

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

С. И. Богомолов

ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ И РАДИОДОСТУПА

Учебное пособие

Томск
«Эль Контент»
2012

УДК 621.396(075.8)

ББК 32.884.1я73

Б744

Рецензенты:

Оброков А. Ф., канд. биол. наук, доцент кафедры философии Томского государственного архитектурно-строительного университета;

Пуговкин А. В., проф. кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники ТУСУРа.

Богомолов С. И.

Б744 Введение в системы радиосвязи и радиодоступа : учебное пособие / С. И. Богомолов. — Томск : Эль Контент, 2012. — 152 с.

ISBN 978-5-4332-0064-7

В учебном пособии представлены установочные сведения подготовки бакалавров по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». 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 данного направления.

УДК 621.396(075.8)

ББК 32.884.1я73

ISBN 978-5-4332-0064-7

© Богомолов С. И., 2012

© Оформление.

ООО «Эль Контент», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1 Инфокоммуникационные технологии и средства связи в современном мире	7
1.1 Общие сведения об инфокоммуникационных технологиях и средствах связи	7
2 Из истории развития радиосвязи	11
2.1 Радио на начальном этапе	11
2.2 Становление радио	13
2.3 Из истории развития радиосвязи и радиовещания на Томской земле	16
2.4 Из истории ТУСУРа	18
3 Общие сведения о системах связи	21
3.1 Основные понятия и определения в области связи	21
3.2 Обобщенная структурная схема системы связи	23
3.3 Основные характеристики сигналов электросвязи	25
3.4 Каналы электрической связи	27
3.5 Общие сведения о сетях связи	28
4 Сигналы и помехи	33
4.1 Модели радиотехнических сигналов	33
4.2 Гармонический анализ и синтез сигналов	36
4.3 Первичные сигналы электросвязи	38
4.4 Помехи радиосвязи	41
5 Модуляция	45
5.1 Общие сведения о модуляции	45
5.2 Амплитудная модуляция	46
5.3 Частотная модуляция	49
5.4 Фазовая модуляция	50
5.5 Модулирование импульсных последовательностей	52
6 Распространение радиоволн	54
6.1 Общие сведения о радиоволнах	54
6.2 Физические характеристики среды распространения радиоволн . .	56
6.3 Особенности распространения радиоволн различных диапазонов .	60

7	Оборудование каналов связи	66
7.1	Антенно-фидерные устройства	66
7.2	Радиоприемные устройства	70
7.3	Радиопередающие устройства	74
8	Радиорелейные и спутниковые системы связи	78
8.1	Радиорелейные системы связи	78
8.2	Спутниковые системы связи. Общие сведения	82
8.3	Основные характеристики спутниковых систем связи	85
8.4	Службы спутниковой связи	88
9	Системы подвижной радиосвязи	90
9.1	Системы персонального радиовызова	90
9.2	Профессиональная подвижная радиосвязь	93
9.3	Системы сотовой подвижной связи	95
9.4	Системы беспроводных телефонов	100
10	Системы радиодоступа	103
10.1	Понятие сети доступа	103
10.2	Сети радиодоступа	105
10.3	Технологии широкополосного доступа	108
11	Международные и национальные организации в связи	112
11.1	Организации стандартизации в связи	112
11.2	Общие сведения о связи в Российской Федерации	114
11.3	Стандартизация высшего профессионального образования в РФ	117
	Заключение	120
	Литература	121
	Приложение А	122
	Список условных обозначений и сокращений	144
	Глоссарий	147

ВВЕДЕНИЕ

Информационные технологии и средства телекоммуникаций в современном мире играют ведущие роли в процессе передачи и обработки информации. От первых опытов по беспроводной электросвязи прошло немногим более 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 системы радиосвязи и радиодоступа» 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 главе 1 дается знакомство с основными понятиями в области телекоммуникаций, указаны роль и место радиосвязи в современном мире. В главе 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 этой главы знакомит с историей создания и становления ТУСУРа — первого за Уралом ВУЗа радиотехнического профиля.

В главах 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 главах рассмотрены основные характеристики сигналов электросвязи и их преобразования 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 главе 11 изложены вопросы, связанные с получением высшего профессионального образования в России. В качестве примера в приложении приведены выдержки из Государственного образовательного стандарта высшего профессио-

нального образования по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». В этом стандарте дана основная характеристика направления подготовки бакалавров и изложены требования, предъявляемые к выпускникам по окончании обучения.

Соглашения, принятые в книге

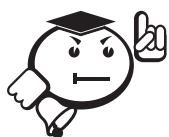
Для улучшения восприятия материала в данной книге используются пиктограммы и специальное выделение важной информации.



.....
Эта пиктограмма означает определение или новое понятие.



.....
 Эта пиктограмма означает внимание. Здесь выделена важная информация, требующая акцента на ней. Автор здесь может поделиться с читателем опытом, чтобы помочь избежать некоторых ошибок.



.....
 В блоке «На заметку» автор может указать дополнительные сведения или другой взгляд на изучаемый предмет, чтобы помочь читателю лучше понять основные идеи.



.....
Контрольные вопросы по главе

Глава 1

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА СВЯЗИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

1.1 Общие сведения об инфокоммуникационных технологиях и средствах связи

Область электрической связи в настоящее время испытывает революционные преобразования, связанные с глобализацией производственных и экономических процессов в мировом сообществе; 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 1.1 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 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 телевидению, качественной передаче звука, скоростному Интернету требует скоростей в единицы, десятки и сотни мегабит в секунду.

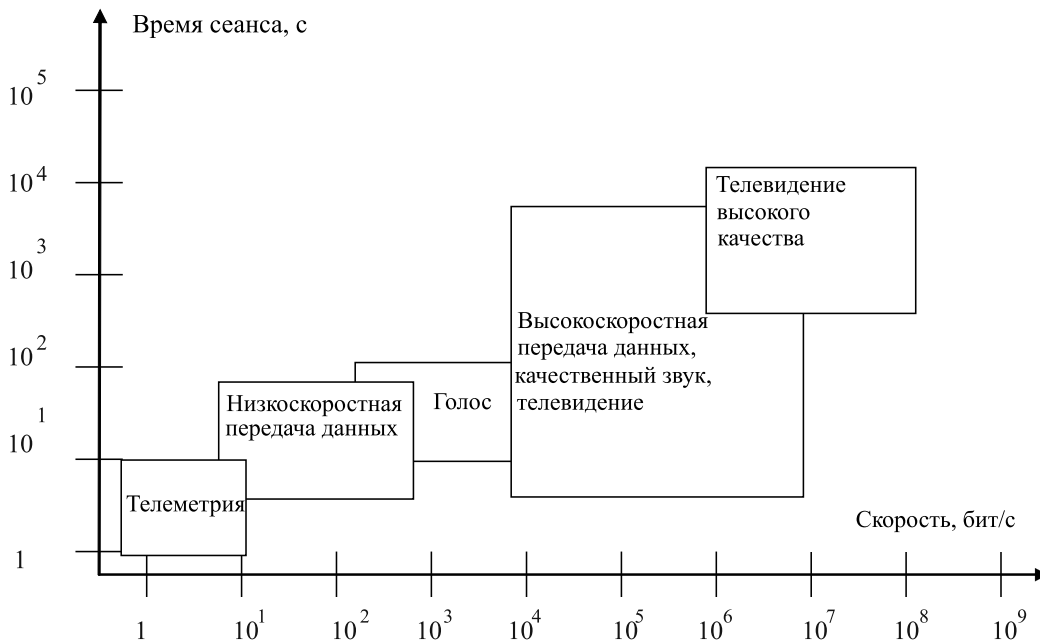


Рис. 1.1 – Телекоммуникационные услуги

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.

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.

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.).

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.

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.

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 широковещательное 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).

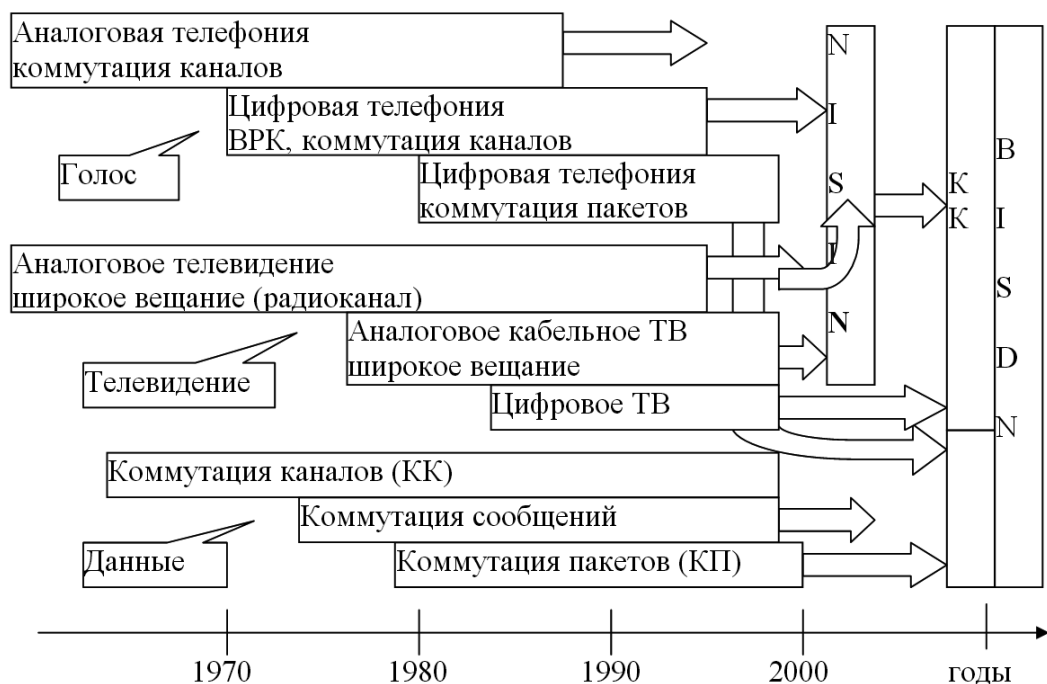


Рис. 1.2 – Развитие технологий телекоммуникаций. Интеграция служб

Системы электросвязи по виду используемой среды передачи (линии связи) можно разделить на три большие 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 широкополосного режима.

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

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



Контрольные вопросы по главе 1

- 1) Какие основные требования предъявляются к системам связи для передачи разного вида информации?
- 2) Каковы основные тенденции развития электросвязи на современном этапе?
- 3) На какие группы могут быть разбиты системы электросвязи по виду используемой среды передачи?

Глава 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).

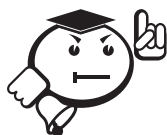
В результате обобщения экспериментальных данных, связанных с взаимным влиянием электрических и магнитных явлений, Д. Максвелл предложил теорию единого электромагнитного поля. В этой теории установлены общие закономерности поведения электрического и магнитного полей. Так, при протекании по проводнику 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 батареи 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 грозových 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 телеграфирования. 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 повысить 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 позволяла 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 было невысоким. 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.

Взросшие 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 радиуправления, 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 сверхвысококалостотного (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 радиодоступа;
- системы беспроводных телефонов;
- системы персонального радиовызова.

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 Томске¹. 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 радиолюбительскую 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 исследований 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

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

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

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.

С первых в Советском Союзе опытов телевизионных передач в 1931 году к ним подключились Томские радиолюбители. Аспирант Сибирского физико-технического института (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 телевизионных 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, повысилось 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, радиоуправления 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 бакалавров, инженеров, дипломированных специалистов и магистров по более чем 50 специальностям и профилям магистральных направлений научно-технического прогресса в области систем управления и радиоэлектроники. Студенты очной формы обучения занимаются на 10 факультетах университета. Другие формы обучения представляют вечерний и заочный факультет и факультет дистанционного обучения. В составе университета работают 10 научно-исследовательских институтов. В университете успешно работают аспирантура и докторантура, Советы по защите докторских и кандидатских диссертаций. Вневузовскую подготовку ведет институт дополнительного образования.

В области образования ТУСУР уверенно занимает ведущие позиции, в 2006 г. в числе 17 вузов России ТУСУР вошел в число победителей конкурса инновационных образовательных программ. По данным рейтингового агентства в сфере образования «РейтОП» в 2008 г. ТУСУР вошел в первую пятерку технических и технологических вузов России по уровню развития информационно-коммуникационных технологий. И можно привести еще немало примеров успешной деятельности вуза.

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: телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР) (до 2008 г. — кафедра теоретических основ радиотехники), 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».

С 2011 г. кафедры радиотехнического факультета (как и ТУСУР в целом) начали подготовку бакалавров по государственным образовательным стандартам третьего поколения: «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (Цифровое телерадиовещание, Оптические системы и сети связи, Системы мобильной связи, Системы радиосвязи и радиодоступа), «Радиотехника» (Радиотехника, Аудиовизуальная техника), «Информационная безопасность» (Комплексная защита объектов информатизации) и специалистов: «Радиоэлектронные системы и комплексы» и «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Профилирующей по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (профиль Системы радиосвязи и радиодоступа) является кафедра ТОР, которая также является выпускающей по направлению подготовки «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.



Контрольные вопросы по главе 2

- 1) Что предшествовало возникновению радиосвязи?
- 2) В чем заключается вклад А. С. Попова в развитие радио?
- 3) Каковы основные этапы развития радио?
- 4) Какие отрасли науки и техники способствовали развитию радиотехники? Привести примеры.
- 5) Какое значение в развитии радио имеет изобретение транзистора?
- 6) Какую роль в освоении космоса играет радио?

Глава 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 (электро-связь).
.....



.....
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, появляются 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 воздействия 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.

	Реальное время (real time)	Отложенная доставка (non-real time)
Сообщения индивидуального характера	Телеконференция в реальном времени (chat)	Электронные документы: электронная почта (e-mail); персональный радиовывоз (paging); телеконференция (news); позиционирование (GPS). Документы на бумажных носителях: факс; телеграмма
	Видеоконференция в реальном времени Видеонаблюдение	Видео по запросу (video on demand)
	Телефония Аудиотелеконференция	Речевая почта (voice-mail)
Сообщения массового характера	Звуковое вещание (прямые репортажи)	Звуковое вещание (записанные программы) Автоматическая информация
	Телевизионное вещание (прямые репортажи)	Телевизионное вещание (записанные программы)
		Передача газет Телетекст

Подвижное изображение
 Звуковое сообщение Неподвижное изображение

Рис. 3.1 – Основные характеристики передаваемых 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 устройство, 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*, состо-

ящее 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).

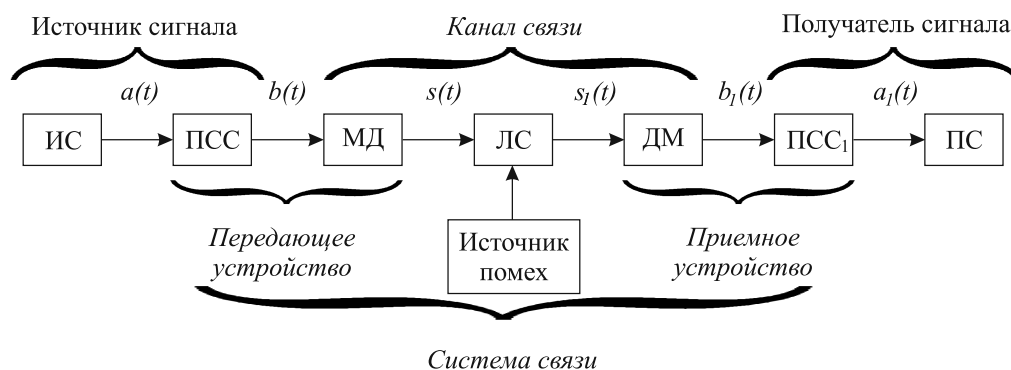


Рис. 3.2 – Обобщенная структурная схема системы связи

Приемное устройство производит обратное преобразование принятого сигнала в сообщение и состоит из демодулятора ДМ и преобразователя ПСС₁ 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 и передается получателю сообщения (ПС).



.....
 Система связи называется **многоканальной**, если она обеспечивает передачу нескольких сообщений по одной общей линии 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).

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

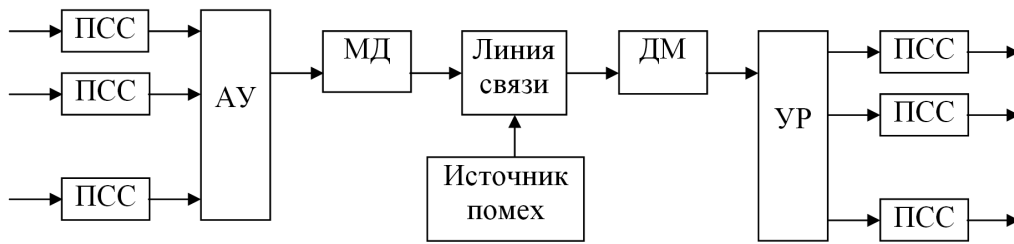


Рис. 3.3 – Структурная схема многоканальной системы связи

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 $s_{\text{кв}}(nT)$ 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.

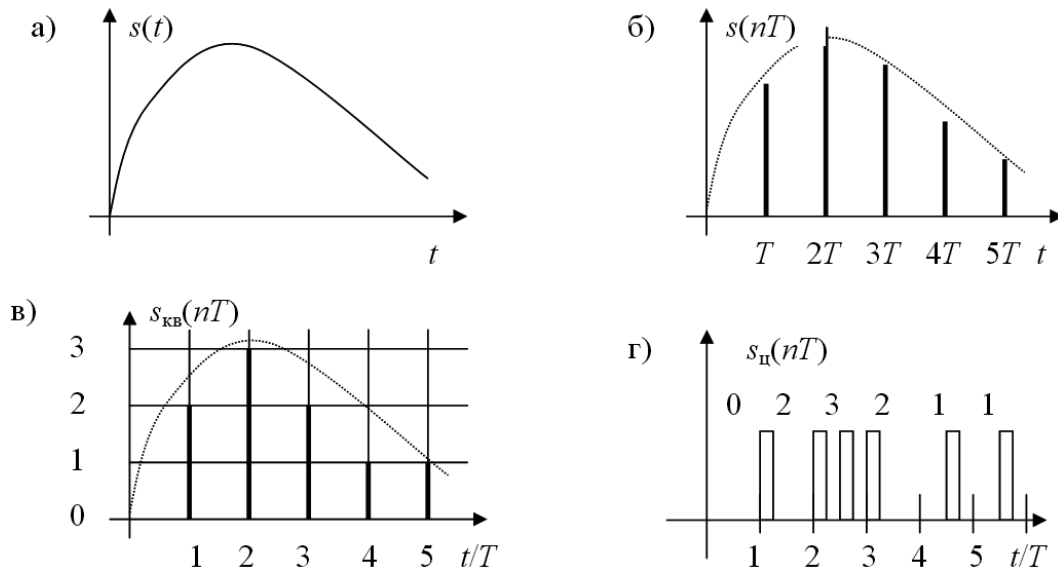


Рис. 3.4 – Виды сигналов: а) непрерывный аналоговый; б) дискретный по времени непрерывный по уровню; в) дискретный по времени квантованный по уровню; г) цифровой сигнал

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.

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 $s_{ц}(nT)$.



.....
 По степени предсказуемости сигналы различают 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 (3.1) может выполняться и тогда, когда не выполнены одно или два из неравенств (3.2). 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.

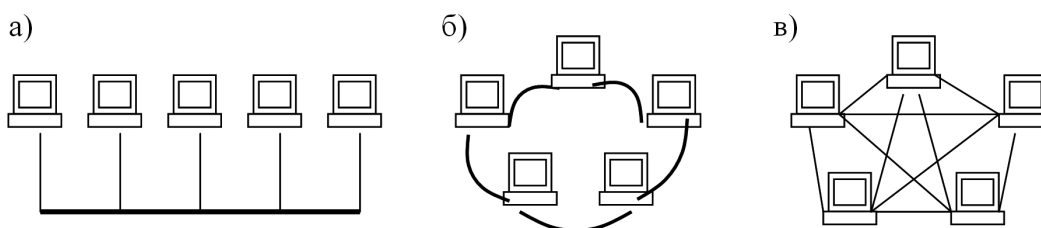


Рис. 3.5 – Некоммутируемые сети: а) «общая шина»; б) «кольцо»;
 в) полносвязная сеть

Каждый из способов организации сетей имеет свои достоинства и недостатки. Так, в структурах «общая шина» и «кольцо» все участники сети используют общую среду распространения сигналов и имеют уникальные признаки, характерные только для данного абонента и называемого адреса. Этот адрес обязательно имеется в передаваемом сообщении, и по этому адресу принимающая сторона судит о том, ей или другому участнику сети предназначено это сообщение.

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 абоненты разбиваются на группы,

и в каждой группе каждый из абонентов соединяется со специальным узлом коммутации линиями связи, называемые *абонентскими* линиями. В узлах коммутации потоки от отдельных абонентов объединяются и передаются на другие узлы коммутации по линиям связи, называемым *соединительными* линиями и способным переносить большие, чем абонентские линии, объемы информации. Общая длина необходимых линий связи в таких сетях сокращается.

При введении специального устройства — *узла коммутации* — может быть уменьшено количество необходимых линий для соединения абонентов и их общая длина. При этом сеть сохраняет высокую оперативность и достаточно высокую надежность, связанную с нарушениями в работе линий связи: при обрыве абонентской линии связи лишь один пользователь получает отказ в услугах связи. Но в таких структурах высокая ответственность ложится на узлы коммутации: нарушения в его работе могут привести к срыву связи всей сети.

Простейшая коммутируемая сеть имеет один узел коммутации. Такую структуру сети называют радиальной, или «звездой» (рисунок 3.6, а). При увеличении числа пользователей сети более эффективной оказывается радиально-узловая структура (рисунок 3.6, б).

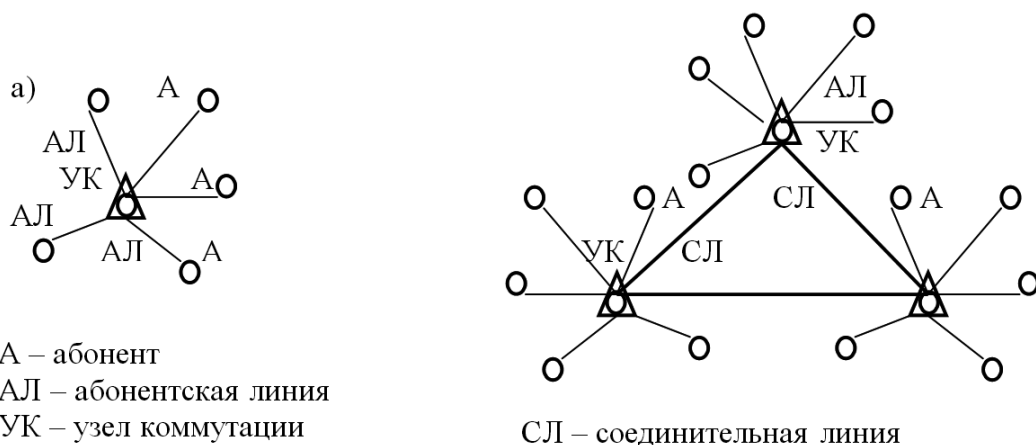


Рис. 3.6 – Коммутируемые сети: а) радиальные; б) радиально-узловые

В коммутируемой сети для обеспечения передачи сообщений, предназначенных конкретному пользователю, оконечные аппараты абонентов предварительно связываются с помощью 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. Недо-

статок 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 (всемирные) 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).



Контрольные вопросы по главе 3

.....

- 1) По каким признакам классифицируются виды электрической связи?
- 2) Из каких компонентов состоят обобщенные структурные схемы систем связи?
- 3) Перечислите основные характеристики сигналов электросвязи.
- 4) Какие основные характеристики имеют каналы электрической связи?
- 5) Как связаны основные характеристики сигналов и каналов связи?
- 6) Как устроены некоммутируемые сети?
- 7) Из каких компонентов состоят коммутируемые сети?

Глава 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):

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

где t_0 — задержка включения.

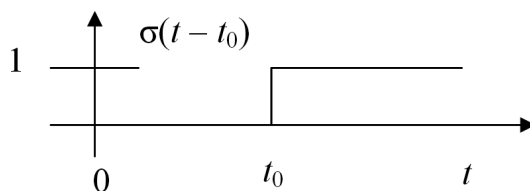


Рис. 4.1 – Функция включения

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:

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

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 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.

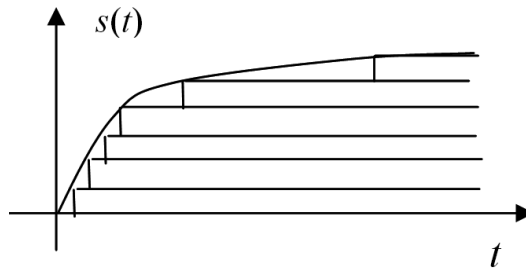


Рис. 4.2 – Динамическое представление сигнала

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).

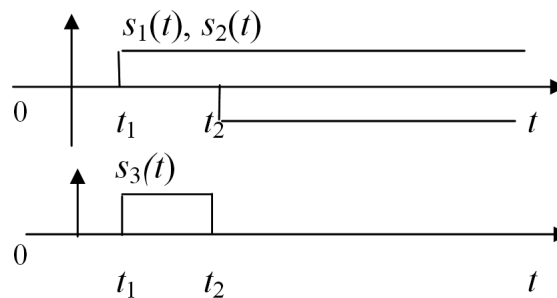


Рис. 4.3 – Формирование прямоугольного импульса

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 $S = \tau \cdot E$ (рис. 4.4):

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

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.

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).

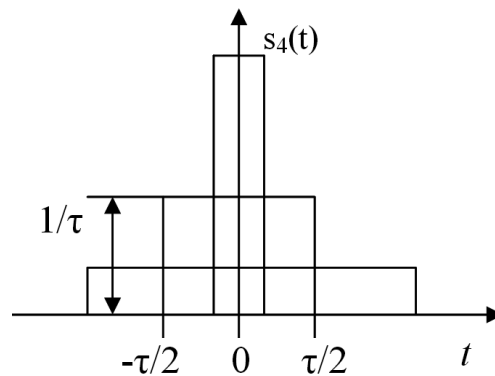


Рис. 4.4 – Переход к дельта-функции

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.

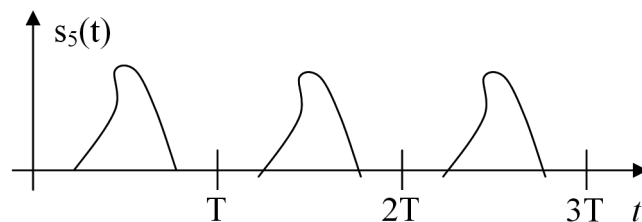


Рис. 4.5 – Периодический сигнал

Одним из наиболее известных периодических сигналов является гармоническая функция:

$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi ft + \varphi) = A \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right) = A \cdot \cos(\omega t + \varphi), \quad (4.5)$$

где A — амплитуда гармонических колебаний; f — циклическая частота гармонических колебаний (величина, обратная периоду T колебаний), $f = 1/T$; φ — начальный сдвиг фазы гармонического колебания; $\omega = 2\pi f$ — круговая частота гармонических колебаний.

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.

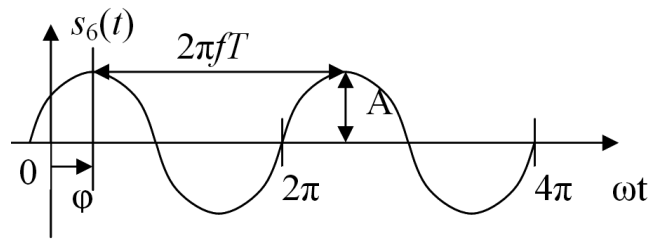


Рис. 4.6 – Гармонический сигнал

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:

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

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

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

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

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

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:

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

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

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 4.7 представлены сигналы, полученные суммированием первых гармоник, выбранных из полного ряда Фурье. На рисунке 4.7, а пунктиром изображен меандр (симметричный прямоугольный сигнал) $m(t)$, сплошной линией — уровень первой гармоники $a_1(t)$, содержащейся в этом сигнале. На рисунке 4.7, б изображен спектр первой гармоники $s_1(f)$. Спектр гармонического (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.

На рисунке 4.7, 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, значения их амплитуд равны нулю). Спектры первых трех гармоник приведены на рисунке 4.7, г (уровень второй гармоники равен нулю). На рисунке 4.7, д приведены первые четыре ненулевые гармоники (то есть гармоники с номерами 1, 3, 5 и 7) и их сумма. На рисунке 4.7, е показаны их спектры.

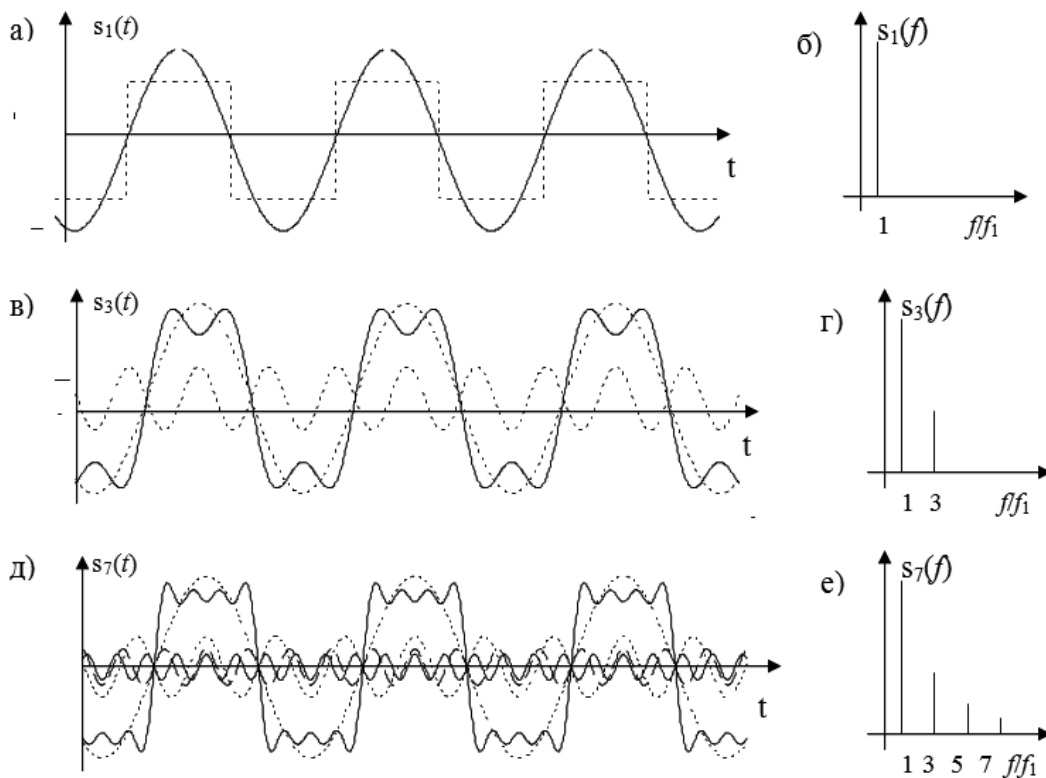


Рис. 4.7 – Формирование прямоугольного сигнала из суммы первых гармоник: а), в), д) – временное представление первых гармоник меандра и их суммы; б), г), е) – спектральное представление соответствующих наборов гармоник

На рисунке 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, распространяющееся в виде волн в газообразных, жидких или твердых средах и воспринимаемое 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:

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

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 и 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]).

Усредненные энергетические спектры звуковых сигналов: русской и английской речи приведены на рисунке 4.8. 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 организациями стандартизации в области связи в качестве границ эффективного спектра сигналов речи.

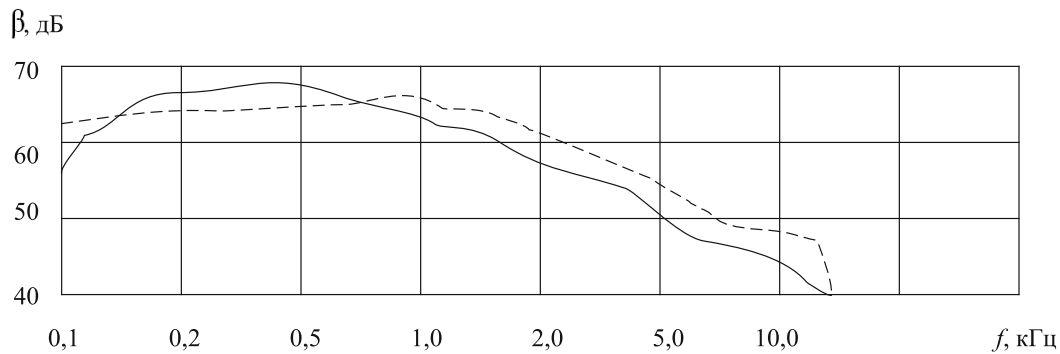


Рис. 4.8 – Энергетический спектр речевого сигнала:
 ———— русская речь,
 - - - - - английская речь

Системы связи, ориентированные на передачу сигналов речи, должны обеспечивать необходимое качество их передачи, определяемое уровнем громкости, разборчивости, естественным звучанием 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:

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

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 при-
сути практически всем элементам электрической цепи. Одним из наиболее эф-
фективных приемов уменьшения этой составляющей помех является снижение
температуры элементов этой цепи. Дробовые шумы характерны для так называе-
мых активных приборов электрической цепи (биполярные и полевые транзисторы,
электронно-вакуумные и газоразрядные лампы и так далее) и возникают в усилите-
лях, 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, распо-
ложенных ближе к входу приемника, получают такое же усиление, как и прини-
маемые сигналы. Шумы последующих каскадов усиливаются в меньшей степени,
поэтому их вклад в результирующий шум на выходе приемника значительно мень-
ше, чем шумов, поступающих с входных устройств.

Внутренние шумы электронных устройств проявляются во всех частотных диа-
пазонах, используемых в радиосвязи. Удельный вес внутренних шумов возрастает
с увеличением частоты, и в диапазоне сверхвысоких частот их значение становит-
ся 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 космо-
са, 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 полез-
ных 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 назна-
чения. Источником подобного излучения обычно выступают цепи, в которых осу-
ществляется коммутация сильных токов, сварочные аппараты, коллекторные элек-
тродвигатели 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 индустриальных помех тяготеет к низкочастотному диапазону, и уро-
вень частотных составляющих помехи падает с ростом частоты. В то же время
современные электронные устройства, не предназначенные для работы с радио-
волнами, являются источниками радиоизлучения. В первую очередь это касается
цифровых устройств, например компьютеров. Спектр излучения таких устройств
определяется быстродействием его основных процессов и распространяется в об-
ласть 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 равное $2 \cdot f_1/2 = f_1$, 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. 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 $s(t) \cdot n(t)$.

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.



Контрольные вопросы по главе 4

- 1) Какие элементарные функции используются для описания сигналов в связи?
- 2) Почему гармонические колебания широко используются для описания сигналов?
- 3) В чем заключается сущность гармонического анализа периодических сигналов?
- 4) Как может быть выполнен синтез периодических сигналов?
- 5) Что понимают под первичным сигналом электросвязи?
- 6) Какие параметры характеризуют сигналы электрической связи?
- 7) По каким признакам классифицируются помехи при передаче сигналов электросвязи?

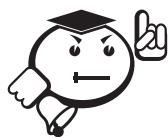
Глава 5

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, ча-

стотная 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. Соответственно процесс называют амплитудно-импульсной модуляцией, время-импульсной 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 $u_0(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$ перестает быть постоянной и изменяется по закону передаваемого сообщения. Амплитуда $U(t)$ несущего колебания может быть связана с передаваемым сообщением соотношением:

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

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:

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

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

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

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

Для упрощения анализа будем полагать начальные фазы колебаний равными нулю (т. е. $\varphi = 0$, $\Theta = 0$), что не повлияет на общность выводов. Тогда для тональной амплитудной модуляции можно записать:

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

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):

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

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 Ω . 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.

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:

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

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.

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

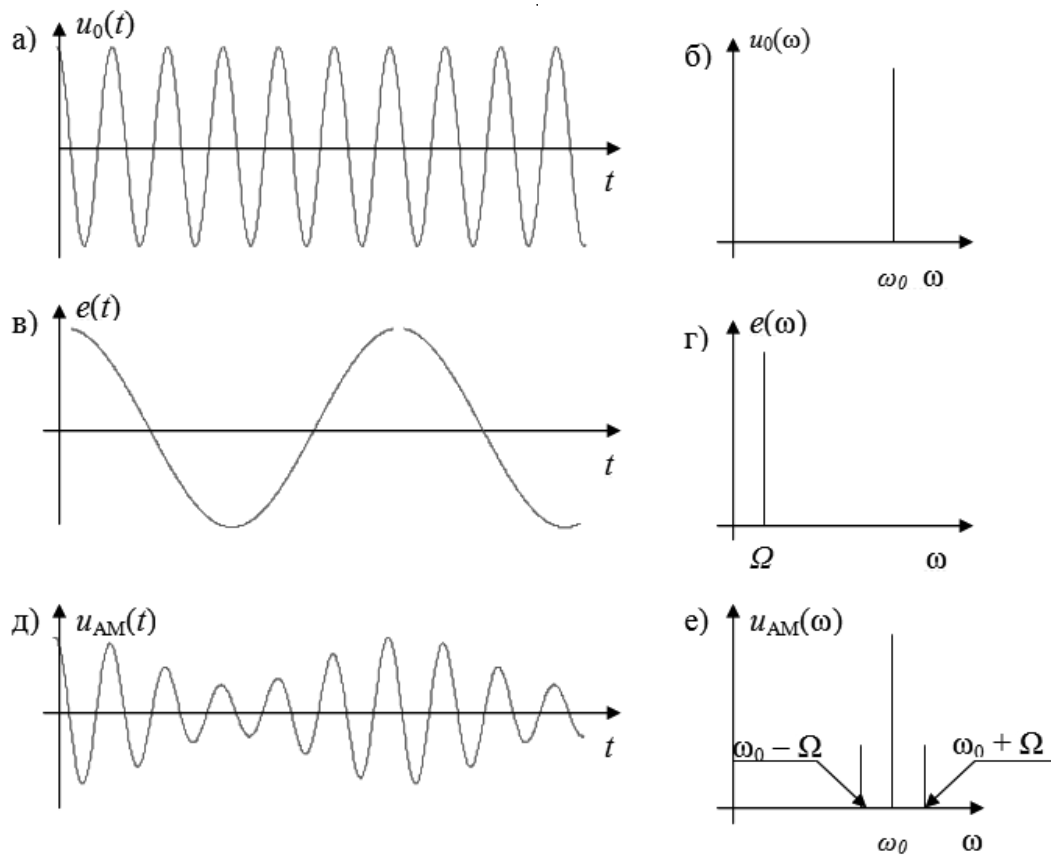
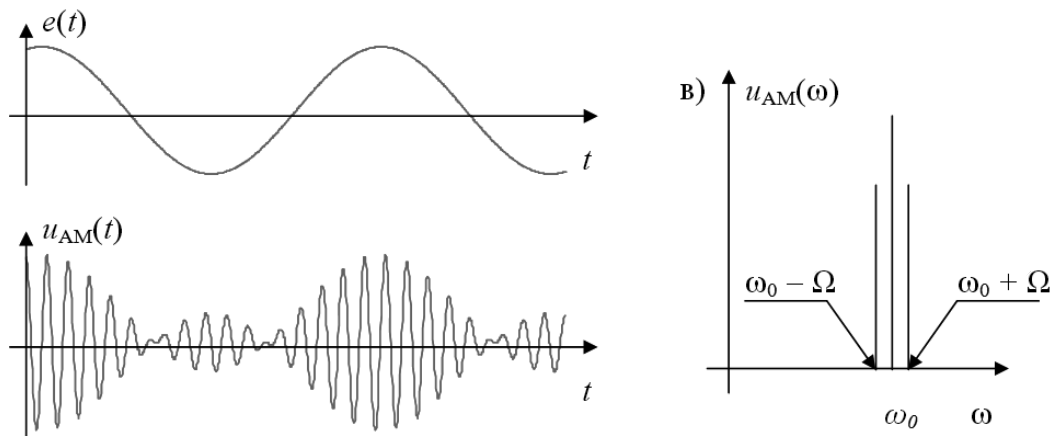


Рис. 5.1 – Тональная амплитудная модуляция:

- а) несущее колебание и его спектр (б); в) модулирующий сигнал и его спектр (г);
 д) амплитудно-модулированное колебание и его спектр (е)

Рис. 5.2 – Тональная амплитудная модуляция при коэффициенте $M_A > 1$:

- а) модулирующий сигнал;
 б) амплитудно-модулированное колебание и его спектр (в)

сигнала сформирует в спектре амплитудно-модулированного колебания две боковые составляющие, симметрично отстоящие от несущей на величину, равную частоте соответствующей гармоники. Для примера, если спектр модулирующе-

го сигнала имеет вид, представленный на рисунке 5.3, а, то спектр амплитудно-модулированного колебания может быть представлен диаграммой, приведенной на рисунке 5.3, б.

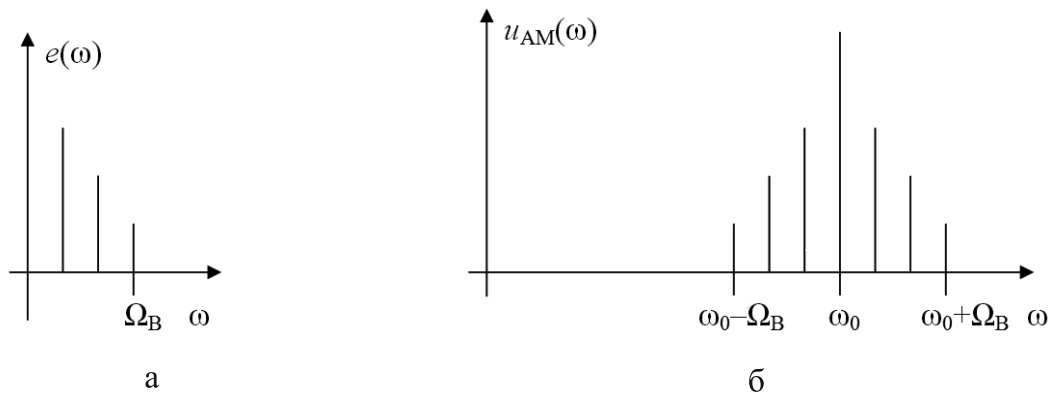


Рис. 5.3 – Спектры сигналов: а) модулирующего сигнала;
б) амплитудно-модулированного колебания

В общем случае, ширина Π_{AM} спектра амплитудно-модулированного колебания (диапазон частот, необходимый для передачи сигнала в канале связи) 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 $\varphi(t)$, 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:

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

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:

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

мгновенное значение частоты частотно-модулированного колебания изменяется по закону:

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

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

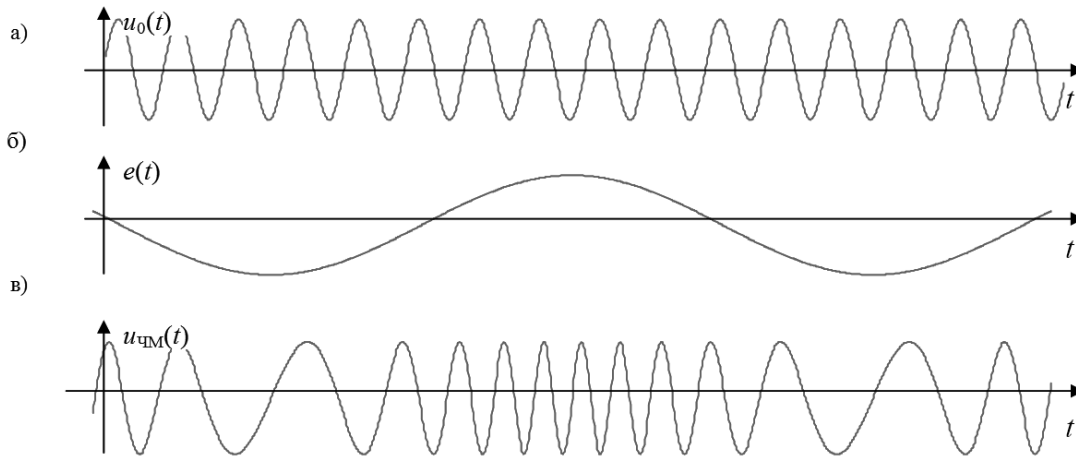


Рис. 5.4 – Частотная модуляция: а) колебание с постоянной частотой; б) модулирующий сигнал; в) частотно-модулированное колебание

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:

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

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:

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

полная фаза фазомодулированного колебания принимает значение:

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

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:

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

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

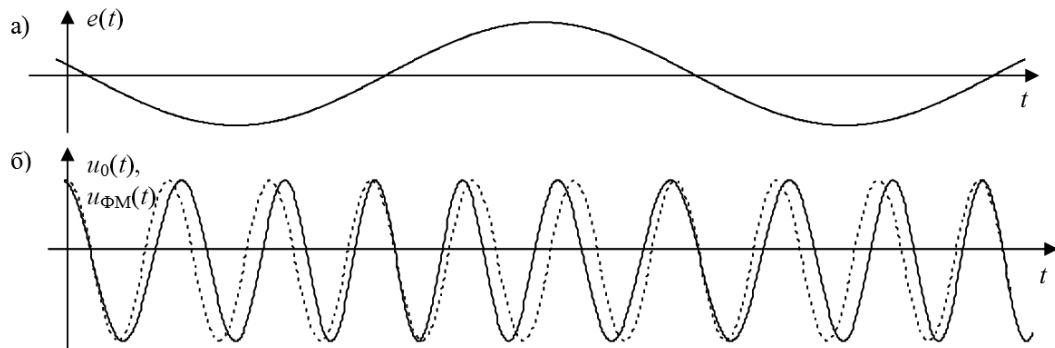


Рис. 5.5 – Фазовая модуляция: а) модулирующий сигнал; б) несущее колебание (штриховая линия) и фазомодулированное колебание (сплошная линия)

Определение спектра фазомодулированного сигнала даже в случае простых модулирующих сигналов представляет собой достаточно сложную задачу. Исключение составляет случай с малым индексом фазовой модуляции ($M_{\text{ФМ}} \ll 1$). В этом случае при нулевых начальных сдвигах фаз ($\Theta = 0$ и $\varphi_0 = 0$) напряжение (5.15) можно представить в виде:

$$u_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cdot \cos[\omega_0 t + M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t] = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \cos(M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t) - U_0 \cdot \sin(\omega_0 t) \cdot \sin(M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t). \quad (5.16)$$

В силу малости аргумента ($M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t \ll 1$) тригонометрических функций $\cos(M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t)$ и $\sin(M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t)$ справедливы приближенные соотношения

$\cos(M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t) \approx 1$ и $\sin(M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t) \approx M_{\text{ФМ}} \cdot \cos \Omega t$. С учетом этих приближений выражение (5.16) приводится к виду:

$$u_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cdot \cos \omega_0 t - \frac{U_0 \cdot M_{\text{ФМ}}}{2} \cdot \cos(\omega_0 - \Omega)t + \frac{U_0 \cdot M_{\text{ФМ}}}{2} \cdot \cos(\omega_0 + \Omega)t. \quad (5.17)$$

По своему виду выражение (5.17) для фазомодулированных колебаний при $M_{\text{ФМ}} \ll 1$ 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 $U_0 M_{\text{ФМ}}/2$, 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 ($M_{\text{ФМ}} > 1$) зависимость между полосами частот, занимаемыми модулирующим и фазомодулированным сигналами, подчиняется более сложным выражениям, чем, например, соотношение (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 времяимпульсной 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.

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.

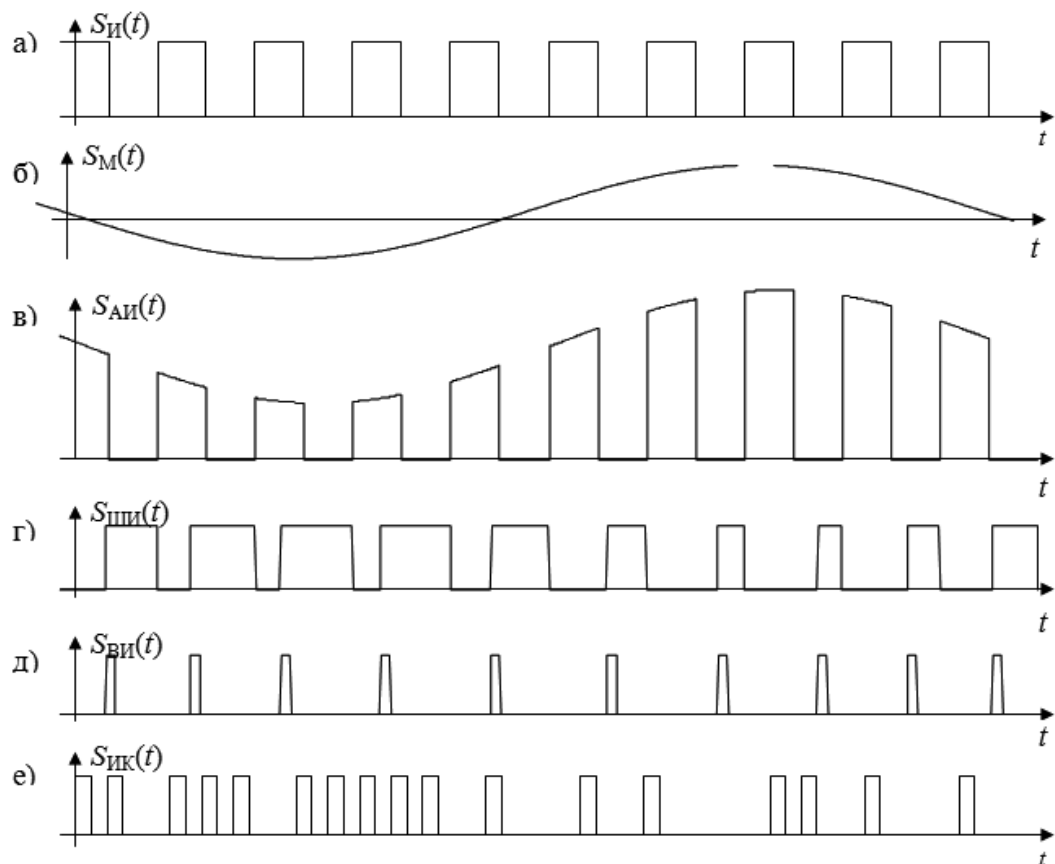


Рис. 5.6 – Модуляция импульсной последовательности: а) несущая последовательность импульсов; б) модулирующий сигнал; в) амплитудно-импульсная модуляция; г) широтно-импульсная модуляция; д) времяимпульсная модуляция; е) импульсно-кодовая модуляция



Контрольные вопросы по главе 5

- 1) Что такое модуляция сигналов? С какой целью она используется в радиосвязи?
- 2) Что происходит в результате амплитудной модуляции сигналов?
- 3) Основные характеристики сигналов при амплитудной модуляции?
- 4) Как ведут себя параметры гармонического сигнала при частотной модуляции?
- 5) Как изменяются параметры гармонического сигнала в результате фазовой модуляции?
- 6) Чем определяется ширина спектра модулированного сигнала при разных видах модуляции?
- 7) Какие виды модуляции импульсных последовательностей используются в связи?

Глава 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:

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (6.1)$$

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 электродвижущая 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:

$$\Pi = \frac{P_T}{4\pi R^2}, \quad (6.2)$$

где P_T — мощность источника излучения.

Дальность действия системы связи определяется мощностью передатчика и чувствительностью приемника. Напряженности электрической и магнитной со-

ставляющих 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:

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

6.2 Физические характеристики среды распространения радиоволн

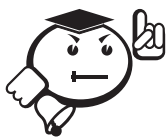
Радиоволны являются одним из диапазонов электромагнитных волн, поэтому распространение радиоволн подчиняется общим законам распространения электромагнитных колебаний (так же, как и световых волн). Распространение радиоволн в условиях Земли имеет некоторые существенные отличия от распространения радиоволн 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 понижаются. 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, простирающийся до высот порядка 60–80 км. Признаком перехода к стратосфере является прекращение понижения ее температуры с высотой (в верхних слоях тропосферы температура опускается до $-(50 \dots 60)^\circ\text{C}$). Плотность газов в стратосфере значительно меньше, чем в тропосфере. Электрические свойства стратосферы практически не изменяются, и радиоволны распространяются в ней прямолинейно и почти без потерь.

Ионосферой 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 времени 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.

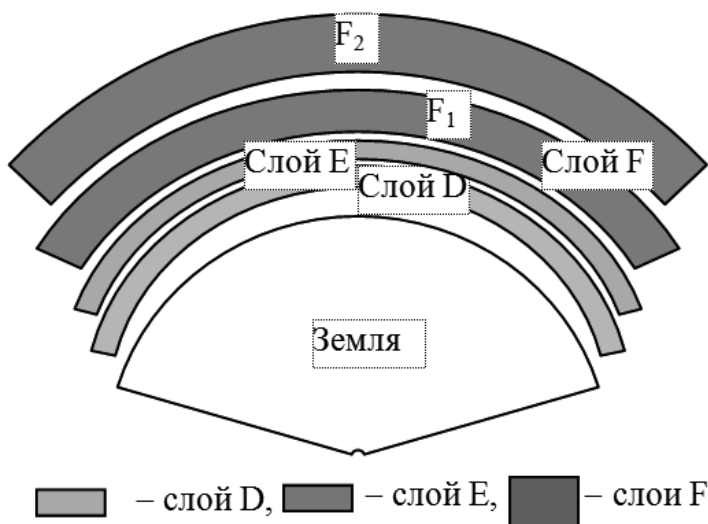


Рис. 6.1 – Ионизированные слои атмосферы Земли

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 прямолиней-

ного 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 направления 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 .

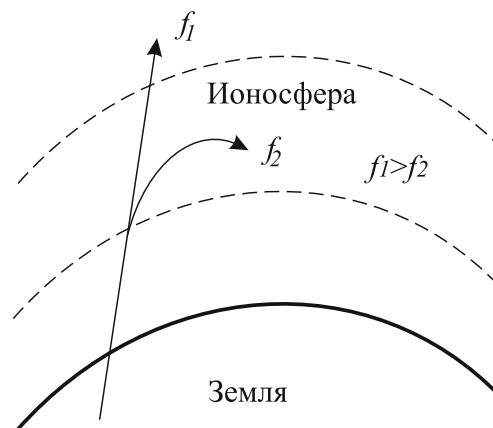


Рис. 6.2 – Преломление радиоволн при разных длинах волн

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.

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 изменя-

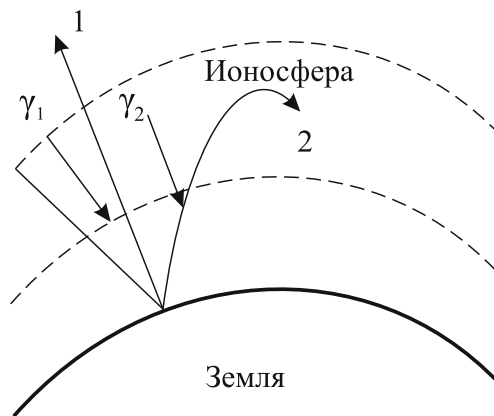


Рис. 6.3 – Преломление радиоволн при разных углах падения

ются с уменьшением длины волны (увеличением частоты колебаний). Рассмотрим особенности 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, отражаются от ионосферы и вновь вернутся 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.

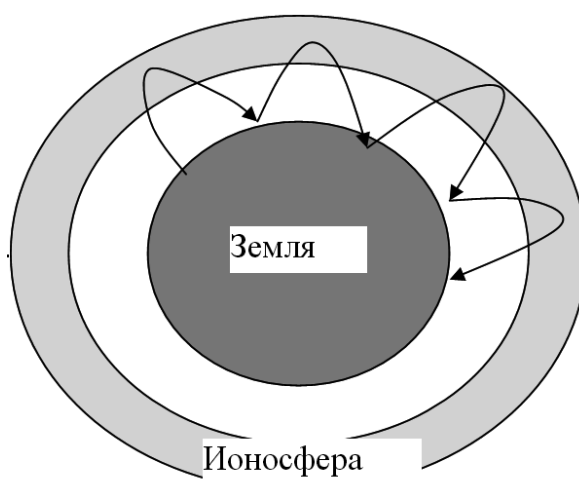


Рис. 6.4 – Распространение длинных радиоволн пространственными лучами

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 о особенности 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 более 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.

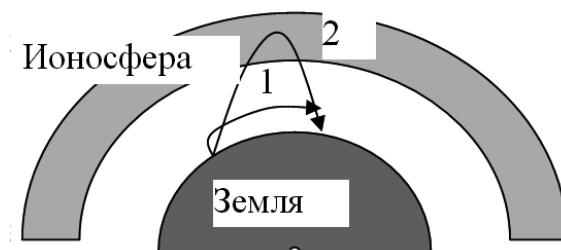


Рис. 6.5 – Распространение поверхностных и пространственных радиоволн

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 упасть 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 волн, 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 поверх-

ностных волн ограничивается практически пределами прямой видимости. Далее простирается зона молчания, где невозможен уверенный прием сигналов.

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

На рисунке 6.6 показан ход лучей декаметровых волн, излученных из точки A . Волны этого диапазона еще глубже проникают в ионосферу. Граница распространения земных волн обозначена точкой B . В точку C поступают пространственные волны после первого отражения от ионосферы. Пояс земной поверхности между точками B и C 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 A возможен приход волны после двукратного отражения от ионосферы. Если в этот же пункт приема приходит другая пространственная волна, например после однократного отражения от ионосферы, то в точке приема D наблюдается интерференция сигналов и, как следствие ее, — замирание во время приема.

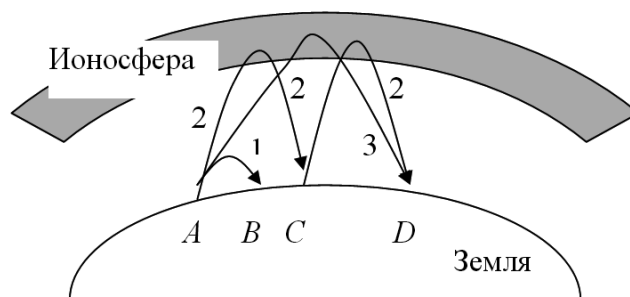


Рис. 6.6 – Распространение декаметровых радиоволн

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 возможной 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 :

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

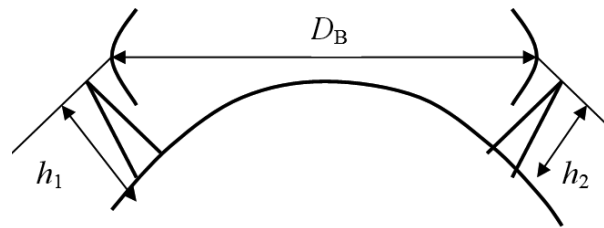


Рис. 6.7 – Максимальная дальность связи на ультракоротких волнах

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 показан ход лучей прямой и отраженной от поверхности Земли волн.

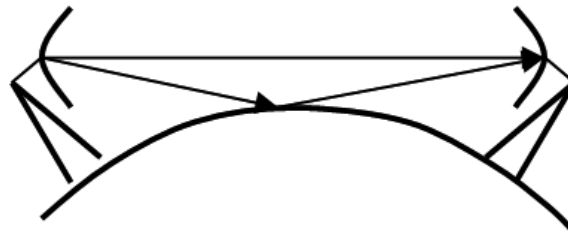


Рис. 6.8 – Распространение прямой и отраженной волн УКВ

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.

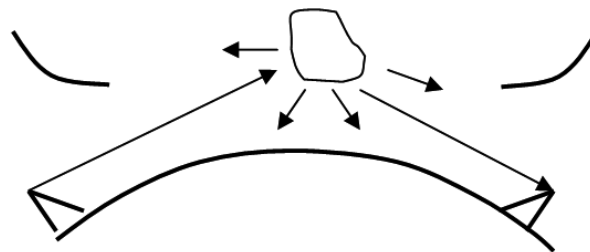


Рис. 6.9 – Рассеяние радиоволн от неоднородностей атмосферы



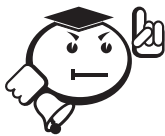
Контрольные вопросы по главе 6

- 1) Какие физические механизмы определяют формирование электромагнитного поля?
- 2) Какие основные характеристики используются для оценки электромагнитных волн?
- 3) Как характеристики среды влияют на распространение электромагнитных волн?
- 4) Какие параметры атмосферы влияют на распространение электромагнитных волн?
- 5) Как и почему изменяются параметры ионосферы, влияющие на распространение электромагнитных волн?
- 6) Какие факторы ограничивают дальность радиосвязи в разных диапазонах электромагнитных волн?
- 7) Как длина волны влияет на распространение электромагнитных волн?

Глава 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.
.....

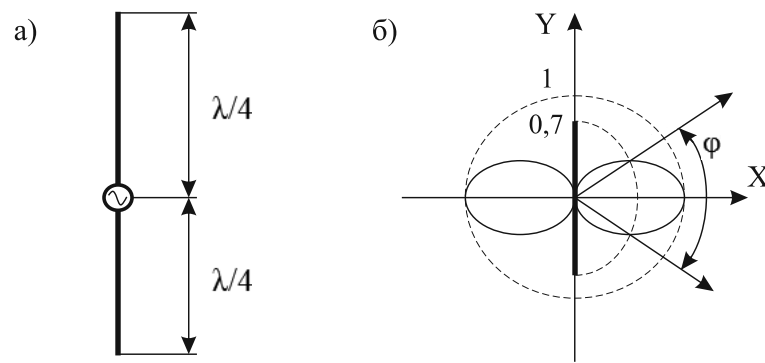


Рис. 7.1 – Полуволновой вибратор (а) и его диаграмма направленности (б)

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 Π_{MAX} , излучаемой в направлении максимального излучения, к плотности потока мощности Π , излучаемой точечным источником такой же мощности в том же направлении:

$$D = \frac{\Pi_{\text{MAX}}}{\Pi}.$$

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 «X» плотность излучаемой мощности максимальна, а в направлении оси «Y» — минимальна. Направленные свойства симметричного вибратора выражены слабо, и в достаточно широком секторе направлений — плотность потока излучаемой мощности изменяется незначительно.

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 другом. 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 (P).

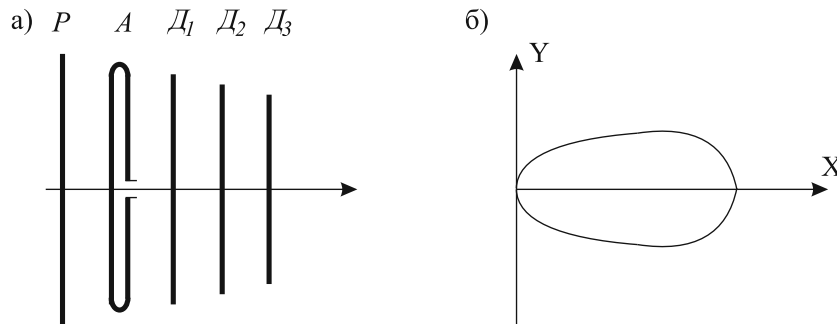


Рис. 7.2 – Антенна типа «волновой канал» (а) и его диаграмма направленности в плоскости вибраторов (б)

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).

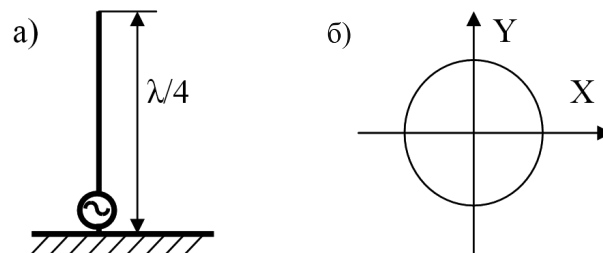


Рис. 7.3 – Несимметричный четвертьволновый вибратор (а) и его диаграмма направленности в плоскости, перпендикулярной вибратору (б)

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.

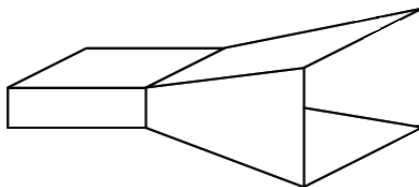


Рис. 7.4 – Рупорная антенна

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

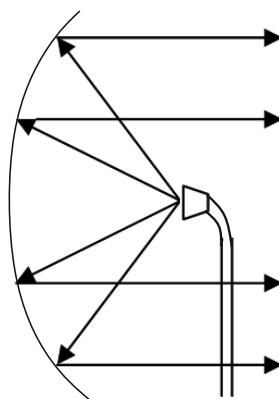


Рис. 7.5 – Зеркальная параболическая антенна

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, уровня мощности передаваемых сигналов, условий эксплуатации и т. д.

В диапазоне длинных волн фидеры выполняют в виде проволочных 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 (РПМУ)** 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.

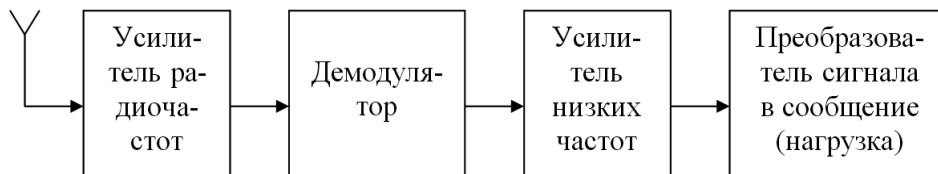
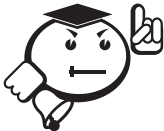


Рис. 7.6 – Структурная схема приемника прямого усиления

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 сообщение 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.

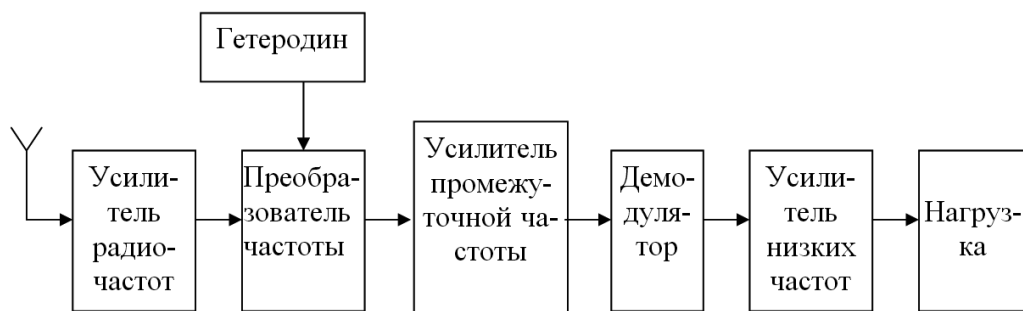


Рис. 7.7 – Структурная схема супергетеродинного приемника

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 селекцию (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, называемой 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:

$$f_{ПЧ} = |f_c - f_{\Gamma}|, \quad (7.1)$$

где f_c и f_{Γ} — 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.

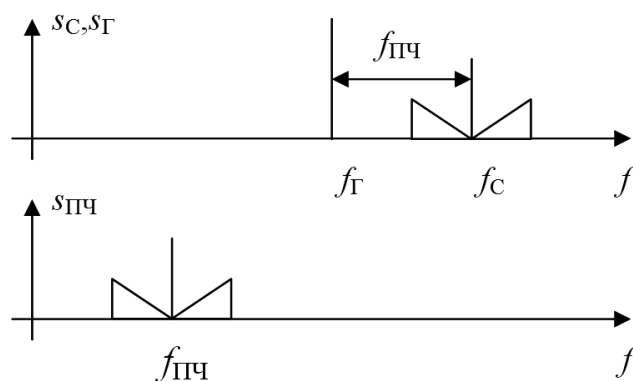


Рис. 7.8 – Спектры сигналов при супергетеродинном приеме

В супергетеродинном приемнике при смене несущей частоты принимаемого сигнала не нужно делать перестраиваемых 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 $f'_C = f_T + f_{ПЧ}$, так и при $f''_C = f_T - f_{ПЧ}$. 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 (стараяются выделить полезный сигнал и, наоборот, подавить зеркальный канал). Частоты этих сигналов отличаются на довольно большую величину (равную удвоенной промежуточной частоте $2f_{ПЧ}$), поэтому требования к УРЧ в супергетеродинном приемнике не такие жесткие, как в приемнике прямого усиления.

Радиоприемные устройства можно классифицировать по ряду признаков, например:

- 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 усиливаются 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 превышает допустимых значений.

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

7.3 Радиопередающие устройства



.....
 Под *радиопередающим устройством (РПДУ)* 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.

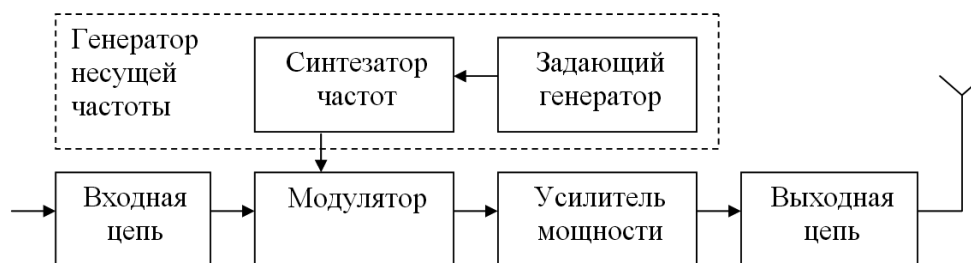


Рис. 7.9 – Обобщенная структурная схема радиопередающего устройства

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 посто-

янной частотой. При дополнительном воздействии модулирующим сигналом на частоту выходного колебания синтезатора частот можно получить радиосигналы с частотной модуляцией.

Усилитель мощности предназначен для увеличения уровня радиосигнала до величины, определяемой мощностью излучаемого сигнала в системе связи. Необходимое согласование РПДУ 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 их 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.

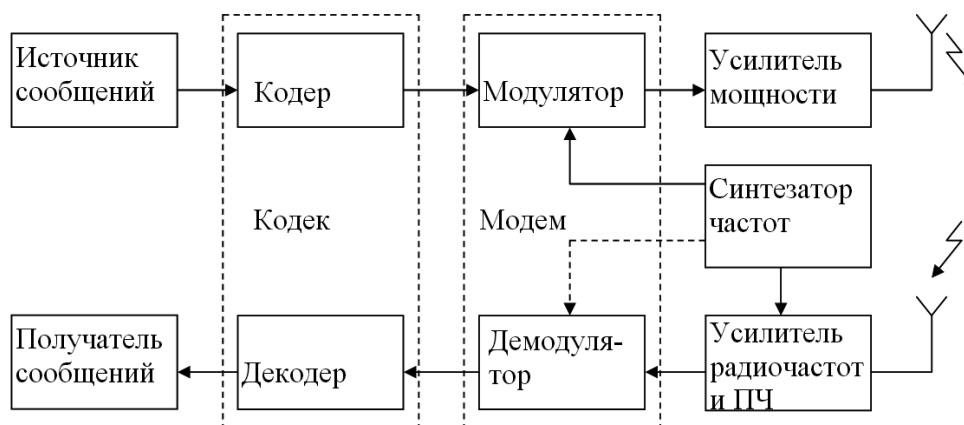


Рис. 7.10 – Приемопередатчик цифровой системы связи

В результате, на выходе кодера формируются электрические сигналы, соответствующие кодовой последовательности, 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 (амплитудная, 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.



Контрольные вопросы по главе 7

- 1) Что такое диаграмма направленности антенны? Привести примеры диаграмм направленности.
- 2) Пояснить конструкцию и принцип действия антенны типа «волновой канал».
- 3) Из каких основных компонентов состоит структурная схема приемника прямого усиления?
- 4) Пояснить структурную схему супергетеродинного приемника.
- 5) Какие характеристики используются для оценки работоспособности радиоприемных устройств.
- 6) По каким признакам классифицируют радиоприемные устройства?
- 7) Пояснить структурную схему радиопередающего устройства.
- 8) Из каких основных компонентов состоит структурная схема приемопередатчика цифровой системы связи.

Глава 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 конечными 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 позволяет 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.

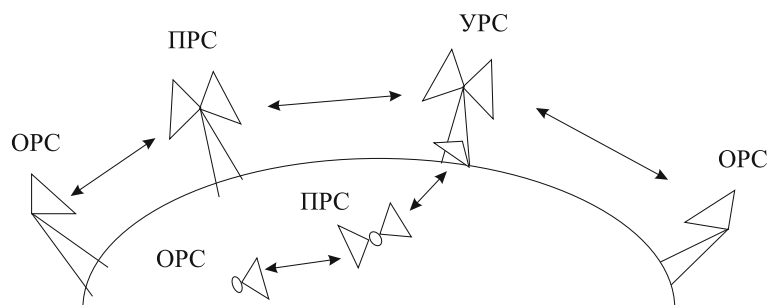


Рис. 8.1 – Радиорелейная линия связи прямой видимости

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 преимуществ работы радиорелейной линии связи в сверхвысокочастотном (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 удается 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 выходной 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.

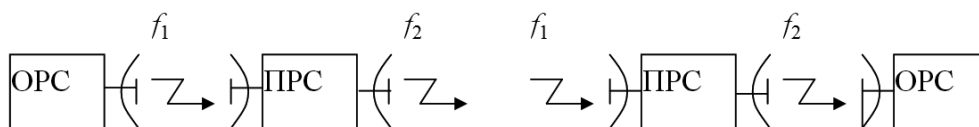


Рис. 8.2 – Распределение частот в символьном стволе радиорелейной линии связи прямой видимости

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 промежуточной радиорелейной станции

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 направления 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.

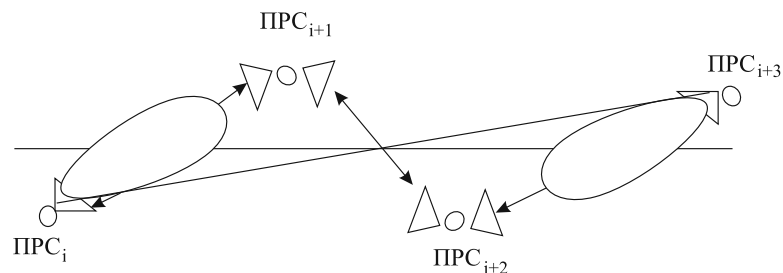


Рис. 8.4 – Схема расположения ретрансляторов на трассе радиорелейной линии связи (вид сверху)

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 распространении 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.

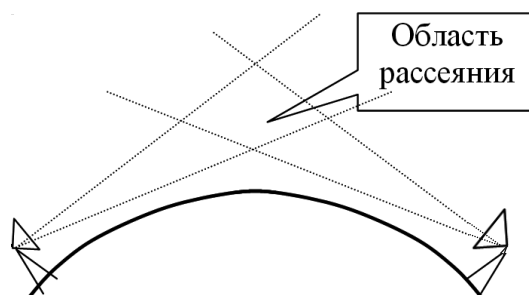


Рис. 8.5 – Тропосферная РРСП

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, уравновешивается 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 $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг·с²; R — средний радиус Земли, равный $R = 6371$ км.

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

$$mg \approx \frac{mv^2}{R}, \quad (8.3)$$

где $g = \gamma \cdot M/R^2 \approx 9,81$ м/с² — 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:

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

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.).

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).

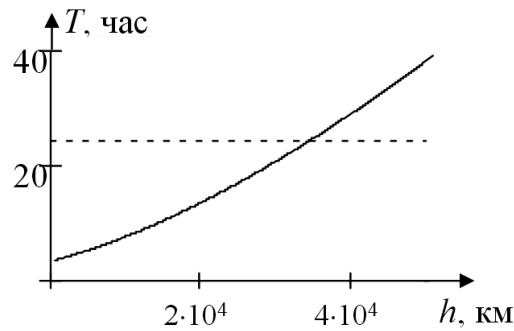


Рис. 8.6 – Зависимость периода обращения спутника вокруг Земли от высоты орбиты

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 спутниковой системы связи определяются положением спутника на орбите и взаимным расположением земной и спутниковой станций. 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.

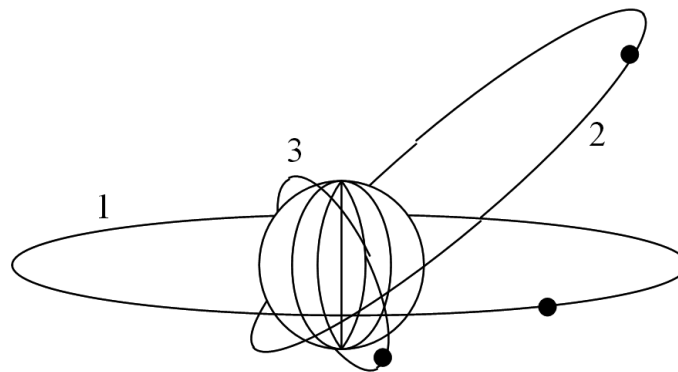


Рис. 8.7 – Орбиты спутников Земли: 1 – геостационарная; 2 – высокая эллиптическая; 3 – низко-высотная

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 наземной станции спутник виден на линии горизонта. Угол возвышения спутника в данном случае равен нулю, а зона обслуживания таким спутником достигает максимального значения. Однако при нулевых углах возвышения между антеннами наземных и космических станций могут находиться деревья, здания, неровности рельефа местности и т. д., ограничивающие пределы прямой видимости. Кроме того, при уменьшении угла возвышения сигналы получают большее ослабление, так как проходят в атмосфере увеличенные расстояния. Поэтому реальную зону обслуживания определяют минимально допустимым углом возвышения спутника, обычно не менее 5° .

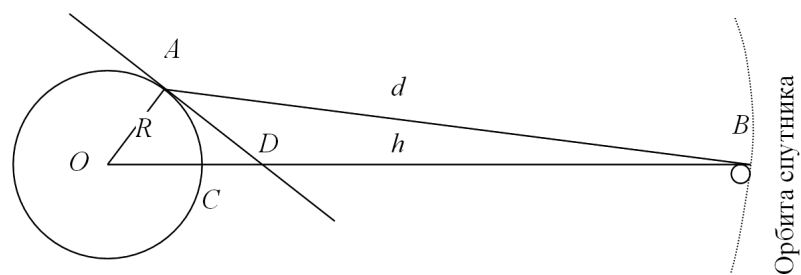
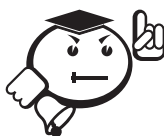


Рис. 8.8 – Взаимное расположение Земли и спутника



.....
 Существенной особенностью спутниковой связи является *задержка распространения сигналов*, вызванная прохождением довольно больших расстояний.

Эта задержка изменяется от минимальной величины, когда спутник находится в зените, до максимальной величины, когда спутник находится на линии горизонта.

Для треугольника ABO , приведенного на рисунке 8.8, справедливо соотношение:

$$\frac{\sin(\angle OAB)}{OB} = \frac{\sin(\angle OAB)}{AB}. \quad (8.7)$$

Учитывая, что угол $\angle OAB = \angle AOD + \angle DAB$, а угол $\angle OAD = \pi/2$ (AD — касательная к окружности в точке A) и обозначив отрезки: AB — расстояние от спутника до земной станции ($|AB| = d$), BC — минимальное расстояние от спутника до земной поверхности ($|BC| = h$, $|OB| = R + h$), после несложных преобразований получим:

$$\frac{\cos(\angle DAB)}{R + h} = \frac{\sin(\angle AOB)}{d}. \quad (8.8)$$

Из выражения (8.8) несложно выразить расстояние от спутника до любой наземной станции d через высоту орбиты h , угол 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:

$$\frac{2h}{c} \leq t_3 \leq \frac{2(R + h) \sin(\angle AOB)}{c \cdot \cos \theta}. \quad (8.9)$$

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.

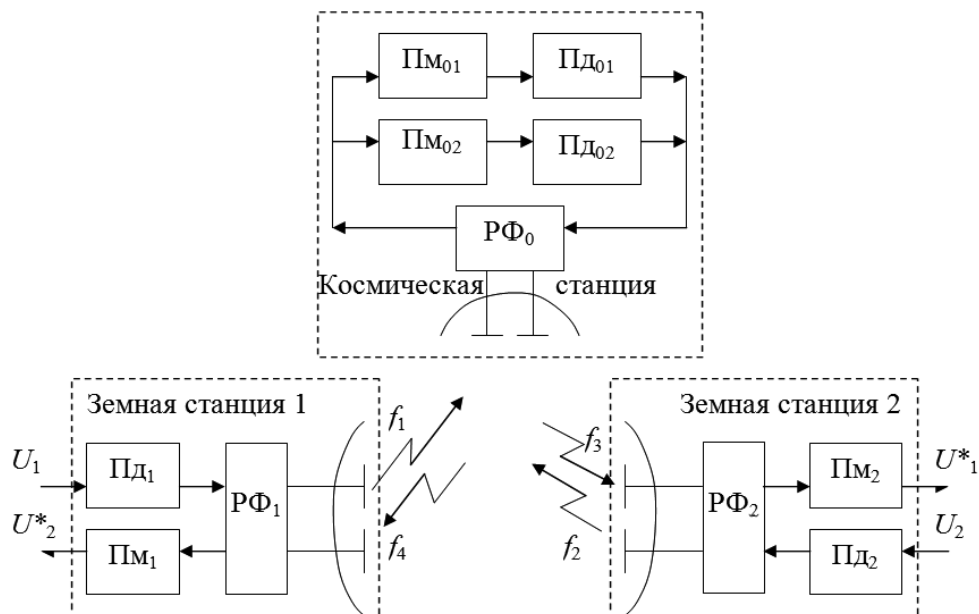


Рис. 8.9 – Структурная схема спутниковой системы связи

Сигнал U_1 , предназначенный для передачи в системе связи, поступает на передатчик $ПД_1$ первой земной станции. В передатчике $ПД_1$ осуществляются необходимые преобразования несущего колебания с частотой f_1 (модуляция, усиление и т. д.), и сформированный передатчиком радиосигнал через разделительный фильтр $РФ_1$ 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 $РФ_0$ поступают на приемники сигналов $ПМ_{01}$ и $ПМ_{02}$. Принимаемые сигналы получают в этих приемниках необходимую обработку (преобразование частоты, усиление, в некоторых системах связи предусмотрена демодуляция сигналов либо другие преобразования, предусмотренные

алгоритмом обработки сигналов). Затем в передатчиках ПД₀₁ и ПД₀₂ 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 ПМ₀₁ и передатчика ПД₀₁, преобразуется в сигнал с частотой f_3 , а сигнал с частотой f_2 на выходе цепочки ПМ₀₂–ПД₀₂ преобразуется в сигнал с частотой f_4 . Через разделительный фильтр РФ₀ эти сигналы поступают на антенну космической станции и излучаются в сторону земных станций.

На Земле сигналы с частотами f_3 и f_4 достигают антенн земных станций и поступают на входы соответствующих приемников. Приемник Пм₂ настроен на частоту f_3 , соответственно на выходе приемника будет восстановлен сигнал U_1^* , подаваемый на вход системы связи со стороны земной станции 1. Различия в обозначениях сигналов U_1 и U_1^* вызваны возможными их искажениями на трассе распространения. В свою очередь, на выходе приемника Пм₁ 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, систе-

ма 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, 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.



Контрольные вопросы по главе 8

- 1) Раскройте основные принципы функционирования радиорелейной системы связи.
- 2) Поясните организацию дуплексной системы радиорелейной связи прямой видимости.
- 3) Раскройте основные характеристики орбит искусственных спутников Земли.
- 4) Какие особенности присущи спутниковым системам связи?
- 5) Раскройте основные характеристики спутниковых систем связи.
- 6) Поясните структурную схему спутниковой системы дуплексной связи.
- 7) Поясните назначение и основные характеристики служб спутниковой связи.

Глава 9

СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

9.1 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 (автомобили, корабли, самолеты, 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 радиопередающий 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.

Малогабаритный 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. 9.1. 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, называемыми флагами. Бит, соответствующий флагу кодового слова адреса, принимает значение 0; бит, соответствующий флагу сообщения, принимает значение 1.

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. 9.1 – Формат кодовых слов стандарта POCSAG

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).

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. 9.2.

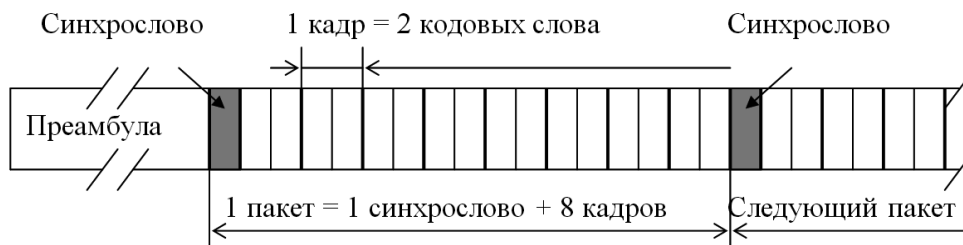


Рис. 9.2 – Формат передачи системы персонального радиовызова

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.

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, об-

щим 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.

9.2 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. 9.3, а).

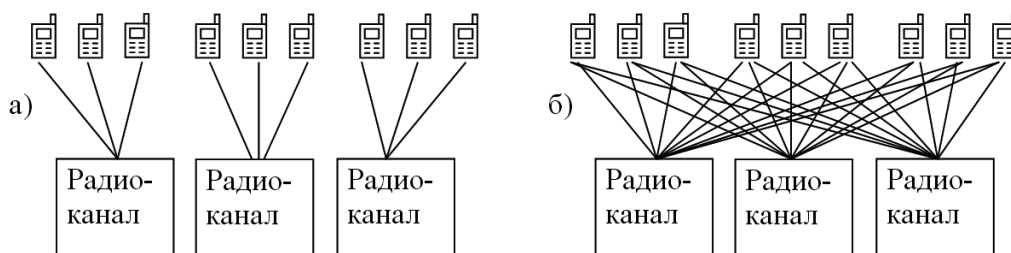


Рис. 9.3 – Система профессиональной подвижной радиосвязи: а) с закрепленными за группой радиоканалами; б) с доступом к любому каналу из магистрали

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 поступлении вызова каждой паре абонентов выделяется свободный канал; после окончания сеанса связи этот канал освобождается и может быть предоставлен другой паре (рис. 9.3, 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 станцией. 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 разносом 25 кГц и разнесением частот на прием и передачу — 10 МГц. Радиоканал шириной 25 кГц поочередно выделяется четырем парам (группам) пользователей (рис. 9.4), то есть реализуется принцип частотно-временного разделения каналов.

Каждому из четырех пользователей поочередно отводится интервал времени порядка 57 мкс, в течение которого передаются две порции пользовательской ин-

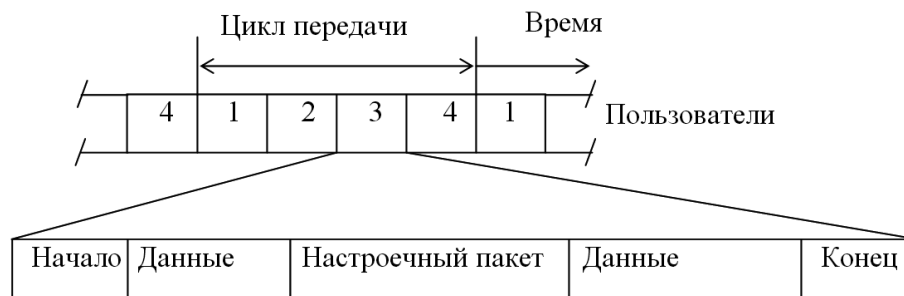


Рис. 9.4 – Формат системы передачи TETRA

формации 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 сигнала 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.).

9.3 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. 9.5).

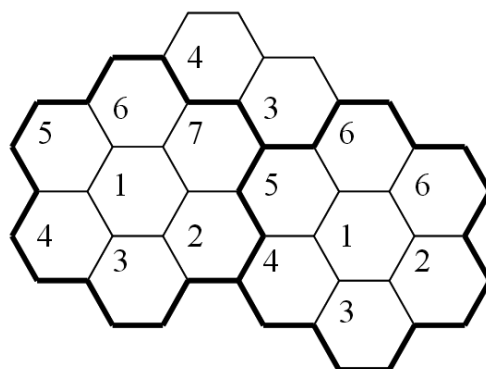


Рис. 9.5 – Структура сотовой системы радиосвязи

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.

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 системе связи, причем ни одна из частот в полном наборе не повторяется. Полный набор частот определяет размерность кластера.

На рисунке 9.5 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 9.6. 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* 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.

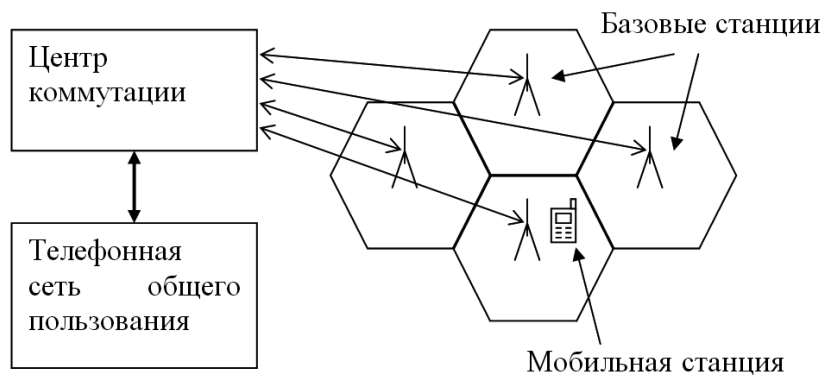
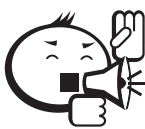


Рис. 9.6 – Структурная схема сотовой системы подвижной радиосвязи



.....
 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 передачей*, 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 разнесом 10 МГц и 890...960 МГц с разнесом 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 разномом между частотами 200 кГц. Временная и частотная структура сигнала GSM приведена на рисунке 9.7. В каждом частотном канале в течение кадра передаются поочередно сигналы 8 абонентов, то есть используется и частотное, и временное разделение каналов.

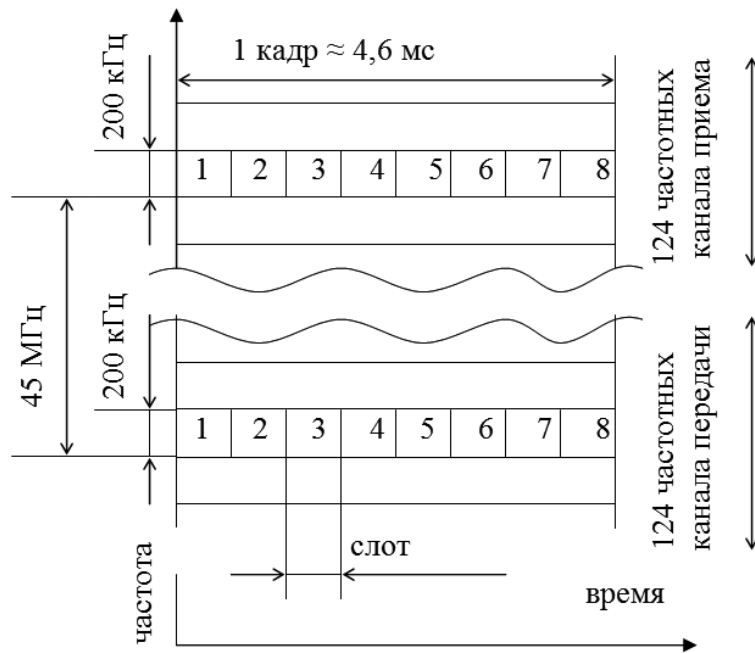


Рис. 9.7 – Временная и частотная структура сигнала GSM

Структура канального интервала стандарта GSM приведена на рисунке 9.8. Зашифрованные информационные биты передаются двумя порциями по 57 бит. Настраиваемая последовательность (известная комбинация битов, разная для каждой ячейки) 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.

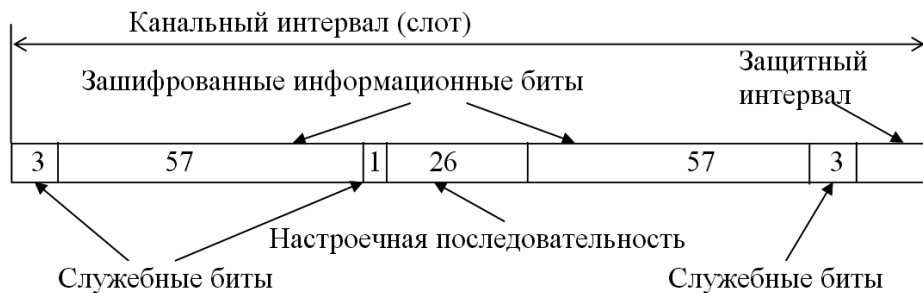


Рис. 9.8 – Структура канального интервала стандарта GSM

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.

9.4 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 возмож-

ностью 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. 9.9).



Рис. 9.9 – 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.



Контрольные вопросы по главе 9

- 1) На каких принципах основано построение систем персонального радиовызова?
- 2) Из каких основных компонентов состоит система профессиональной подвижной радиосвязи?
- 3) Пояснить работу профессиональной подвижной радиосвязи на основе системы TETRA.
- 4) Какие принципы заложены в основу построения систем сотовой радиосвязи?
- 5) Какие основные компоненты составляют структуру сотовой системы радиосвязи?
- 6) Пояснить основы формирования сигнала сотовой связи стандарта GSM в частотной и временной областях.
- 7) Раскрыть структуру каналов системы беспроводных телефонов и сигнала стандарта DECT.

Глава 10

СИСТЕМЫ РАДИОДОСТУПА

10.1 Понятие сети доступа

Любая инфокоммуникационная система имеет следующие основные компоненты: узлы, предоставляющие удаленные услуги, узлы, получающие удаленные услуги и транспортную среду, обеспечивающую передачу услуги от передатчика к приемнику. Обобщенная модель инфокоммуникационной системы приведена на рисунке 10.1 и содержит следующие основные компоненты: АТ – абонентские терминалы, СО – сетевые окончания, сеть доступа, транспортную сеть и УД – узел доступа к транспортной сети, СПУ – средства поддержки услуг.

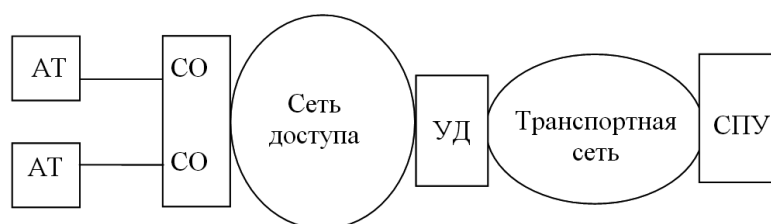


Рис. 10.1 – Модель инфокоммуникационной системы



.....
*Под **абонентским терминалом** (оборудованием в помещении клиента) понимается любое устройство, предназначенное для получения удаленной услуги.*
.....

Например, это может быть как простейший телефонный аппарат, так и сложный комплекс аппаратно-программных средств (учрежденческая АТС, оборудование локальной сети и т. д.).

В качестве средства поддержки услуг может быть использовано любое устройство или система, предназначенные для оказания услуг удаленным пользователям. В простейшем случае это может быть автоинформатор. Более сложные варианты — различные центры, например по оказанию медиа-услуг.

Задачами транспортной сети и сети доступа являются установление соединений между терминалом и средствами поддержки услуг или между терминалами, включенными в разные сети абонентского доступа. Выделение в коммуникационной среде отдельных сегментов: сети доступа и транспортной сети обусловлено различием задач, выполняемых на соответствующем уровне.

Транспортная, или магистральная, *сеть* используется для организации связи между основными региональными узлами сети на каждом уровне иерархии либо между локальными сетями. Транспортные сети должны обеспечивать высокую пропускную способность, так как на магистрали объединяются потоки большого количества подсетей. Кроме того, магистральные сети должны быть постоянно доступны, то есть обеспечивать очень высокий коэффициент готовности, так как по ним передается трафик многих критически важных для успешной работы предприятия приложений. Ввиду особой важности магистральных средств допускается их высокая стоимость. Так как у предприятия обычно имеется не так уж много крупных сетей, то к магистральным сетям не предъявляются требования поддержания разветвленной инфраструктуры доступа.

Обычно в качестве магистральных сетей используются высокоскоростные цифровые каналы, по которым передается трафик популярных протоколов цифровых линий связи.



.....
Под сетями доступа понимают участок сети связи между узлом доступа к транспортной сети и сетевым окончанием (абонентской розеткой).

Сетевое оборудование является границей, разделяющей сеть доступа и оборудование пользователя. В корпоративных сетях сети доступа организуют для связи небольших локальных сетей и отдельных удаленных компьютеров с центральной локальной сетью предприятия. Качество принятия решений сотрудниками предприятия нередко определяется оперативностью доступ к корпоративной информации из любой точки. Значение этого обстоятельства возрастает с увеличением числа сотрудников, часто обращающихся к его ресурсам за пределами предприятия (работающих на дому, находящихся в командировках), а также с появлением удаленных филиалов предприятий.

К сетям доступа предъявляются требования, существенно отличающиеся от требований к магистральным сетям. Одним из основных требований к корпоративным сетям является наличие разветвленной инфраструктуры доступа, которая может использоваться сотрудниками предприятия как при работе дома, так и в командировках [9]. Кроме того, стоимость удаленного доступа должна быть умеренной, чтобы экономически оправдать затраты на подключение удаленных абонентов. При этом требования к пропускной способности у отдельного компьютера или локальной сети, состоящей из двух-трех клиентов, обычно невысоки (даже

если такая скорость и не вполне удовлетворяет удаленного клиента, то обычно удобствами его работы жертвуют ради экономии средств предприятия).

В качестве сетей доступа обычно применяются телефонные аналоговые сети, сети ISDN и реже — сети frame relay. При подключении локальных сетей филиалов также используются выделенные каналы со скоростями от 19,2 до 64 Кбит/с. Качественный скачок в расширении возможностей удаленного доступа произошел в связи со стремительным ростом популярности и распространенности Internet. Транспортные услуги Internet дешевле, чем услуги междугородных и международных телефонных сетей, а их качество быстро улучшается.

Программные и аппаратные средства, которые обеспечивают подключение компьютеров или локальных сетей удаленных пользователей к корпоративной сети, называются средствами удаленного доступа. Обычно на клиентской стороне эти средства представлены модемом и соответствующим программным обеспечением.

Организацию массового удаленного доступа со стороны центральной локальной сети обеспечивает сервер удаленного доступа (Remote Access Server, RAS). Сервер удаленного доступа представляет собой программно-аппаратный комплекс, который совмещает функции маршрутизатора, моста и шлюза. Сервер выполняет ту или иную функцию в зависимости от типа протокола, по которому работает удаленный пользователь или удаленная сеть. Серверы удаленного доступа обычно имеют достаточно много низкоскоростных портов для подключения пользователей через аналоговые телефонные сети или цифровые сети интегрального обслуживания.

10.2 Сети радиодоступа

Принимая во внимание, что стоимость проводных абонентских линий составляет значительную часть стоимости сетей доступа, все более широкое распространение получают решения на основе использования беспроводных технологий. Радиосредства, применяемые в сетях беспроводного доступа, имеют различные характеристики, определяемые назначением оборудования. По характеру технологии, используемой в сетях радиодоступа, различают фиксированную связь, мобильную связь и комбинированные системы [10].

В свою очередь, технологии сетей фиксированной связи могут быть разбиты на четыре группы: узкополосные услуги, широкополосные услуги, лазерная связь и спутниковая связь. Оборудование, поддерживающее как узкополосные (до 2048 кбит/с), так и широкополосные (свыше 2048 кбит/с) услуги, обеспечивает соединения одного из двух способов: «точка-точка» (РТР) либо «точка-многоточка» (РТМ). Системы РТР называют также беспроводными абонентскими линиями. Оборудование лазерной связи тоже использует технологию РТР, но выделено в отдельную группу вследствие значительного различия в обеспечиваемой пропускной способности канала. С учетом особенностей распространения электромагнитных волн лазерную связь применяют для создания цифровых широкополосных трактов в зоне прямой видимости. Четвертую группу составляет оборудование спутниковой связи.

Мобильная связь может быть представлена как одно из специфических средств радиодоступа. С точки зрения общих принципов построения инфокоммуникационной системы его существенное отличие заключается только в уровне присоеди-

ния. Все сети мобильной связи имеют собственные центры коммутации. С позиции принципов построения сети доступа признак мобильности терминала можно полагать неосновным.

Наибольшее распространение получили следующие технологии мобильной связи: GSM, CDMA, NMT-450. Основная функция технологий мобильной связи — передача речи, но тенденция развития мобильной связи заключается в увеличении скорости передачи данных. Если в мобильных сетях первого поколения скорость передачи данных не превышала 9,6 кбит/с, то в сетях второго поколения пиковая скорость могла достигать 150 кбит/с, а при дальнейших модификациях ещекратно больше при сохранении приоритета голосовых соединений. Сети мобильной связи третьего поколения предусматривают возможности достижения скорости передачи данных до 2 Мбит/с. По существу это означает, что на данный период мобильная связь может представить весь набор услуг, характерных для фиксированных телефонных сетей.

Среди комбинированных систем можно выделить два варианта использования радиосредств [10]. Так, часть абонентов фиксированной сети может обслуживаться базовой станцией сотовой сети. В этом случае мобильность терминала ограничена зоной действия одной базовой станции. Кроме того, организация доступа в Интернет, а также поддержка некоторых мультимедийных услуг возможна за счет создания беспроводных локальных сетей (WLAN).

Беспроводная абонентская линия (Wireless Local Loop — WLL) представляет собой системы радиосвязи с множественным доступом, используемые на участке между АТС и фиксированными абонентскими терминалами (телефонными аппаратами) вместо проводной абонентской линии телефонной сети общего пользования. Системы беспроводного доступа обладают очевидным преимуществом при недостаточном развитии кабельной инфраструктуры (труднодоступные или малонаселенные регионы).

Обобщенная структура системы узкополосного абонентского радиодоступа к телефонным сетям приведена на рисунке 10.2. Система радиодоступа подключена к телефонной сети общего пользования (ТфОП) через *учрежденческую автоматическую телефонную станцию* (УАТС). *Контроллер* управляет работой *базовых станций* (БС) и обеспечивает соединения *мобильных терминалов* (МТ) как между собой, так и с абонентами телефонной сети общего пользования в полном соответствии с алгоритмом функционирования сети подвижной связи. Стационарные телефонные аппараты (Тлф) (в том числе, и факсы) подключаются к базовой станции (БС) с помощью *устройств доступа* (УД), обеспечивающих беспроводное соединение с АТС через базовую станцию.

Для обеспечения необходимого качества связи антенны базовых станций размещают в местах, обеспечивающих радиовидимость всех абонентов в зоне обслуживания сети беспроводной связи в наилучшей степени. Системы беспроводного доступа не чувствительны к изменению географии абонентов (в зоне действия базовой станции) и позволяют наращивать емкость системы введением дополнительных модулей или подсистем. Для подключения к сети нового абонента достаточно обеспечить его номером и терминальным оборудованием.

Растущие потребности передачи информации вызвали стимулирование развития, в том числе, и средств беспроводной передачи данных. На первых этапах

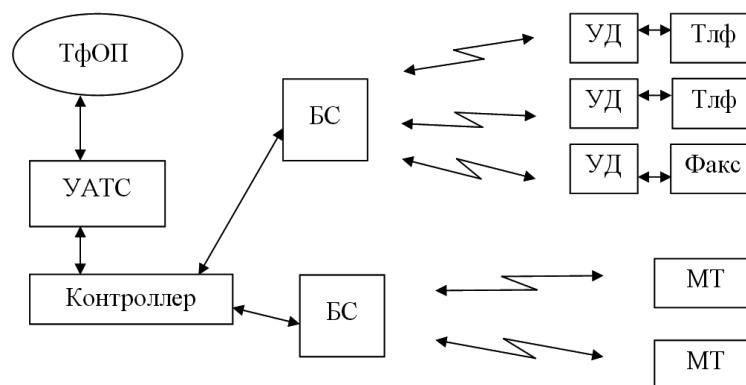


Рис. 10.2 – Структура сети узкополосного радиодоступа

каждый производитель разрабатывал уникальное фирменное оборудование, обеспечивающее беспроводный доступ к сетям передачи данных. В последующем объединении этих усилий были сформированы стандарты построения беспроводных сетей.

Технологии беспроводных локальных сетей имеют обобщенное название «Radio Ethernet» (беспроводный Ethernet). Одной из основных задач стандартов является формирование требований к оборудованию, осуществляющему передачу пакетов данных между узлами сети с помощью радиоканала. Поскольку данное направление бурно развивается, то постоянно появляются как новые стандарты, раздвигающие возможности применения средств радиодоступа для обмена информацией, так и модификации уже существующих.

Обобщенная структура подключения к сетям передачи данных (в том числе, и к Интернету) приведена на рисунке 10.3.

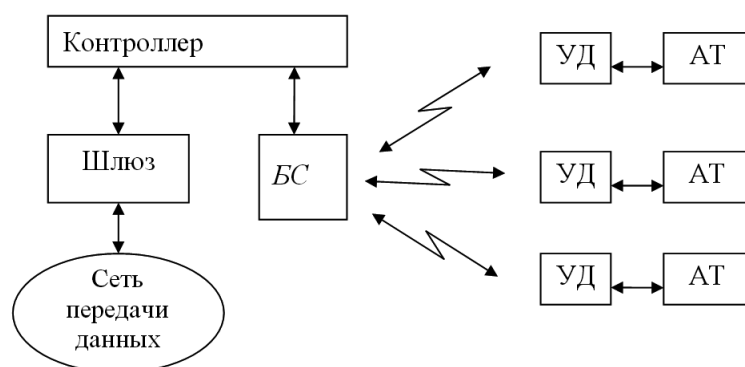


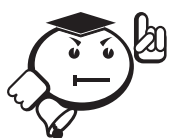
Рис. 10.3 – Структура сети Radio Ethernet

Система радиодоступа подключена к сети передачи данных через шлюз. Под *шлюзом* в терминологии Интернета понимают набор программно-аппаратных средств, предназначенных для организации передачи информации между разными сетями. *Контроллер* управляет работой базовых станций (БС) и обеспечивает необходимые соединения абонентских терминалов (АТ) как между собой, так и с требуемыми ресурсами сети передачи данных (по аналогии с тем, как это выполняется и в системах узкополосного доступа). В качестве терминалов сети пере-

дачи данных могут выступать как обычные компьютеры, так и иные специализированные средства, которые подключаются к портам шлюза с помощью устройств беспроводного доступа (УД).

Стандартами беспроводных сетей передачи данных предусмотрено использование различных участков спектра электромагнитных волн, но общая тенденция заключается в освоении все более высокочастотных диапазонов, поскольку в этом случае облегчаются условия обеспечения необходимых скоростей передачи данных.

10.3 Технологии широкополосного доступа



Одним из популярных решений организации широкополосного беспроводного доступа является использование технологии WiMAX.

Технология WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) разработана с целью предоставления услуг универсальной беспроводной связи на относительно больших расстояниях для широкого класса устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). Название «WiMAX» было сформулировано организацией, основанной в 2001 г. с целью продвижения и развития технологии WiMAX — WiMAX Forum. Технология WiMAX основана на стандартах IEEE 802.16 и описывает технологию, предоставляющую *высокоскоростной беспроводной доступ к сети*, альтернативный доступу по скоростным проводным линиям. Максимальная скорость передачи данных по этой технологии — до 1 Гбит/с [11].

Технология WiMAX предназначена для решения следующих задач:

- соединение точек доступа Wi-Fi друг с другом и другими сегментами Интернета;
- обеспечение беспроводного широкополосного доступа как альтернативы скоростным проводным линиям связи;
- предоставление высокоскоростных сервисов передачи данных и телекоммуникационных услуг;
- создание точек доступа, не привязанных к географическому положению.

WiMAX позволяет осуществлять доступ в Интернет на более высоких скоростях и с гораздо большим покрытием, чем сети предыдущего поколения. Это позволяет использовать технологию в качестве «магистральных каналов», к которым могут быть подключены традиционные кабельные каналы и локальные сети. В результате такой подход позволяет создавать масштабируемые высокоскоростные сети в рамках города.

Целесообразность использования любой технологии для доступа к сети определяется рядом факторов. В частности, для связистов всегда была актуальной задачей проблема последней мили. На данный момент имеется немало технологий последней мили, и перед любым оператором связи стоит задача выбора техноло-

гии, наилучшим образом решающей задачу доставки любого вида трафика своим абонентам. Единственного решения этой задачи не существует, у каждой технологии есть свои достоинства и недостатки. На принятие того или иного технологического решения влияет множество факторов, и окончательный выбор той или иной технологии принимается с учётом всех их в совокупности.

В стандартах IEEE 802.16 определены несколько режимов работы сетей WiMAX, основными из которых являются фиксированный и мобильный доступ.

Каждый из режимов имеет свои достоинства, но фиксированная и мобильная версии существенно отличаются друг от друга. В процессе разработки стандарта принимались попытки отыскать решения, применимые как для фиксированного, так и для мобильного режимов, но совместить все требования в рамках одного стандарта не удалось. Несмотря на то, что ряд основных характеристик совпадает, различия требований, предъявляемых к стационарным и мобильным системам привела к созданию двух отдельных версий стандарта. А по сути, их можно считать двумя разными стандартами. В каждой из спецификаций WiMAX определены свои рабочие диапазоны частот, ширина полосы пропускания, мощность излучения, методы передачи и доступа, способы кодирования и модуляции сигнала, принципы повторного использования радиочастот и прочие показатели. По этим причинам WiMAX-системы, основанные на версиях стандартов IEEE 802.16e и IEEE 802.16d, практически несовместимы. Ниже приведены краткие характеристики каждой из версий.

Стандарт IEEE 802.16d (используется также название «фиксированный WiMAX» либо обозначение 802.16–2004 — по году утверждения спецификации). Для организации передачи сигналов используется ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM — Orthogonal frequency-division multiplexing), поддерживается фиксированный доступ в зонах с наличием либо отсутствием прямой видимости. Пользовательские устройства представляют собой стационарные модемы для установки вне и внутри помещений, а также PCMCIA-карты (Personal Computer Memory Card International Association) для ноутбуков. В большинстве стран под эту технологию отведены диапазоны 3,5 и 5 ГГц. Технология развивается, и по сведениям WiMAX Forum количество внедрений фиксированной версии нарастает. В целом, по набору основных характеристик WiMAX представляет собой конкурирующую или взаимодополняющую технологию проводного широкополосного доступа.

Стандарт IEEE 802.16e (используется также название «мобильный WiMAX» либо обозначение 802.16–2005 — по году утверждения спецификации). Версия мобильного широкополосного доступа к сети — это очередная ступень развития технологии фиксированного доступа (802.16d). Данная технология доступа оптимизирована для поддержки мобильных пользователей и поддерживает ряд специфических функций, таких как хэндовер (передача абонента в ходе сеанса связи от одной базовой станции к другой), роуминг (предоставление абоненту услуг доступа вне зоны обслуживания «домашней» сети абонента с использованием ресурсов другой сети). Для повышения эффективности передачи применяется масштабируемый OFDM-доступ, возможна работа при наличии либо отсутствии прямой видимости. В целом, технология мобильного WiMAX представляется конкурирующей всем технологиям мобильной связи третьего поколения.

Общим для обеих версий является то, что технология WiMAX применяется как для решения проблемы скоростного варианта «последней мили» отдельного пользователя, так и для организации магистральной сети в масштабах города. Основное же различие между версиями технологии заключается в том, что фиксированный WiMAX предназначен для обслуживания только неподвижных абонентов, а мобильный WiMAX ориентирован на работу с абонентами, передвигающимися со скоростью до 150 км/ч. Мобильность пользователей поддерживается наличием функций роуминга и «бесшовного» переключения между базовыми станциями при передвижении абонента (по аналогии с сетями сотовой связи). Очевидно, что мобильный WiMAX может быть применен и для обслуживания неподвижных пользователей.

В состав сетей WiMAX, в общем случае, входят следующие основные компоненты: мобильные станции, базовые станции и оборудование, связывающее базовые станции между собой и с сетями передачи данных.

Построение сетей WiMAX напоминает структуру традиционных GSM-сетей: базовые станции охватывают радиус действия до нескольких десятков километров, для установки антенн не обязательно строить отдельные вышки — допускается установка антенн на крышах домов при соблюдении условия прямой видимости между станциями.

Для соединения базовой станции с абонентской используется высокочастотный диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между базовой станцией и приёмником.

Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/с. При этом по крайней мере одна базовая станция подключается к сети провайдера с использованием классических проводных соединений. Однако чем большее число базовых станций подключено к сетям провайдера, тем выше скорость передачи данных и надёжность сети в целом.

Следующим шагом развития технологий мобильной передачи данных является разработка технологии LTE (Long Term Evolution — долговременное развитие), представленной консорциумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project — международное партнерское объединение). Основное направление работы этого объединения — разработка технических спецификаций и технических отчётов в области сетевых технологий и радиодоступа в мобильных системах.

Кonsorциумом 3GPP были поставлены следующие цели разработки технологии мобильной передачи данных LTE:

- снижение стоимости передачи данных;
- увеличение скорости передачи данных;
- возможность предоставления большего спектра услуг по более низкой цене;
- повышение гибкости использования уже существующих систем.

Основная цель проекта — наращивание скорости передачи данных, поскольку все остальное, в значительной степени, является следствием решения этой задачи. Внедрение технологии LTE обеспечит возможность создания высокоскоростных систем сотовой связи, оптимизированных для пакетной передачи данных со ско-

ростью до 173 Мбит/с в нисходящем канале (от базовой станции к пользователю) и до 73 Мбит/с в восходящем канале. Пиковые скорости передачи данных в ранних реализациях должны составлять более 100 Мбит/с в нисходящем канале и более 50 Мбит/с в направлении от пользователя. Реализация LTE возможна в различных частотных диапазонах — от 1.4 МГц до 20 МГц, а также по различным технологиям разделения (частотное или временное).

Радиус действия базовой станции LTE может быть различным. В оптимальном случае — это порядка 5 км, но при необходимости он может составлять до 30 км или даже 100 км (при достаточном поднятии антенны).

Звонок или сеанс передачи данных, инициированный в зоне покрытия LTE, технически может быть передан без разрыва в сеть 3G (WCDMA), CDMA2000 или в GSM/GPRS/EDGE.



Контрольные вопросы по главе 10

- 1) Какие основные компоненты входят в модель инфокоммуникационной системы?
- 2) Как устроена и функционирует система узкополосного радиодоступа?
- 3) Как организован беспроводный доступ к сетям передачи данных?
- 4) Что общего и что различного в технологиях фиксированного и мобильного доступа?
- 5) Для решения каких задач предназначена технология WiMAX?

Глава 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 добро-

вольной основе) являются государства-участники союза. Подготовительные работы по формированию стандартов ведутся в следующих секторах ИТУ:

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

Деятельность ИТУ охватывает практически все направления работ в области связи. Результаты работы ИТУ (стандарты) издаются в виде Рекомендаций (Recommendation), объединенных в серии. Рекомендации не являются обязательными для применения, но фактически они широко используются на практике. На Рекомендации ИТУ часто ссылаются в технических условиях, прилагаемых к поставляемому оборудованию. Рекомендации ИТУ 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, что, 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. 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 включает в себя телефонную, документальную связь, радиовещание и телевидение, выделенные 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.

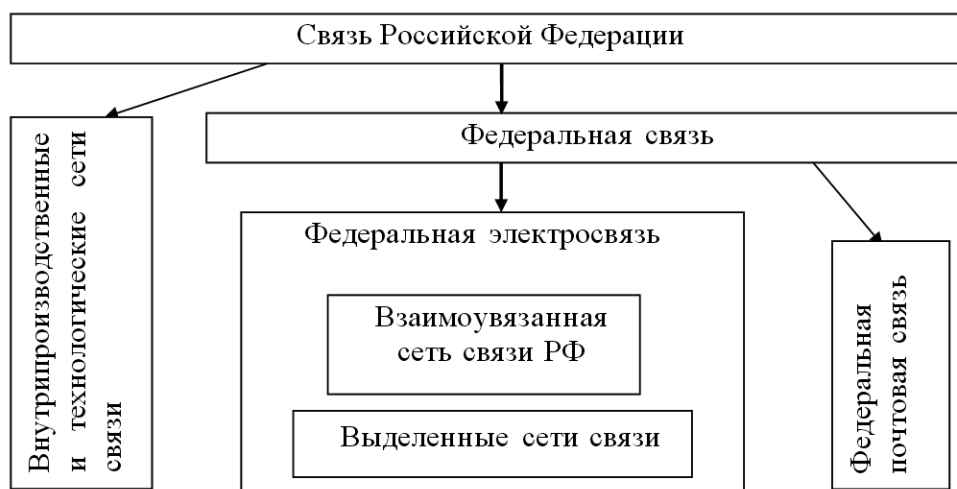
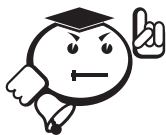


Рис. 11.1 – Связь Российской Федерации

Органами управления в области связи РФ являются:

Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минкомсвязь России), включая Департаменты Министерства связи и массовых коммуникаций, а также состоящие при министерстве Федеральную службу по надзору

в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям (Роспечать) и Федеральное агентство связи (Россвязь); Государственную комиссию по радиочастотам (ГКРЧ).



.....
 Задачей органов управления является обеспечение устойчивой и качественной работы средств и сетей связи.

Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации — федеральный орган исполнительной власти, который занимается выработкой и реализацией государственной политики и нормативно-правовым регулированием в следующих сферах:

- сфере информационных технологий (включая использование информационных технологий при формировании государственных информационных ресурсов и обеспечение доступа к ним),
- сфере электросвязи (включая использование и конверсию радиочастотного спектра) и почтовой связи,
- сфере массовых коммуникаций и СМИ, в том числе электронных (включая развитие сети Интернет, систем телевизионного (в том числе цифрового) вещания и радиовещания и новых технологий в этих областях),
- сфере печати, издательской и полиграфической деятельности,
- сфере обработки персональных данных.

Минкомсвязь России выступает в качестве почтовой администрации Российской Федерации и выполняет функции администрации связи Российской Федерации при осуществлении международной деятельности в области связи.

Министерство осуществляет координацию и контроль деятельности находящихся в его ведении Федеральной службы по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций, Федерального агентства связи, Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям.

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.

Основу электрической связи России составляет Взаимоувязанная 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, создаваемые для управления внутрипроизводственной деятельностью и технологическими процессами и не имеющие выхода на сети связи общего пользования. Состав ВСС представлен на рисунке 11.3.



Рис. 11.2 – Федеральные органы связи РФ

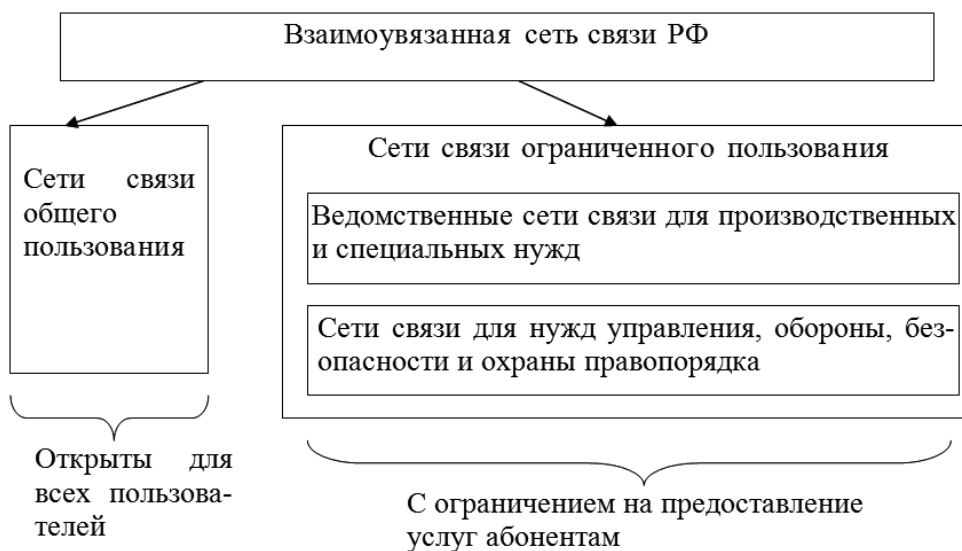


Рис. 11.3 – Состав Взаимоувязанной сети связи РФ



.....
 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, зонавого или местного значения. К сетям связи ОП относятся сети телефонной, документальной связи, передачи данных и сетей распределения программ телевидения и радиовещания.

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 Государственными образовательными стандартами (ГОС) высшего профессионального образования (ВПО), первое поколение которых было утверждено Постановлением Правительства РФ в 1994 г.

Начиная с 2011 г. высшие учебные заведения России начали подготовку специалистов в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом третьего поколения, утвержденным Постановлением Правительства РФ в 2009 г.

Согласно этим законам [11] 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 аккредитованным¹ 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 естествен-

¹ Аккредитация организации — официальное признание полномочным или авторитетным органом компетентности организации выполнять работы в определенной/заявленной области.

нонаучных 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 (специальностям). Содержание основных профессиональных образовательных программ, отражающее региональные особенности подготовки специалистов, определяется региональным компонентом ГОС ВПО. Общие требования к основной образовательной программе по направлению подготовки бакалавра 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» 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 аттестации¹.

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 ФГОС ВПО по направлению подготовки бакалавра 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [12]. В этом стандарте определены требования, предъявляемые к различным аспектам подготовки специалистов по всем профилям подготовки бакалавра 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». 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.



Контрольные вопросы по главе 11

- 1) Какие организации занимаются вопросами стандартизации в области телекоммуникаций?
- 2) Что представляют собой и какие задачи решают органы управления связью в Российской Федерации?
- 3) Какое значение имеют стандарты в организации высшего профессионального образования в РФ?
- 4) Что представляют собой основная образовательная программа высшего профессионального образования?

¹ Аттестация осуществляется посредством проверки организации на соответствие установленным критериям аккредитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Роль и значение информации в современном мире неуклонно расширяются с каждым годом. Это выдвигает определенные требования к специалистам, занимающимся вопросами обработки, преобразования и передачи информации. Согласно Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению подготовки 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» область профессиональной деятельности бакалавров включает: «совокупность технологий, средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на создание условий для обмена информацией на расстоянии по проводной, радио-, оптической системам, ее обработки и хранения». При этом объектами профессиональной деятельности являются, в том числе — технологические системы и технические средства, обеспечивающие надежную и качественную передачу, прием, обработку и хранение различных знаков, сигналов, письменного текста, изображений, звуков по проводной, радио-, оптической системам.

Одним из основных направлений этой многогранной деятельности является разработка и эксплуатация систем радиосвязи и широкополосного беспроводного доступа, в том числе и с подвижными абонентами. Специалисты данного направления должны быть компетентными не только в области общих принципов построения и функционирования телекоммуникационных систем и сетей, но также и в части обеспечения соединений необходимого качества с помощью радиоканалов. Первичные сведения об инфокоммуникационных технологиях и системах связи, затронутые в данном курсе, будут в дальнейшем расширяться и углубляться при изучении материалов дисциплин профессионального цикла в порядке, определенном учебным планом подготовки.

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 : в 2 т. / под ред. В. П. Шувалова. — М. : Горячая линия — Телеком, 2005. — Т. 2. — 672 с.
- [4] Гаранин М. В. Системы и сети передачи информации / М. В. Гаранин, В. И. Журавлев, С. В. Кунегин. — М. : Радио и связь, 2001. — 336 с.
- [5] Радиосвязь / под ред. О. В. Головина. — М. : Горячая линия — Телеком, 2003. — 288 с.
- [6] Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. — М. : Дрофа, 2005. — 717 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 и связи / В. И. Нефедов. — М. : Высшая Школа, 2005. — 510 с.
- [9] Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — Спб. : Питер, 2006. — 958 с.
- [10] Росляков А. В. Сети доступа [Электронный ресурс] А. В. Росляков. — М. : Горячая линия — Телеком, 2008. — 96 с. — URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX>.
- [11] Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Общие положения. — М., 1994.
- [12] Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Квалификация (степень) бакалавр : утв. приказом Министерства образования и науки РФ от 22 декабря 2009 г. №785.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Утвержден приказом Министерства
образования и науки Российской Федерации
от « 22 » декабря 2009 г. № 785

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ СТАНДАРТ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

по направлению подготовки

210700 – ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Квалификация (степень) бакалавр

А.1 Область применения

1.1 Настоящий федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) представляет собой совокупность требований, обязательных при реализации основных образовательных программ бакалавриата по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» образовательными учреждениями высшего профессионального образования (высшими учебными заведениями, вузами) на территории Российской Федерации, имеющими государственную аккредитацию.

1.2 Право на реализацию основных образовательных программ высшего учебного заведения имеет только при наличии соответствующей лицензии, выданной уполномоченным органом исполнительной власти.

А.2 Используемые сокращения

В настоящем стандарте используются следующие сокращения:

- ВПО – высшее профессиональное образование;
- ООП – основная образовательная программа;
- ПК – профессиональные компетенции;
- ОК – общекультурные компетенции;
- УЦ ООП – учебный цикл основной образовательной программы;
- ФГОС ВПО – федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования.

А.3 Характеристика направления подготовки

3.1 Нормативный срок, общая трудоемкость освоения основных образовательных программ (в зачетных единицах)* для очной формы обучения и соответствующая квалификация (степень) приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Сроки, трудоемкость освоения ООП и квалификация (степень) выпускников

Наименование	Квалификация (степень)		Нормативный срок освоения ООП (для очной формы обучения), включая последипломный отпуск	Трудоемкость (в зачетных единицах)
	Код в соответствии с принятой классификацией ООП	Наименование		
ООП бакалавриата	62	бакалавр	4 года	240 **)

*) одна зачетная единица соответствует 36 академическим часам;

***) трудоемкость основной образовательной программы по очной форме обучения за учебный год приравнивается к 60 зачетным единицам.

Сроки освоения основной образовательной программы бакалавриата по очно-заочной (вечерней) и заочной формам обучения, а также в случае сочетания различных форм обучения могут увеличиваться на один год относительно нормативного срока, указанного в таблице А.1 на основании решения ученого совета высшего учебного заведения.

А.4 Характеристика профессиональной деятельности бакалавров

4.1 Область профессиональной деятельности бакалавров включает совокупность технологий, средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на создание условий для обмена информацией на расстоянии по проводной, радио, оптической системам, ее обработки и хранения.

4.2 Объектами профессиональной деятельности являются области науки и техники, которые включают совокупность технологий, средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на создание условий для обмена информацией на расстоянии, ее обработки и хранения, в том числе — технологические системы и технические средства, обеспечивающие надежную и качественную передачу, прием, обработку и хранение различных знаков, сигналов, письменного текста, изображений, звуков по проводной, радио, оптической системам, таким как:

- сети связи и системы коммутации;
- сети сигнализации и синхронизации;
- многоканальные телекоммуникационные системы;
- телекоммуникационные системы оптического диапазона;
- системы и устройства радиосвязи;
- системы и устройства спутниковой и радиорелейной связи;
- системы и устройства подвижной радиосвязи;
- интеллектуальные сети и системы связи;
- интеллектуальные информационные системы в услугах и сервисах связи;
- интеллектуальные информационные системы в системах управления объектами связи;
- системы централизованной обработки данных в инфокоммуникационных сетях;
- системы и устройства звукового проводного и эфирного радиовещания и телевизионного вещания, электроакустики;
- мультимедийные технологии;
- системы и устройства передачи данных;
- методы передачи и распределения информации в телекоммуникационных системах и сетях;
- средства защиты информации в телекоммуникационных системах;
- средства защиты объектов информации;
- средства метрологического обеспечения телекоммуникационных систем и сетей;
- методы и средства энерго- и ресурсосбережения и защиты окружающей среды при осуществлении телекоммуникационных процессов;
- методы эффективного управления эксплуатационным и сервисным обслуживанием телекоммуникационных систем, сетей и устройств; методы и средства защиты от отказов в обслуживании в инфокоммуникационных сетях;
- менеджмент и маркетинг в телекоммуникациях.

4.3 Бакалавр по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» готовится к следующим видам профессиональной деятельности:

- сервисно-эксплуатационная;
- расчетно-проектная;
- экспериментально-исследовательская;
- организационно-управленческая.

Конкретные виды профессиональной деятельности, к которым в основном готовится бакалавр, определяются высшим учебным заведением совместно с обучающимися, научно-педагогическими работниками высшего учебного заведения и объединениями работодателей.

4.4 Бакалавр по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» должен решать следующие профессиональные задачи деятельности в соответствии с видами профессиональной деятельности:

1) *сервисно-эксплуатационная деятельность*:

- приемка и освоение вводимого оборудования;
- организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования;
- монтаж, наладка, испытания и сдача в эксплуатацию опытных образцов изделий, узлов, систем и деталей выпускаемой продукции;
- наладка, настройка, регулировка и испытания оборудования и тестирование, настройка и обслуживание аппаратно-программных средств;
- внедрение и эксплуатация информационных систем;
- обеспечение защиты информации и объектов информатизации;
- организация и выполнение мероприятий по метрологическому обеспечению эксплуатации телекоммуникационного оборудования;
- составление инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний;
- проведение всех видов измерений параметров оборудования и сквозных каналов и трактов (настроечных, приемосдаточных, эксплуатационных);
- проверка технического состояния и остаточного ресурса оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта; поиск и устранение неисправностей;
- составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на ремонт;
- организация мероприятий по охране труда и технике безопасности в процессе ввода в эксплуатацию, технического обслуживания и ремонта телекоммуникационного оборудования.
- доведение инфокоммуникационных услуг до пользователей;

2) *расчетно-проектная деятельность*:

- изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта;
- сбор и анализ исходных данных для проектирования сооружений связи, интеллектуальных инфокоммуникационных сетей и их элементов;
- расчет и проектирование деталей и узлов в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ;
- контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации техническим регламентам, национальным стандартам, стандартам связи, техническим условиям и другим нормативным документам;

- проведение предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов;
 - разработка проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ;
 - оценка инновационных рисков коммерциализации проектов;
 - контроль соблюдения и обеспечение экологической безопасности;
- 3) *экспериментально-исследовательская деятельность:*
- проведение экспериментов по заданной методике и анализ результатов;
 - проведение измерений и наблюдений, составление описания проводимых исследований, подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций;
 - математическое моделирование инфокоммуникационных процессов и объектов на базе как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ;
 - составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок;
- 4) *организационно-управленческая деятельность:*
- организация работы малых коллективов исполнителей;
 - разработка оперативных планов работы первичных производственных подразделений;
 - составление технической документации, а также установленной отчетности по утвержденным формам;
 - ведение деловой переписки;
 - составление заявительной документации в надзорные государственные органы инфокоммуникационной отрасли;
 - выполнение работ в области технического регулирования, сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
 - планирование работы персонала и фондов оплаты труда;
 - проведение анализа затрат и результатов деятельности производственных подразделений;
 - подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, принимаемых с использованием экономических критериев;
 - проведение организационно-плановых расчетов по созданию (реорганизации) производственных участков;
 - обеспечение защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия;
 - подготовка документации для создания системы менеджмента качества предприятия.

А.5 Требования к результатам освоения основных образовательных программ бакалавриата

5.1 Выпускник должен обладать следующими общекультурными компетенциями (ОК):

- владеть культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);
- уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь (ОК-2);
- готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3);
- способностью находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовностью нести за них ответственность (ОК-4);
- стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства (ОК-5);
- способностью критически оценивать свои достоинства и недостатки, наметить пути и выбрать средства развития достоинств и устранения недостатков (ОК-6);
- осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-7);
- использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, обладать способностью анализировать социально значимые проблемы и процессы (ОК-8);
- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-9);
- владеть одним из мировых иностранных языков на уровне не ниже разговорного (ОК-10);
- владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий (ОК-11);
- владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-12).

5.2 Выпускник должен обладать следующими профессиональными компетенциями (ПК):

- способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны; вла-

деть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации (ПК-1);

- иметь навыки самостоятельной работы на компьютере и в компьютерных сетях; осуществлять компьютерное моделирование устройств, систем и процессов с использованием универсальных пакетов прикладных компьютерных программ (ПК-2);
- способностью использовать нормативную и правовую документацию, характерную для области инфокоммуникационных технологий и систем связи (законы Российской Федерации, технические регламенты, международные и национальные стандарты, рекомендации Международного союза электросвязи, стандарты связи, протоколы, терминологию, нормы Единой системы конструкторской документации, а также документацию по системам качества работы предприятий) (ПК-3);
- знать метрологические принципы и владеть навыками инструментальных измерений, используемых в области инфокоммуникационных технологий и систем связи (ПК-4);
- готовностью к контролю соблюдения и обеспечению экологической безопасности (ПК-5);

1) *в сервисно-эксплуатационной деятельности:*

- готовностью к созданию условий для развития российской инфраструктуры связи, обеспечения ее интеграции с международными сетями связи; готовностью содействовать внедрению перспективных технологий и стандартов (ПК-6);
- способностью осуществить приемку и освоение вводимого оборудования в соответствии с действующими нормативами; уметь организовать рабочие места, их техническое оснащение, размещение сооружений, средств и оборудования связи (ПК-7);
- способностью осуществить монтаж, наладку, настройку, регулировку, опытную проверку работоспособности, испытания и сдачу в эксплуатацию сооружений, средств и оборудования сетей и организаций связи (ПК-8);
- уметь составлять нормативную документацию (инструкции) по эксплуатационно-техническому обслуживанию сооружений, сетей и оборудования связи, по программам испытаний (ПК-9);
- уметь организовать и осуществить проверку технического состояния и оценить остаток ресурса сооружений, оборудования и средств связи, применить современные методы их обслуживания и ремонта; осуществлять поиск и устранение неисправностей, повысить надежность и готовность сетей; уметь составить заявку на оборудование, измерительные устройства и запасные части, подготовить техническую документацию на ремонт и восстановление работоспособности оборудования, средств, систем и сетей связи (ПК-10);

- уметь организовать доведение услуг до пользователей услугами связи; быть способным провести работы по управлению потоками трафика на сети (ПК-11);
- уметь организовать и осуществить систему мероприятий по охране труда и технике безопасности в процессе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта телекоммуникационного оборудования (ПК-12);

2) *в расчетно-проектной деятельности:*

- готовностью к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике инвестиционного (или иного) проекта; уметь собирать и анализировать информацию для формирования исходных данных для проектирования средств и сетей связи и их элементов (ПК-13);
- уметь проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств связи в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ; уметь проводить технико-экономическое обоснование проектных расчетов с использованием современных подходов и методов (ПК-14);
- способностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ в соответствии с нормами и стандартами; готовностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-15);

3) *в экспериментально-исследовательской деятельности:*

- готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-16);
- способностью применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики; организовывать и проводить их испытания с целью оценки соответствия требованиям технических регламентов, международных и национальных стандартов и иных нормативных документов (ПК-17);
- способностью спланировать и провести необходимые экспериментальные исследования, по их результатам построить адекватную модель, использовать ее в дальнейшем при решении задач создания и эксплуатации инфокоммуникационного оборудования (ПК-18);
- готовностью к организации работ по практическому использованию и внедрению результатов исследований (ПК-19);

4) *в организационно-управленческой деятельности:*

- способностью и готовностью понимать и анализировать организационно-экономические проблемы и общественные процессы в организации связи и ее внешней среде; готовностью к участию в достижении

корпоративных целей и становлению организации связи как активного субъекта экономической деятельности (ПК-20);

- способностью понимать сущность основных экономических и финансовых показателей деятельности организации связи, особенности услуг как специфического рыночного продукта; готовностью организовать бизнес-процессы предоставления инфокоммуникационных услуг пользователям, нацеленные на наиболее эффективное использование ограниченных производственных ресурсов; готовностью к обеспечению эффективной и добросовестной конкуренции на рынке услуг связи (ПК-21);
- способностью участвовать в процессе управления организацией связи в соответствии с занимаемой должностью; готовностью к организационно-управленческой работе с малыми коллективами исполнителей; способностью организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения в области организации, мотивации и нормирования труда (ПК-22).

А.6 Требования к структуре основных образовательных программ бакалавриата

6.1 Основные образовательные программы бакалавриата предусматривают изучение следующих учебных циклов (таблица А.2):

- гуманитарный, социальный и экономический цикл;
- математический и естественнонаучный цикл;
- профессиональный цикл;

и разделов:

- физическая культура;
- учебная и производственная практика и/или научно-исследовательская работа;
- итоговая государственная аттестация.

6.2 Каждый учебный цикл имеет базовую (обязательную) часть и вариативную (профильную), устанавливаемую вузом. Вариативная (профильная) часть дает возможность расширения и (или) углубления знаний, умений и навыков, определяемых содержанием базовых (обязательных) дисциплин (модулей), позволяет обучающимся получить углубленные знания и навыки для успешной профессиональной деятельности и (или) продолжения профессионального образования в магистратуре.

6.3 Базовая (обязательная) часть цикла «Гуманитарный, социальный и экономический цикл» должна предусматривать изучение следующих обязательных дисциплин: «История», «Философия», «Иностранный язык».

Базовая (обязательная) часть профессионального цикла должна предусматривать изучение дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Таблица А.2 – Структура ООП бакалавриата

Код УЦ ООП	Учебные циклы, разделы и проектируемые результаты их освоения	Трудоемкость (зачетные единицы)	Перечень дисциплин для разра-ботки примерных программ, а также учебников и учеб-ных пособий	Коды форми-руемых компе-тенций
Б.1	<p>Гуманитарный, социальный и экономический цикл</p> <p>Базовая часть</p> <p>В результате изучения базовой части цикла обучающийся должен:</p> <p>знать основные разделы и направления философии, методы и приемы философского анализа проблем; основные закономерности исторического процесса, этапы исторического развития России, место и роль России в истории человечества и в современном мире; лексический минимум в объеме 4000 учебных лексических единиц общего и терминологического характера (для иностранного языка); принципы регламентации деятельности организаций связи; основные понятия экономической и финансовой деятельности организации связи и ее структурных подразделений, методы расчета и анализа этих показателей;</p> <p>уметь анализировать и оценивать социальную информацию; планировать и осуществлять свою деятельность с учетом результатов этого анализа; оценивать ситуацию в соответствии с выявленными условиями внутренней и внешней среды организации; осуществлять выбор целей, задач деятельности и методов ее осуществления в подразделении в контексте стратегических задач деятельности всей организации связи с учетом результатов SWOT-анализа; организовать работу подчиненных при осуществлении процессов текущей деятельности, реструктуризации и реинжиниринга основных и вспомогательных бизнес-процессов; оценивать эффективность управленческих решений и анализировать экономические показатели деятельности подразделений;</p> <p>владеть иностранным языком в объеме, необходимом для возможности получения</p>	30–36 14–20	История Философия Иностранный язык Экономика отрасли инфокоммуникаций Русский язык и культура речи	ОК-1 ОК-2 ОК-3 ОК-4 ОК-5 ОК-6 ОК-7 ОК-8 ОК-10 ПК-1 ПК-3 ПК-6 ПК-9 ПК-10 ПК-11 ПК-13 ПК-14 ПК-15 ПК-16 ПК-20
продолжение на следующей странице				

Таблица А.2 – Структура ООП бакалавриата

Код УЦ ООП	Учебные циклы, разделы и проектируемые результаты их освоения	Трудо-емкость (зачетные единицы)	Перечень дисциплин для разра-ботки примерных программ, а также учебников и учеб-ных пособий	Коды форми-руемых компе-тенций
	<p>информации из зарубежных источников; навыками письменного аргументированно-го изложения собственной точки зрения; навыками публичной речи, аргументации, ведения дискуссии и полемики, практического анализа логики различного рода рас-суждений; навыками критического восприятия информации; навыками обоснования, выбора, реализации и контроля результатов управленческого решения по экономи-ческому критериям; навыками работы с персоналом; навыками работы с документа-цией; методами организации процессов развития организации связи.</p>			ПК-21 ПК-22
Б.2	<p>Вариативная часть (знания, умения, навыки определяются ООП вуза)</p> <p>Математический и естественнонаучный цикл</p> <p>Базовая часть</p> <p>В результате изучения базовой части цикла обучающийся должен:</p> <p>знать основные понятия и методы математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, основы математического аппарата, применяемого для решения задач управления и алгоритмизации процессов обработки информации, эле-менты теории множеств, логические функции, графы и конечные автоматы; матема-тические программы для использования возможностей компьютеров для качествен-ного исследования свойств различных математических моделей; законы и методы накопления, передачи и обработки информации с помощью компьютера; основные физические явления; фундаментальные понятия, законы и теории классической и со-временной физики; современную научную аппаратуру; структуру биосферы; экоси-стемы; взаимоотношения организма и среды; экологические принципы рационально-го использования природных ресурсов и охраны природы; основы экологического права;</p>	65–75 42–48	<p>Математический анализ</p> <p>Теория вероят-ностей и математи-ческая статистика</p> <p>Дискретная математика</p> <p>Информатика</p> <p>Физика</p>	ОК-9 ОК-11 ПК-1 ПК-2 ПК-4 ПК-5 ПК-11 ПК-12

продолжение на следующей странице

Таблица А.2 – Структура ООП бакалавриата

Код УЦ ООП	Учебные циклы, разделы и проектируемые результаты их освоения	Трудоемкость (зачетные единицы)	Перечень дисциплин для разра-ботки примерных программ, а также учебников и учебных пособий	Коды формируемых компетенций
	<p>уметь использовать математические методы в технических приложениях; строить вероятностные модели для конкретных процессов, проводить необходимые расчеты в рамках построенной модели; использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения; выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей деятельности; прогнозировать последствия своей профессиональной деятельности с точки зрения биосферных процессов;</p> <p>владеть методами математического анализа и теории вероятностей; основными методами работы на компьютере с использованием универсальных прикладных программ; иметь опыт аналитического и численного решения вероятностных и статистических задач, навыками использования основных приемов обработки экспериментальных данных, в том числе с использованием стандартного программного обеспечения, пакетов программ общего и специального назначения; навыками экологического обеспечения производства и инженерной защиты окружающей среды.</p>		Экология	
Б.3	<p>Вариативная часть (знания, умения, навыки определяются ООП вуза)</p> <p>Профессиональный цикл</p> <p>Базовая (общепрофессиональная) часть</p> <p>В результате изучения базовой части цикла обучающийся должен:</p> <p>знать основы цифровой вычислительной техники, структуры и функционирование локальных вычислительных сетей и глобальной сети Интернет, основные закономерности передачи информации в инфокоммуникационных системах, основные виды</p>	104–114 55–61	Вычислительная техника и информационные технологии	ПК-14 ПК-17 ПК-18 ОК-7 ОК-11 ПК-1 ПК-2 ПК-3
продолжение на следующей странице				

Таблица А.2 – Структура ООП бакалавриата

Код УЦ ООП	Учебные циклы, разделы и проектируемые результаты их освоения	Трудо- емкость (зачетные единицы)	Перечень дисциплин для разра- ботки примерных программ, а также учебников и учеб- ных пособий	Коды форми- руемых компе- тенций
	<p>сигналов, используемых в телекоммуникационных системах, особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем; принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов; принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределе- ния информации в сетях связи; современные и перспективные направления развития телекоммуникационных сетей и систем; особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в различных средах, в линиях передачи электромаг- нитной энергии и объемных резонаторах; физические эффекты и процессы, лежащие в основе принципов действия полупроводниковых, электровакуумных и оптоэлек- тронных приборов; устройство и принцип действия, схемы включения и режимы работы приборов, вид статических характеристик и их семейств в различных схемах включения; основы технологии интегральных схем, микросхемотехнику и принцип работы базовых каскадов аналоговых и логических элементов цифровых схем; осно- вы теории, методы и средства теоретического и экспериментального исследования линейных и нелинейных электрических и радиотехнических цепей при гармониче- ских и негармонических воздействиях; основы теории четырехполосников и це- пей с распределенными параметрами, устойчивости электрических цепей с обратной связью, электрических аналоговых, дискретных и цифровых фильтров; элементную базу и схемотехнику аналоговых, цифровых и микропроцессорных устройств элек- тросвязи, осуществляющих усиление, фильтрацию, генерацию и обработку сигна- лов, особенности миниатюризации таких устройств на базе применения инте- гральных микросхем; принципы построения систем электропитания телекоммуни-</p>		<p>Общая теория связи</p> <p>Цифровая обра- ботка сигналов</p> <p>Основы построения инфокоммуникаци- онных систем и сетей</p> <p>Электромагнит- ные поля и волны</p> <p>Электроника</p> <p>Теория электри- ческих цепей</p> <p>Схемотехника телекоммуникаци- онных устройств</p>	<p>ПК-4 ПК-5 ПК-6 ПК-7 ПК-8 ПК-9 ПК-10 ПК-11 ПК-12 ПК-13 ПК-14 ПК-15 ПК-16 ПК-17 ПК-18</p>
	продолжение на следующей странице			

Таблица А.2 – Структура ООП бакалавриата

Код УЦ ООП	Учебные циклы, разделы и проектируемые результаты их освоения	Трудо- емкость (зачетные единицы)	Перечень дисциплин для разра- ботки примерных программ, а также учебников и учеб- ных пособий	Коды форми- руемых компе- тенций
	<p>кационной аппаратуры и их структур, функционирования их узлов; требования стан- дартизации, метрологического обеспечения и безопасности жизнедеятельности при разработке и эксплуатации устройств и систем электросвязи;</p> <p>уметь проводить анализ и синтез логических устройств, синтезировать с использо- ванием современной микроэлектронной элементной базы цифровые устройства, обес- печивающие заданное функционирование; формулировать основные технические требования к телекоммуникационным сетям и системам, оценивать основные про- блемы, связанные с эксплуатацией и внедрением новой телекоммуникационной тех- ники; проводить математический анализ физических процессов в аналоговых и диф- ференциальных устройствах формирования, преобразования и обработки сигналов, оценивать реальные и предельные возможности пропускной способности и помехоустойчиво- сти телекоммуникационных систем; проводить анализ физических процессов, про- исходящих в различных направляющих системах, устройствах сверхвысоких частот, в однородных и неоднородных средах, понимать сущность электромагнитной сов- местимости; определять дифференциальные параметры электронных приборов по их статическим характеристикам; рассчитывать и измерять параметры и характери- стики линейных и нелинейных электрических цепей, рассчитывать и анализировать параметры электрических цепей и фильтров на персональных компьютерах; прово- дить самостоятельный анализ физических процессов, происходящих в электронных телекоммуникационных устройствах, проектировать и рассчитывать их; применять на практике методы анализа основных устройств электропитания: трансформаторов, выпрямителей, статических преобразователей, стабилизаторов напряжения, прово-</p>		<p>Электропитание устройств и систем телекоммуникаций</p> <p>Инженерная и ком- пьютерная графика</p> <p>Метрология, стан- дартизация и серти- фикация в инфо- коммуникациях</p> <p>Безопасность жизнедеятельности</p>	
				продолжение на следующей странице

Таблица А.2 – Структура ООП бакалавриата

Код УЦ ООП	Учебные циклы, разделы и проектируемые результаты их освоения	Трудо-емкость (зачетные единицы)	Перечень дисциплин для разра-ботки примерных программ, а также учебников и учеб-ных пособий	Коды формируемых компетенций
	<p>дать компьютерное моделирование узлов системы электропитания; владеть начальными навыками разработки и отладки с использованием соответствующих отладочных средств программного обеспечения сигнальных процессоров и микроконтроллеров; навыками практической работы с лабораторными макетами аналоговых и цифровых устройств, методами компьютерного моделирования фи-зических процессов при передаче информации; навыками алгоритмизации краевых задач электродинамики; навыками экспериментального определения статических ха-рактеристик и параметров различных электронных приборов и их компьютерного ис-следования по электрическим моделям; навыками экспериментального исследования электрических цепей в рамках физического и математического моделирования; на-выками безмашинного и компьютерного проектирования и расчета аналоговых, циф-ровых и микропроцессорных телекоммуникационных устройств; навыками прак-тической работы с лабораторными макетами узлов системы электропитания; техникой инженерной и компьютерной графики (ввод, вывод, отображение, преобразование и редактирование графических объектов на компьютере).</p>			
Б.4	Вариативная часть (знания, умения, навыки определяются ООП вуза в соответствии с профилями подготовки) Физическая культура	2		ОК-5 ОК-12
Б.5	Учебная и производственная практики (практические умения и навыки определяются ООП вуза)	12–15		ОК-3 ОК-9 ПК-2
	продолжение на следующей странице			

Таблица А.2 – Структура ООП бакалавриата

Код УЦ ООП	Учебные циклы, разделы и проектируемые результаты их освоения	Трудо- емкость (зачетные единицы)	Перечень дисциплин для разра- ботки примерных программ, а также учебников и учеб- ных пособий	Коды форми- руемых компе- тенций
Б.6	Итоговая государственная аттестация	12		ПК-3 ПК-4 ПК-10 ПК-12 ПК-13 ПК-14 ПК-15 ПК-20
	Общая трудоемкость основной образовательной программы	240		ОК-2 ОК-8 ОК-9 ОК-10 ПК-3 ПК-13 ПК-14 ПК-15

А.7 Требования к условиям реализации основных образовательных программ бакалавриата

7.1 Образовательные учреждения самостоятельно разрабатывают и утверждают ООП бакалавриата, которая включает в себя учебный план, рабочие программы учебных курсов, предметов, дисциплин (модулей) и другие материалы, обеспечивающие воспитание и качество подготовки обучающихся, а также программы учебной и производственной практик, календарный учебный график и методические материалы, обеспечивающие реализацию соответствующей образовательной технологии.

Профиль ООП определяется высшим учебным заведением в соответствии с примерной основной образовательной программой ВПО.

Высшие учебные заведения обязаны ежегодно обновлять основные образовательные программы с учетом развития науки, техники, культуры, экономики, технологий и социальной сферы.

7.2 При разработке ООП бакалавриата должны быть определены возможности вуза в формировании социально-личностных компетенций выпускников (например, компетенций социального взаимодействия, самоорганизации и самоуправления, системно-деятельностного характера). Вуз обязан сформировать социокультурную среду вуза, создать условия, необходимые для всестороннего развития личности.

Вуз обязан способствовать развитию социально-воспитательного компонента учебного процесса, включая развитие студенческого самоуправления, участие обучающихся в работе общественных организаций, спортивных и творческих клубов, научных студенческих обществ.

7.3 Реализация компетентного подхода должна предусматривать широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбор конкретных ситуаций, психологические и иные тренинги) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. В рамках учебных курсов должны быть предусмотрены встречи с представителями российских и зарубежных компаний, государственных и общественных организаций, мастер-классы экспертов и специалистов.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью ООП, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 20% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа для соответствующих групп студентов не могут составлять более 40% аудиторных занятий.

7.4 В учебной программе каждой дисциплины (модуля, курса) должны быть четко сформулированы конечные результаты обучения в органичной увязке с осваиваемыми знаниями, умениями и приобретаемыми компетенциями в целом по ООП.

Общая трудоемкость дисциплины не может быть менее двух зачетных единиц (за исключением дисциплин по выбору обучающихся). По дисциплинам, трудоемкость которых составляет более трех зачетных единиц, должна выставляться оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно»).

7.5 Основная образовательная программа должна содержать дисциплины по выбору обучающихся в объеме не менее одной трети вариативной части суммарно по циклам Б.1, Б.2 и Б.3. Порядок формирования дисциплин по выбору обучающихся устанавливает Ученый совет вуза.

7.6 Максимальный объем учебных занятий обучающихся не может составлять более 54 академических часов в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы по освоению основной образовательной программы и факультативных дисциплин, устанавливаемых вузом дополнительно к ООП и являющихся необязательными для изучения студентами.

7.7 Максимальный объем аудиторных учебных занятий в неделю при освоении основной образовательной программы в очной форме обучения составляет 27 академических часов. В указанный объем не входят обязательные аудиторные занятия по физической культуре.

7.8 В случае реализации ООП бакалавриата в иных формах обучения максимальный объем аудиторных занятий устанавливается в соответствии с Типовым положением об образовательном учреждении высшего профессионального образования (высшем учебном заведении), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 14 февраля 2008 г. №71 (Собрание законодательства Российской Федерации, №8, ст. 731).

7.9 Общий объем каникулярного времени в учебном году должен составлять 7–10 недель, в том числе не менее двух недель в зимний период.

В высших учебных заведениях, в которых предусмотрена военная и/или правоохранительная служба, продолжительность каникулярного времени обучающихся определяется в соответствии с нормативными правовыми актами, регламентирующими порядок прохождения службы.

7.10 Раздел «Физическая культура» трудоемкостью 2 зачетные единицы реализуется: при очной форме обучения, как правило, в объеме 400 часов, при этом объем практической, в том числе игровых видов, подготовки должен составлять не менее 360 часов.

7.11 Вуз обязан обеспечить обучающимся реальную возможность участвовать в формировании своей программы обучения, включая возможную разработку индивидуальных образовательных программ.

7.12 Вуз обязан ознакомить обучающихся с их правами и обязанностями при формировании ООП, разъяснить, что избранные обучающимися дисциплины (модули, курсы) становятся для них обязательными.

7.13 ООП бакалавриата вуза должна включать лабораторные практикумы и/или практические занятия по дисциплинам (модулям) базовой части, формирующим у обучающихся умения и навыки в области истории, философии, иностранного языка, экономики отрасли инфокоммуникаций, русского языка и культуры речи, математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, дискретной математики, информатики, физики, экологии, инженерной и компьютерной графики, электромагнитных полей и волн, вычислительной техники и информационных технологий, общей теории связи, цифровой обработки сигналов, основ построения инфокоммуникационных систем и сетей, электроники, теории электрических цепей, схемотехники телекоммуникационных устройств, электропитания устройств и систем телекоммуникаций, метрологии, стандартизации

и сертификации в инфокоммуникациях, безопасности жизнедеятельности, а также по дисциплинам (модулям) вариативной части, рабочие программы которых предусматривают цели формирования у обучающихся соответствующих умений и навыков.

7.14 Обучающиеся имеют следующие права и обязанности:

- право в пределах объема учебного времени, отведенного на освоение дисциплин (модулей, курсов) по выбору, предусмотренных ООП, выбирать конкретные дисциплины (модули);
- право при формировании своей индивидуальной образовательной программы получить консультацию в вузе по выбору дисциплин (модулей, курсов) и их влиянию на будущий профиль подготовки;
- право при переводе из другого высшего учебного заведения при наличии соответствующих документов на перезачет освоенных ранее дисциплин (модулей) на основании аттестации;
- обязанности выполнять в установленные сроки все задания, предусмотренные ООП вуза.

7.15 Раздел ООП бакалавриата «Учебная и производственная практики» является обязательным и представляет собой вид учебных занятий, непосредственно ориентированных на профессионально-практическую подготовку обучающихся.

Конкретные виды практик определяются ООП вуза. Цели и задачи, программы и формы отчетности определяются вузом по каждому виду практики.

Практики проводятся в сторонних организациях или на кафедрах и в лабораториях вуза (учебная практика), обладающих необходимым кадровым и научно-техническим потенциалом.

По результатам аттестации выставляется дифференцированная оценка.

Разделом учебной практики может являться научно-исследовательская работа обучающегося. При разработке программы научно-исследовательской работы высшего учебного заведения должно предоставить возможность обучающимся:

- изучать специальную литературу и другую научно-техническую информацию, достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области инфокоммуникационных технологий и систем связи;
- участвовать в выполнении технических разработок или проведении научных исследований;
- осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации по теме (заданию);
- принимать участие в пуско-наладочных работах и сдаче в эксплуатацию оборудования, средств и сооружений связи, в их испытаниях с целью оценки соответствия требованиям технических регламентов, международных и национальных стандартов и иных нормативных документов;
- составлять отчеты (разделы отчета) по теме или ее разделу (этапу, заданию);
- выступить с докладом на конференции и т. д.

7.16 Реализация ООП бакалавриата должна обеспечиваться научно-педагогическими кадрами, имеющими, как правило, базовое образование, соответствующее

профилю преподаваемой дисциплины, и систематически занимающимися научной и (или) научно-методической деятельностью.

Доля преподавателей, имеющих ученую степень и/или ученое звание, в общем числе преподавателей, обеспечивающих образовательный процесс по данной основной образовательной программе, должна быть не менее 50 процентов, ученую степень доктора наук (в том числе степень, присваиваемую за рубежом, документы о присвоении которой прошли установленную процедуру признания и установления эквивалентности) и/или ученое звание профессора должны иметь не менее восьми процентов преподавателей.

Преподаватели профессионального цикла должны иметь базовое образование и/или ученую степень, соответствующие профилю преподаваемой дисциплины. Не менее 60 процентов преподавателей (в приведенных к целочисленным значениям ставок), обеспечивающих учебный процесс по профессиональному циклу, должны иметь ученые степени или ученые звания. К образовательному процессу должно быть привлечено не менее пяти процентов преподавателей из числа действующих руководителей и работников профильных организаций, предприятий и учреждений.

До 10 процентов от общего числа преподавателей, имеющих ученую степень и/или ученое звание, может быть заменено преподавателями, имеющими стаж практической работы по данному направлению на должностях руководителей или ведущих специалистов более 10 последних лет.

7.17 Основная образовательная программа должна обеспечиваться учебно-методической документацией и материалами по всем учебным курсам, дисциплинам (модулям) основной образовательной программы. Содержание каждой из таких учебных дисциплин (курсов, модулей) должно быть представлено в сети Интернет или локальной сети образовательного учреждения.

Внеаудиторная работа обучающихся должна сопровождаться методическим обеспечением и обоснованием времени, затрачиваемого на ее выполнение.

Каждый обучающийся должен быть обеспечен доступом к электронно-библиотечной системе, содержащей издания по основным изучаемым дисциплинам и сформированной по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

При этом должна быть обеспечена возможность осуществления одновременного индивидуального доступа к такой системе не менее, чем для 25 процентов обучающихся.

Библиотечный фонд должен быть укомплектован печатными и/или электронными изданиями основной учебной литературы по дисциплинам базовой части всех циклов, изданными за последние 10 лет (для дисциплин базовой части гуманитарного, социального и экономического цикла — за последние 5 лет), из расчета не менее 25 экземпляров таких изданий на каждые 100 обучающихся.

Фонд дополнительной литературы помимо учебной должен включать официальные, справочно-библиографические и периодические издания в расчете 1–2 экземпляра на каждые 100 обучающихся.

Электронно-библиотечная система должна обеспечивать возможность индивидуального доступа для каждого обучающегося из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет.

Оперативный обмен информацией с отечественными и зарубежными вузами и организациями должен осуществляться с соблюдением требований законодательства Российской Федерации в области интеллектуальной собственности. Для обучающихся должен быть обеспечен доступ к современным профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам.

7.18 Ученый совет высшего учебного заведения при введении ООП бакалавриата утверждает размер средств на реализации соответствующих основных образовательных программ.

Финансирование реализации основных образовательных программ должно осуществляться в объеме не ниже установленных нормативов финансирования высшего учебного заведения.

7.19 Высшее учебное заведение, реализующее ООП бакалавриата, должно располагать материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, лабораторной, практической и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом вуза, и соответствующей действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Минимально необходимый для реализации бакалаврской программы перечень материально-технического обеспечения включает в себя лаборатории физики, электромагнитных полей и волн, вычислительной техники и информационных технологий, общей теории связи, цифровой обработки сигналов, основ построения инфокоммуникационных систем и сетей, электроники, теории электрических цепей, схемотехники телекоммуникационных устройств, электропитания устройств и систем телекоммуникаций, метрологии, стандартизации и сертификации в инфокоммуникациях, безопасности жизнедеятельности, а также не менее 50 процентов дисциплин вариативной части профессионального цикла в соответствии с профилем подготовки.

При использовании электронных изданий вуз должен обеспечить каждого обучающегося во время самостоятельной подготовки рабочим местом в компьютерном классе с выходом в Интернет в соответствии с объемом изучаемых дисциплин. Количество терминалов, с которых имеется доступ к сети Интернет, должно быть не менее 10 на 100 обучающихся.

Вуз должен быть обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения.

А.8 Оценка качества освоения основных образовательных программ

8.1 Высшее учебное заведение обязано обеспечивать гарантию качества подготовки, в том числе путем:

- разработки стратегии по обеспечению качества подготовки выпускников с привлечением представителей работодателей;
- мониторинга, периодического рецензирования образовательных программ;
- разработки объективных процедур оценки уровня знаний и умений обучающихся, компетенций выпускников;

- обеспечения компетентности преподавательского состава;
- регулярного проведения самообследования по согласованным критериям для оценки деятельности (стратегии) и сопоставления с другими образовательными учреждениями с привлечением представителей работодателей;
- информирования общественности о результатах своей деятельности, планах, инновациях.

8.2 Оценка качества освоения основных образовательных программ должна включать текущую, промежуточную и итоговую государственную аттестацию обучающихся.

8.3 Конкретные формы и процедуры текущего и промежуточного контроля знаний по каждой дисциплине разрабатываются вузом самостоятельно и доводятся до сведения обучающихся в течение первого месяца обучения в каждом семестре.

8.4 Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям соответствующей ООП (текущая и промежуточная аттестация) создаются фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций. Фонды оценочных средств разрабатываются и утверждаются вузом.

Вузom должны быть созданы условия для максимального приближения программ текущей и промежуточной аттестации обучающихся к условиям их будущей профессиональной деятельности — для чего, кроме преподавателей конкретной дисциплины, в качестве внешних экспертов должны активно привлекаться работодатели, преподаватели, читающие смежные дисциплины.

8.5 Обучающимся должна быть предоставлена возможность оценивания содержания, организации и качества учебного процесса в целом, а также работы отдельных преподавателей.

8.6 Итоговая государственная аттестация включает защиту выпускной квалификационной работы (бакалаврской работы). Государственный экзамен вводится по усмотрению вуза.

Требования к содержанию, объему и структуре бакалаврской работы, а также требования к государственному экзамену (при наличии) определяются высшим учебным заведением.

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

B-ISDN (Broadband — Integrated Services Digital Network) — широкополосная интеграция служб цифровых сетей

CDMA (Code Division Multiple Access) — многостанционный доступ с кодовым разделением каналов

CT (Cordless Telephone) — стандарт на системы беспроводных телефонов

DECT (Digital European Cordless Telecommunication) — стандарт на системы беспроводных телефонов

GSM (Global System for Mobile communications) — стандарт на системы подвижной связи второго поколения

IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) — институт инженеров по электротехнике и электронике

ISO (International Organization for Standardization) — Международная организация по стандартизации

ITU (International Telecommunication Union) — Международный союз электросвязи

LTE (Long Term Evolution) — технология широкополосной передачи данных

N-ISDN (Integrated Services Digital Network) — узкополосная интеграция служб цифровых сетей)

NMT (Nordic Mobile Telephone System) — стандарт на системы сотовой связи первого поколения

POCSAG (Post Office Code Standardisation Advisory Group) — стандарт кодирования сигналов для пейджеров

PTM (Point-to-Multi-Point) — соединение «точка-многоточка»

PTP (Point-to-Point) — двухточечная линия

RAS (Remote Access Server) — сервер удаленного доступа

TETRA (Trans European Trunked Radio) — Европейский стандарт транковой подвижной связи

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) — технология широкополосного беспроводного доступа

WLAN (Wireless Local Area Network) — беспроводная локальная сеть

WLL (Wireless Local Loop) — беспроводная абонентская линия

АИМ — амплитудно-импульсная модуляция

АТ — абонентский терминал

АУ — аппаратура уплотнения

АЦП — аналого-цифровой преобразователь

БС — базовая станция

ВИМ — времяимпульсная модуляция

ВОЛС — волоконно-оптические линии связи

ИКМ — импульсно-кодовая модуляция

ИС — источник сообщений

КК — коммутация каналов

КП — коммутация пакетов

ЛС — линия связи

МТ — мобильный терминал

НТВ — непосредственное телевизионное вещание

ОРС — оконечная радиорелейная станция

ПРС — промежуточная радиорелейная станция

РПДУ — радиопередающее устройство

РПМУ — радиоприемное устройство

РРЛ — радиорелейная линия (связи)

РРСЛ — радиорелейная система передачи

РТФ — радиотехнический факультет

ПС — получатель сообщения

ПСС — преобразователь сообщения в сигнал

СВЧ — сверхвысокочастотный (диапазон)

СО — сетевое окончание

СПУ — средства поддержки услуг

ССС — спутниковая система связи

ТОР — (кафедра) телекоммуникаций и основ радиотехники

ТПИ – Томский политехнический институт

ТфОП – телефонная сеть общего пользования

УАТС – учрежденческая автоматическая телефонная станция

УД – устройство доступа к сети

УПЧ – усилитель промежуточной частоты

УР – устройство разделения

УРС – узловая радиорелейная станция

УРЧ – усилитель радиочастот

ЭДС – электродвижущая сила

ГЛОССАРИЙ

Абонентская линия — линия связи, соединяющая пользователя с другим абонентом или узлом коммутации.

Аддитивные помехи — помехи, результат воздействия которых на сигнал определяется их суммой.

Анализ сигналов — раздел теории сигналов, который занимается разложением сигналов на гармонические составляющие.

Аналоговый сигнал — сигнал, определенный на непрерывном множестве точек по уровню.

Атмосферные помехи — помехи, обусловленные электрическими явлениями в атмосфере.

База сигнала — произведение длительности сигнала на ширину его спектра.

Вещание — процесс одновременной передачи сообщений общего характера широкому кругу абонентов при помощи технических средств связи.

Внешние помехи — помехи, обусловленные действием источников возмущений, внешних по отношению к системе связи и не связанных с ее функционированием.

Внутренние помехи — помехи, возникающие в узлах аппаратуры и трактах систем связи.

Временное разделение каналов — способ совместной передачи сигналов, при котором каждому из индивидуальных сигналов выделяется определенный интервал времени в каждом цикле передачи коллективного сигнала.

Гармонический сигнал — периодическая функция времени, поведение которой описывается синусоидальной зависимостью.

Глобальная сеть связи — сеть связи, по масштабу охвата территории и количеству участников объединяющая пользователей многих государств.

Дельта-импульс — математическая абстракция, соответствующая предельному переходу от прямоугольного импульса, у которого с уменьшением длительности импульса τ одновременно увеличивается амплитуда E при сохранении «площади» импульса, определяемой как произведение $S_{пл} = \tau \cdot E$.

Детерминированный сигнал — сигнал, который полностью предсказуем, то есть все параметры которого заранее и достоверно известны.

Децибел — умноженный на 10 десятичный логарифм отношения двух величин одинаковой размерности.

Динамический диапазон сигнала — отношение наибольшей мгновенной мощности сигнала к наименьшей мощности принимаемого сигнала при заданном качестве передачи.

Дискретный канал связи — канал связи, входные и выходные сигналы которого являются дискретными.

Дискретный сигнал — сигнал, заданный не на всей оси времени, а только в отдельных ее точках.

Длительность сигнала — интервал времени, в пределах которого сигнал существует.

Звуковое вещание — вещание, сигналы которого переносят информацию, содержащуюся в звуках речи, музыкальных инструментов и других источников звука.

Звуковое сообщение — сообщение, предназначенное для восприятия органами слуха.

Импульс — кратковременный сигнал, принимающий ненулевые значения на ограниченном интервале времени.

Индустриальные помехи — помехи, вызываемые непреднамеренным электромагнитным излучением электрического или электронного оборудования.

Канал связи — совокупность средств, обеспечивающих передачу сигнала от некоторой точки передатчика до некоторой точки приемника.

Квантованный сигнал — сигнал, который по уровню может принимать значения только в отдельных ее точках.

Кодовое разделение каналов — способ совместной передачи сигналов, при котором все каналы могут занимать одновременно общие и частотный и временной ресурс системы связи, а для разделения каналов используется разделение каналов по форме сигналов (в цифровых системах связи — по коду сигналов).

Коммутация каналов — процесс выбора электрических цепей и объединение их в соединительный тракт.

Коммутация пакетов — коммутация сообщений, которые предварительно разбиваются на блоки (пакеты) фиксированного размера.

Коммутация сообщений — передача документальных сообщений, выполняемая не поэтапно, от одного узла коммутации к другому.

Коммутируемая сеть связи — сеть связи, в которой имеются специальные устройства коммутации.

Космические помехи — помехи, вызываемые радиоизлучением каких-либо объектов космоса.

Коэффициент активности (телефонного сообщения) — отношение суммарного времени, в течение которого мощность сигнала одного из абонентов превышает пороговое значение, к общему времени разговора.

Линия связи — среда, используемая для передачи сигналов от передатчика к приемнику.

Локальная сеть связи — сеть связи, обслуживающая пользователей, размещенных на ограниченной территории.

Многоканальная система связи — совокупность технических средств, обеспечивающая передачу сообщений нескольких абонентов по одной общей линии связи.

Мобильная связь — организация обмена информацией между средствами радиосвязи, установленными на подвижных объектах.

Мультипликативные помехи — помехи, результат воздействия которых на сигнал определяется их произведением.

Некоммутируемая сеть связи — сеть связи, в которой отсутствуют специальные устройства коммутации.

Непрерывный сигнал — сигнал, заданный на непрерывном множестве точек по оси времени.

Непрерывный канал связи — канал связи, входные и выходные сигналы которого являются непрерывными.

Объем сигнала — произведение базы сигнала на его динамический диапазон.

Оптическое сообщение — сообщение, предназначенное для восприятия органами зрения.

Побочные излучения — излучения, которые могут вырабатываться данным устройством вне полосы разрешенных частот.

Помехи — посторонние электрические колебания, мешающие нормальному приему сигналов.

Радиорелейная связь — организация обмена информацией между средствами радиосвязи с помощью цепочки промежуточных ретрансляторов.

Региональная сеть связи — сеть связи, обслуживающая территорию соответствующего региона.

Связь — технические средства, обеспечивающие передачу и прием информации.

Сеть доступа — участок сети связи между узлом доступа к транспортной сети и сетевым окончанием (абонентской розеткой).

Сеть связи — совокупность технических средств, обеспечивающих передачу и распределения сообщений.

Сигнал — физический процесс, отображающий передаваемое сообщение, при этом соответствие процесса передаваемому сообщению обеспечивается изменением какой-либо физической величины, характеризующей этот процесс.

Синтез сигналов — операция формирования сложного сигнала из набора гармонических колебаний.

Система связи — совокупность технических средств для передачи сообщений от источника к потребителю.

Случайный сигнал — сигнал, у которого хотя бы один из параметров заранее не может быть в точности предсказан.

Соединительная линия — линия связи, соединяющая узлы коммутации, способная переносить большие объемы информации.

Соединительный тракт — электрическая цепь (канал), состоящая из нескольких участков.

Сообщение — совокупность сведений, предназначенных для передачи и представленных в определенной форме.

Спектр — представление периодического сигнала в виде набора гармонических составляющих.

Спутниковая связь — организация обмена информацией между средствами радиосвязи с помощью ретрансляторов, установленных на спутниках Земли.

Телевизионное вещание — вещание, в котором к звуковым сообщениям добавляются оптические сообщения, а также дополнительная информация, необходимая для согласованной работы передающего и приемного устройств.

Телекоммуникации — средства для организации связи на расстоянии.

Узел коммутации — специальное устройство, в котором потоки от отдельных абонентов объединяются и передаются на другие подобные устройства по линиям связи.

Функция включения — функция, принимающая нулевое значение при отрицательном значении аргумента и единичное значение при положительном значении аргумента.

Цифровой сигнал — сигнал, поведение которого можно описать последовательностью чисел.

Частотное разделение каналов — способ совместной передачи сигналов, при котором каждому из индивидуальных сигналов выделяется отдельный диапазон частот в общей полосе частот.

Ширина спектра сигнала — диапазон частот, в котором сосредоточена основная доля энергии сигнала.

Электросвязь — передача информации посредством электрических сигналов.

Энергетический спектр (речи) — усредненное распределение энергии (звуковых) колебаний в полосе частот.

Учебное издание

Богомолов Сергей Ильич

**ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ
И РАДИОДОСТУПА**

Учебное пособие

Корректор Осипова Е. А.

Компьютерная верстка Перминова М. Ю.

Подписано в печать 31.10.12. Формат 60x84/8.

Усл. печ. л. 17,67. Тираж 300 экз. Заказ

Издано в ООО «Эль Контент»
634029, г. Томск, ул. Кузнецова д. 11 оф. 17
Отпечатано в Томском государственном университете
систем управления и радиоэлектроники.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40
Тел. (3822) 533018.