛИСТА «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

7.1. Требования к профессиональной подготовленности выпускника

Выпускник должен уметь решать задачи, соответствующие его квалификации, указанной в п.1.3 настоящего государственного образовательного стандарта.

Для решения указанных задач инженер должен знать:

- современные и перспективные направления развития телекоммуникационных сетей и систем;
- принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и распределения информации в сетях связи;
- особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем;
- принципы работы, технические характеристики и конструктивные особенности разрабатываемых и используемых средств связи;
- схемотехнику устройств электросвязи;
- прогрессивные методы технической эксплуатации систем и устройств связи;
- методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области техники связи;
- основы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации технических средств многоканальных, в том числе волоконно-оптических, систем и линий связи;

- требования стандартизации, метрологического обеспечения и безопасности жизнедеятельности при разработке и эксплуатации устройств и систем электросвязи;

- технические и программно-математические средства защиты информации в телекоммуникационных системах;

- основные методы маркетинга и менеджмента в области телекоммуникаций.

Инженер должен уметь применять:

- методы проектирования телекоммуникационных сетей, систем, устройств и блоков с технико-экономическим обоснованием принимаемых решений;

- правила и нормы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации систем и линий связи;

- методы оценки параметров устройств и систем связи;

- передовые методы технического контроля и диагностики в процессе настройки и эксплуатации средств связи;

- теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств связи и информатики;

- технические решения по повышению качества передачи информации и снижению опасных и мешающих влияний в системах связи;

- организационные и инженерно-технические меры информационной защиты телекоммуникационных сетей и систем;

- необходимые меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности и охране окружающей среды при производстве, строительстве и эксплуатации систем и устройств связи.

7.2. Требования к итоговой государственной аттестации выпускника

(Текст данного раздела в этом приложении не приводится.)

Составители:

Учебно-методическое объединение по образованию в области связи.

Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования одобрен на совместном заседании Учебно-методических советов по специальностям направления подготовки дипломированных специалистов «Телекоммуникации» 10.11.1999 г., протокол № 3.