

О.В.ГОЛОВИН
Н.И.ЧИСТЯКОВ
В.ШВАРЦ
И.ХАРДОН / АГИЛЯР

РАДИОСВЯЗЬ

Под редакцией профессора О.В.Головина

Москва
Горячая линия-Телеком
2001

ББК 32.884.1

Г61

Головин О.В., Чистяков Н.И., Шварц В., Хардон Агиляр И.

Г61 Радиосвязь/Под ред. проф. О.В. Головина. – М.: Горячая линия–Телеком, 2001. – 288 с.. ил.

ISBN 5-93517-033-7.

Цель книги – общедоступное введение читателей в проблематику радиосвязи, в виде сравнительно краткого предварительного анализа общих принципов и свойств радиотехнических систем. Рассмотрены свойства и распространение радиоволн различных диапазонов, дан исторический обзор творческих вкладов ученых и инженеров разных стран в изобретение и осуществление способов и устройств радиосвязи; подробно проанализированы основные принципы различных современных систем радиосвязи и тенденции их развития.

Для широкого круга читателей – от специалистов до студентов вузов электротехнических профилей.

ББК 32.884.1

Головин Олег Валентинович
Чистяков Николай Иосафович
Шварц Вольфганг
Хардон Агиляр Ильдеберто

Радиосвязь

Редактор И. Алексеева
Обложка художника В. Сетюка

ЛР № 071825 от 16 марта 1999 г.
Издательство "Горячая линия – Телеком"
Подписано в печать 11.10.2000 Формат 60×88 1/16
Печать офсетная Бумага газетная
Гарнитура Arial Уч.-изд. л. 18,5 Печ. л. 18,0
Тираж 3000 Изд. № 59 Заказ 7187
ЛР № 071334 от 22.08.96
Издательский дом "Грааль"
141200, г. Пушкино Московской обл., ул. Лесная, д. 5
Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНТИ,
140010 г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.

ISBN 5-93517-033-7

© Головин О.В. Чистяков Н.И.,
Шварц В., Хардон Агиляр И., 2001

© Оформление издательства
«Горячая линия–Телеком», 2001

Предисловие

Средства радиосвязи позволили человеку, где бы он ни находился обмениваться звуковой и визуальной информацией, по сути, общаться с целым миром. Естественно, что для эффективной и творческой деятельности в радиосвязи, необходимы не только базовые знания для техники вообще, но и знания специальных разделов, наиболее важных для выбранной отрасли. Изучение этих разделов целесообразно начать с содержательного и вместе с тем сравнительно краткого обзора общих принципов и свойств радиотехнических систем различных специальных назначений. При этом не отпадает необходимость дальнейшего возвращения к более детальному изучению радиосистем на завершающем этапе подготовки к практической деятельности по выбранному направлению.

Цель авторов данной книги подготовить читателей к последующей деятельности в радиотехнике, доступно ознакомить их с идеями, принципами и вариантами применений радиосвязи, как самой общей основы большей части радиотехнических систем. В книге рассмотрены свойства и распространение радиоволн различных диапазонов, дан исторический обзор творческих вкладов ученых и инженеров разных стран в изобретение и осуществление способов и устройств радиосвязи. Основное внимание уделено принципам действия различных современных систем радиосвязи и тенденциям их дальнейшего развития. Так, проанализированы фиксированная и подвижная радиосвязь в диапазоне ВЧ; радиорелейные линии; подвижная и, в частности сотовая связь; системы персонального радиовызова и спутниковая радиосвязь.

Читатель не найдет здесь материалов, относящихся к радиовещанию. Это связано с тем, что радиовещание по самому его принципу – частный и более простой вид связи, чем виды связи, рассмотренные в книге; к тому же включение материалов, относящихся к радиовещанию, сильно увеличило бы ее объем.

Книга написана авторским коллективом: проф. О.В. Головиным и проф. Н.И. Чистяковым (Московский технический университет связи и информатики, Россия), проф. В. Шварцем (Технический университет, г. Дрезден, Германия) и проф. И. Хардон Агиляром (Центр научных испытаний Национального Политехнического института, г Мехико, Мексика).

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Радиосвязь и её значение для человечества

По формальному определению, *радиосвязь* – всего лишь один из видов *информационной связи в человеческом обществе, понимаемой в широком смысле как обмен сообщениями*. Под информацией понимается любая совокупность всевозможных сведений, передаваемых устно или письменно, непосредственно или с помощью различных вспомогательных средств. Сообщения представляют собой конкретную информацию, передаваемую в форме, доступной для восприятия теми, кому она предназначена. Носителями информации в процессах связи являются сигналы. В общем случае сигналами могут быть как передаваемые в сетях связи разного рода искусственные знаки, так и физические проявления естественных процессов. В последнем случае сигналы могут служить средством познания. С помощью сигналов можно отобразить и передать сколь угодно большие и сложные сообщения.

Связь в указанном выше понимании этого термина реализуется в современных государствах как одна из крупнейших отраслей хозяйственной деятельности и одна из совокупностей технических средств, обеспечивающая все виды информационных служб в системах, как государственного управления, так и массового обслуживания населения.

Как и формальное терминологическое определение, изложенная интерпретация понятия “связь” а следовательно и “радиосвязь” хотя она и корректна, совершенно недостаточна. Она по существу почти ничего не говорит о действительном значении для человечества как связи вообще, так и радиосвязи в особенности. Чтобы полнее охарактеризовать тему этой книги, уместно обратиться к другой книге, очень давней, созданной почти две тысячи лет тому назад.

Первая строка Евангелия от Иоанна, как известно, гласит: «Вначале было Слово». Древняя книга права: для человека слово, речь – начало всех начал. Подлинное рождение человека на Земле произошло тогда, когда им было изобретено Слово – основа мышления, основа информационной связи между людьми, основа накопления опыта и знаний, т. е. основа развития интеллекта. За развитием речи последовало создание письменности, ставшей для человечества могучим средством культурного и технологического

прогресса. Дальнейшее ускорение на этом пути было связано с изобретением и повсеместным распространением книгопечатания.

Благодаря речи и письменности стала возможной связь на значительных расстояниях через пеших и конных гонцов, но оперативность и эффективность этого способа передачи сообщений во многих случаях оказывались недостаточными, как и в современной почте. В некоторой степени выручала оптическая сигнализация с помощью костров и факелов, а два столетия тому назад – с помощью изобретенного тогда «семафорного» телеграфа. По «структуре» это средство можно считать зародышем одного из видов современной связи – радиорелейных линий: сигналы передавались по цепочке станций, от одной к другой, и без проводов...

Семафорная оптическая связь позволяла передавать сообщения небольшого объема, обслуживание ее было трудоемким, а надежность недостаточной; поэтому изобретение и широкое внедрение в XIX веке способов и устройств для передачи сообщений по проводам и кабелям – телеграфа и телефона стало подлинной революцией в средствах связи. Другим итогом науки XIX века стало открытие электромагнитных волн. На этой основе стало возможным осуществление радио. Будущий историк нашей цивилизации несомненно и с полным основанием отметит радио как эпохальное достижение цивилизации XX века.

Радио – общий термин, применяемый к любым практическим применениям части спектра электромагнитных волн, называемой радиоволнами или волнами Герца; волн, распространяющихся через открытое пространство без искусственных направляющих средств, таких, как провода или трубы – волноводы. Ограничение области применения этого термина частью спектра необходимо по той причине, что свет, как известно, также представляет собой электромагнитные волны и, как уже отмечено выше, применяется для беспроводной связи, но в этом случае речь идет об оптической связи.

Свет не проходит через туман, стены зданий и другие препятствия, дальность его распространения вдоль поверхности земли невелика. Радиоволны проникают повсюду и дальность их распространения практически безгранична. Этим фактом определяется решающее различие между оптической связью и радио.

Границы волновых спектров определяются длинами волн либо количеством волн, проходящих через данную точку пространства за 1 с – частотами. Самые высокие частоты оптического диапазона относятся к рентгеновским лучам. Ниже их лежат спектры ультрафиолетового, видимого и инфракрасного света. К диапазону радиоволн относятся электромагнитные волны с любыми

частотами ниже условной границы инфракрасного диапазона, за которую принимается $3 \cdot 10^{12}$ Гц.

Итак, информация, слово, за ним – письменность, печать и связь – бесспорно величайшие открытия и изобретения человека, поскольку именно они сделали его человеком – творческим хозяином Земли, объединили "человеков" в человечество, открыли безграничную возможность накопления, развития и распространения опыта и знаний, обеспечили развитие материальной и духовной культуры.

К концу XIX века Земля покрылась густой сетью телеграфных и телефонных линий. С изобретением радиосвязи на рубеже XX столетия связь между людьми стала возможной без проводов, через любые преграды, в любое время, в любом месте и на любом расстоянии, в покое и в движении, и притом в текущем времени, практически мгновенной. Человек получил по существу новый орган чувств, немыслимый в прошлом: средство слышать и видеть в масштабах всего мира.

1.2. Радиоволны

Открытие и применение радиоволн – результат обнаружения и исследований колебательных процессов в электрических цепях и связанных с ними магнитных и электрических полей в окружающем пространстве.

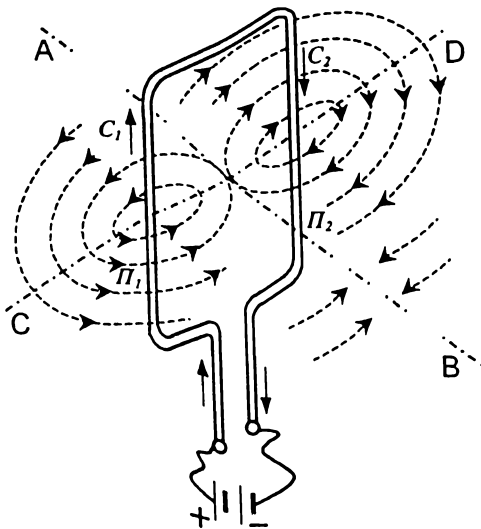


Рис. 1.1

Если ток в проводе – постоянный, то на большом расстоянии поле от него, если оно не отсутствует вовсе, оказывается очень слабым. Для магнитного поля причина этого поясняется на рис. 1.1. Стрелками C_1 и C_2 показано направление тока в проводах Π_1 и Π_2 . Пунктиром изображены силовые линии магнитных полей, создаваемых током.

В направлении, обозначенном линией AB , эти поля одинаковы и противоположны; следовательно, они компенсируют друг друга, и в этом направлении поле отсутствует.

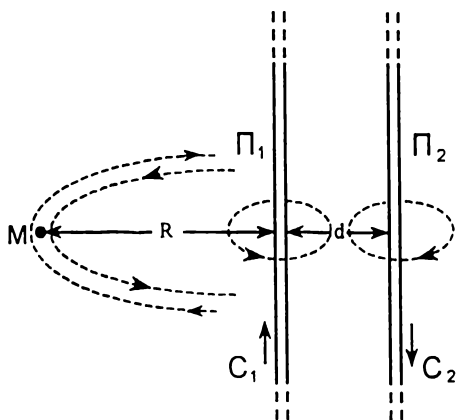


Рис. 1.2

Левее провода Π_1 и правее Π_2 на линии CD направление силовых линий полей от этих проводов также взаимно противоположны, но они не полностью компенсируют друг друга потому, что их напряженности не одинаковы. Это объясняется неравным расстоянием каждой точки на этом направлении от Π_1 к Π_2 , что дополнительно поясняется рис.1.2.

Рассмотрим, например, поля в точке M . Её расстояние от провода Π_2 больше чем от Π_1 ; поэтому поле от Π_1 в этой точке будет сильнее, чем от Π_2 и разность их не равна нулю.

Аналогичная картина имеет место и для электрического поля. При полярности источника ЭДС, показанной на рис.1.1, провод Π_1 получает положительный заряд, а Π_2 – отрицательный. Это показано на рис.1.3, где изображено поперечное сечение цепи рис.1.1 в плоскости $AB - CD$. Силовые линии электрического поля здесь также показаны пунктиром.

Как нетрудно видеть из рисунка, электрическое поле, линии которого имели бы направление AB , отсутствует. В направлении CD поле будет действовать по той же причине, что и магнитное: так как также произвольная точка M находится от Π_1 и Π_2 на неравном расстоянии.

Для оценки зависимости напряженности магнитного поля в точке M от расстояния рассмотрим более тщательно рис.1.2. Если длина проводов Π_1 и Π_2 значительна, то напряженность в точке M на расстоянии R при токе I в проводе Π_1 согласно известному из физики закону Био и Савара $H_1 = I / 2\pi R$. Напряженность в той же точке от провода при расстоянии между проводами d

$$H_2 = I / 2\pi(R + d)$$

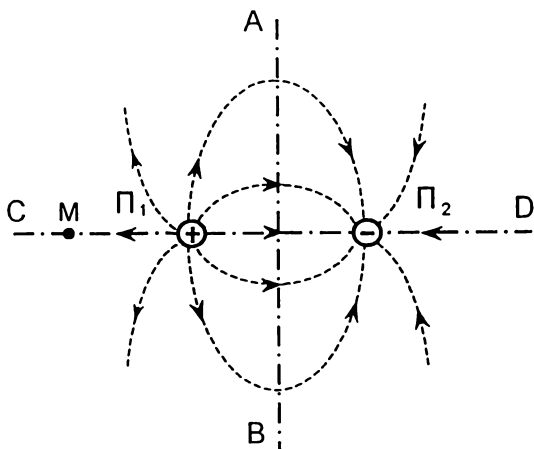


Рис. 1.3

Поскольку поля взаимно противоположны, напряженность результирующего поля в точке M

$$H = H_1 - H_2 = (I/2\pi)[1/R - 1/(R + d)],$$

или иначе

$$H = (I/2\pi)d / R(R + d)$$

Если $R \gg d$, то $H \approx (I/2\pi)d / R^2$

Отсюда видно, что напряженность поля H обратно пропорциональна квадрату расстояния. Поэтому на большом расстоянии R она оказывается чрезвычайно малой. Нетрудно показать, что аналогичная зависимость имеет место и для напряженности электрического поля. Очевидно, что эта зависимость сохраняется не только при постоянном токе в проводах, но и при его относительно медленном изменении.

Напряженность поля H резко возрастает, если ток I изменяется с высокой частотой. Увеличение происходит по той причине, что электрические и магнитные поля распространяются не мгновенно, а со скоростью c , равной $3 \cdot 10^8$ м/с.

При появлении тока в проводах в точку M вначале придет поле от провода Π_1 . Время его пробега $t_1 = R/c$. Затем придет поле от провода Π_2 . Время пробега его до точки M $t_2 = (R + d)/c$

От момента t_1 до момента t_2 в точке M действует поле только от провода Π_1 с напряженностью H_1 . Это продолжается в течение времени $t_0 = t_2 - t_1 = d/c$. Далее в точке M появляется

противоположное поле от провода Π_2 с напряженностью H_2 и, в соответствии с изложенным выше, напряженность результирующего поля уменьшается во много раз.

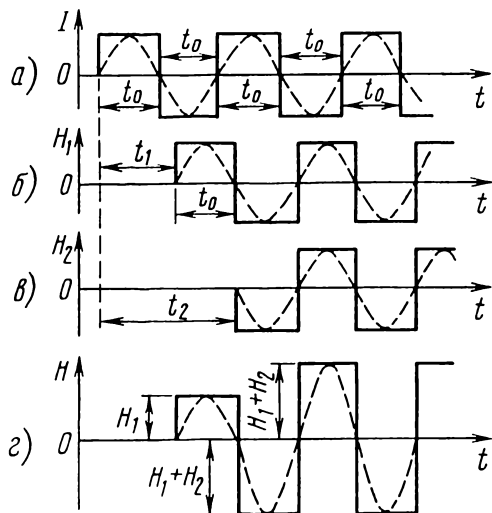


Рис. 1.4

Предположим, что ток I в проводах меняет направление через промежутки времени $t_0 = d/c$ согласно рис.1.4,а.

На рис.1.4,б показано изменение напряженности поля H_1 в точке M от провода Π_1 . Оно происходит со сдвигом на время t_1 относительно тока в этом проводе. На рис.1.4,в показано поле от провода Π_2 . Оно противоположно полю провода Π_1 , так как вызвано током обратного направления, но,

благодаря тому, что оно запаздывает на большее время t_2 направление полей от обоих проводов в точке M совпадает. Изменение результирующего поля H изображено на рис.1.4,г. Напряженность результирующего поля в точке M при этом

$$H = H_1 + H_2 = \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+d} \right)$$

или иначе
$$H = \left(\frac{I}{2\pi} \right) \frac{2R+d}{(R+d)R}$$

Если $R \gg d$, то $H \approx \frac{I}{\pi R}$. Отсюда видно, что напряженность

поля обратно пропорциональна не квадрату расстояния, как это имело место при относительно медленном изменении тока, а первой степени, поэтому на значительном расстоянии оно оказывается во много раз больше.

В радиотехнических устройствах ток в излучающих цепях изменяется не по прямоугольному закону, а синусоидально; соот-

ветственно колебания магнитной составляющей поля изменяются примерно так, как на рис.1.4 показано пунктиром.

Частота тока в приведенных рассуждениях выбирается с учетом расстояния между проводами. Если, например, $d = 30$ м, то

$$t_0 = \frac{d}{c} = \frac{30}{3 \cdot 10^8} = 10^{-7} \text{ с.}$$

Следовательно, период переменного тока согласно рис.1.4

$$T = 2t_0 = 2 \cdot 10^{-7}$$

Частота тока в этом случае

$$f = \frac{1}{T} = 5 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 5 \text{ МГц}$$

Отсюда очевидна причина применения в радиотехнике токов высоких частот: в этом случае посредством электрических цепей с практически приемлемыми размерами можно получить в пространстве сравнительно сильное переменное поле.

Уменьшение напряженности излучаемого поля на значительном расстоянии обратно пропорционально первой степени расстояния от источника энергии можно дополнительно пояснить тем, что эта зависимость соответствует закону сохранения энергии. Убедимся в этом.

Энергия и мощность электрических процессов пропорциональна, как известно, квадрату напряжения или тока, либо их произведению; в случае электромагнитных волн в пространстве это соответствует пропорциональности квадрату напряженности электрической или магнитной составляющей поля, либо также их произведению.

Представим себе сферу, в центре которой расположен источник излучения. Поверхность этой сферы пропорциональна квадрату ее радиуса, т. е. квадрату расстояния от источника. Поэтому и плотность потока энергии, т. е. энергия, проходящая через каждую единицу поверхности, уменьшается пропорционально квадрату расстояния, что для напряженности поля и соответствует полученному выше выводу: обратной пропорциональности первой степени расстояния.

При рассуждениях, относящихся к рис.1.1 и 1.2, имелся в виду ток в замкнутой цепи в виде провода, как правило, выполняемо-

го из металла, но рассмотренные явления наблюдаются также при токах в цепях, образованных из проводников любой другой природы. Например, в электролитах и в разреженных газах постоянные и изменяющиеся токи проходят в виде движения ионов между электродами.

Ток возможен и в вакууме, в виде потока электронов, если имеется их источник, например накалившаяся металлическая нить. Явление испускания электронов накаленной нитью было открыто Эдисоном в 1883 г. и было положено в основу действия вакуумных электронных приборов.

Ток в цепи рис. 1.1 замкнут; на каждом интервале цепи он является продолжением входящего тока и продолжается на последующем интервале. Рассмотренная физическая картина не изменится, если в эту цепь ввести отрезки, в которых прохождение тока будет объясняться явлениями указанного выше характера. Комплексная цепь и в этом случае при рассмотренных условиях будет источником пространственных волн.

Для объяснения процессов излучения радиоволн особенно важно то, что подобная картина физических процессов наблюдается, если элементом комплексной цепи служит конденсатор, хотя при этом переменный ток проходит не через электролит или разреженный газ, не в виде потока электронов в вакууме, а через среду, через которую постоянный ток не проходит вообще. В этом случае для объяснения сущности и характера процессов важна вытекающая из открытий М. Фарадея концепция неразрывной связи электрических токов с электрическими и магнитными полями. Изменения электрического поля в пространстве между обкладками конденсатора при прохождении в цепи переменного тока вызывают в окружающем пространстве магнитные поля так же, как и ток в проводе.

Д.К. Максвелл назвал токи, обусловленные перемещением электрических зарядов, токами проводимости, а токи в виде изменяющихся электрических полей в непроводящих средах, токами смещения.

Токи проводимости в одних участках комплексной цепи получают продолжение в виде токов смещения и в конечном счете все токи замкнуты. Применительно к цепи вида рис. 1.1 упрощенная картина процессов для варианта с включенным последовательно конденсатором принимает вид рис. 1.5. Переменные электрическое и магнитное поля неразрывно связаны и образуют единое электромагнитное поле.

Изложенные выше рассуждения относились к магнитным полям. Сходную картину процессов дает и рассмотрение полей электрических.

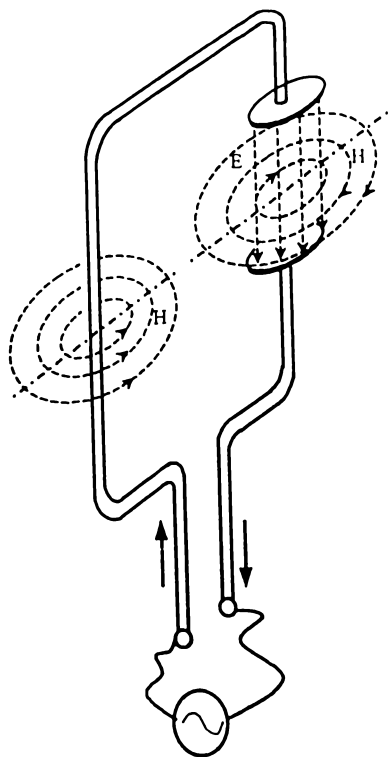


Рис. 1.5

На рис.1.6,а изображена двухпроводная линия. При замыкании ключа K в провода устремляются электрические заряды в направлениях, указанных стрелками. По мере движения и накопления зарядов между проводами устанавливается электрическое поле, силовые линии которого обозначены E . В течение времени прохождения зарядного тока вокруг проводов действует магнитное поле, силовые линии которого обозначены H . Эти поля действуют со сдвигом по времени: электрическое поле устанавливается полностью тогда, когда заряды в проводах установятся и будут максимальны; в дальнейшем движение зарядов и соответственно зарядный ток в проводах прекратится. Напротив, магнитное поле, поскольку оно связано с током, максимально с момента замыкания ключа K и начала движения зарядов. По завершении этого процесса, т.е. с прекращением тока и установлением электрического поля, магнитное поле исчезает.

На рис.1.6,б и в та же картина процессов представлена для случая, когда провода разводятся во взаимно противоположных направлениях. Емкость между проводами при этом уменьшается. Поскольку электрический заряд при данной электродвижущей силе источника тока пропорционален емкости цепи, то соответственно в цепи рис.1.6 уменьшаются и заряды, и ток. Тем не менее, общая картина электрического и магнитного полей с учетом уже отмеченного выше различия их изменений во времени, остается прежней.

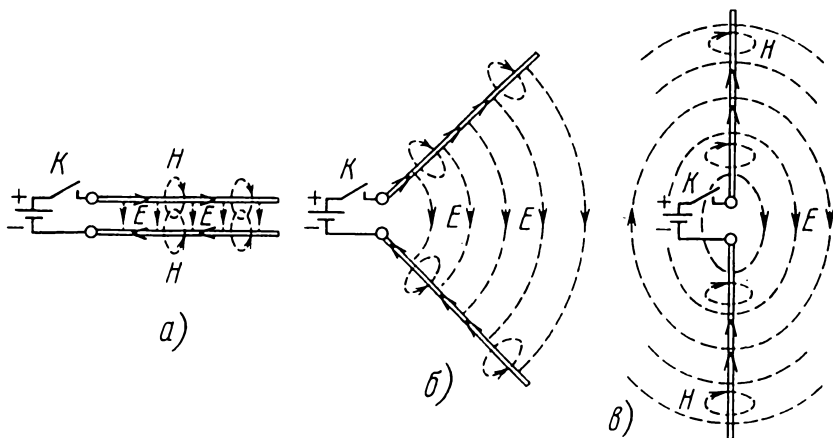


Рис. 1.6

При разведении проводов на угол 180° согласно рис.1.6,в емкость между ними становится еще меньше. При данной электродвижущей силе и частоте колебаний соответственно уменьшается и ток, а следовательно, и напряженность поля. Но переменный ток в цепи с емкостью пропорционален частоте; следовательно, в случае переменной электродвижущей силы его можно увеличить повышением частоты подключаемого источника. Этот вывод согласуется также и с рассуждениями, проведенными выше, применительно к рис.1.4, т.е. можно сделать общий вывод, что для получения пространственных полей и волн предпочтительны колебания с высокими частотами.

Итак, магнитное поле около провода перестает действовать, когда прекращается распространение по проводу поля электрического. Напротив, оно максимально, когда процесс только начинается, т.е. когда заряды еще не распространились вдоль всей цепи.

В случае рис. 1.4 учитывалось только магнитное поле. Продолжая изложенные выше рассуждения применительно к рис.1.6, можно показать, что при переменных токах волновой характер имеют и магнитные, и электрические поля.

На основании проведенных рассуждений может сложиться впечатление, что изменения этих полей смещены по фазе на четверть периода: если электрическое поле достигает максимума, то ток, идущий в проводники от источника ЭДС, уменьшается до нуля, а с ним и магнитное поле, но это неверно.

Как видно из рис. 1.6, в, при максимальных зарядах на концах проводов силовые линии связанного с ними поля в рассматриваемой случае уже отдалены от проводов на расстояние, сравнимое с длиной проводов, тогда как ток и связанное с ним магнитное поле обращаются в нуль в центре, где подключена ЭДС. На расстоянии от центра, соответствующем отдаленным линиям поля рис. 1.6, в в это время еще действует распространившееся со скоростью света магнитное поле, которое было возбуждено в предшествующее время, когда создавший его ток имел максимальное значение.

Путем рассуждений, аналогичных проведенным применительно к цепи вида рис. 1.1 и проиллюстрированным на рис. 1.4, нетрудно убедиться, что изменение электрического поля в пространстве, окружающем провод, приобретает волновой характер, как это было показано и для поля магнитного.

Для большей наглядности на рис. 1.7 изображена предельно упрощенная модель процесса образования и изменения электрической составляющей электромагнитного поля, излучаемого проводом, аналогичным показанному на рис. 1.6, в.

Ток в проводе, т. е. перемещение зарядов на всей длине провода и во всем его сечении, условно заменен в этой модели перемещением положительного и отрицательного сосредоточенных зарядов. Электрическое поле, окружающее провод со всех сторон, также условно заменено одной силовой линией только с правой стороны. Как и на предыдущих рисунках, силовая линия показана пунктиром. Направление поля от положительного заряда к отрицательному по-прежнему указано стрелками. Посредине провода включен источник электродвижущей силы. Цифры от 1 до 13 соответствуют состоянию рассматриваемого процесса в различные моменты: момент 1 соответствует началу процесса; ЭДС равна нулю. В момент 2 появляется ЭДС и вызывает движение зарядов с полярностью, указанной на рисунке; одновременно во внешнем пространстве появляется поле от положительного заряда к отрицательному, силовая линия которого расширяется со скоростью света в направлении перпендикулярном проводу, как показано для моментов 3–5. В моменты 6–8 ЭДС, пройдя через максимум, уменьшается и заряды с проводов стекают обратно к середине провода.

В момент 9 полупериод изменения ЭДС заканчивается и она уменьшается до нуля; заряды при этом сливаются, компенсируя друг друга и поле от них отсутствует. Силовая линия излученного поля замыкается, продолжая отдаляться от провода.

Во втором полупериоде изменения ЭДС в моменты 10–13 и далее процесс повторяется, но полярность ЭДС и соответственно направление силовой линии меняются на обратные, и т. д.

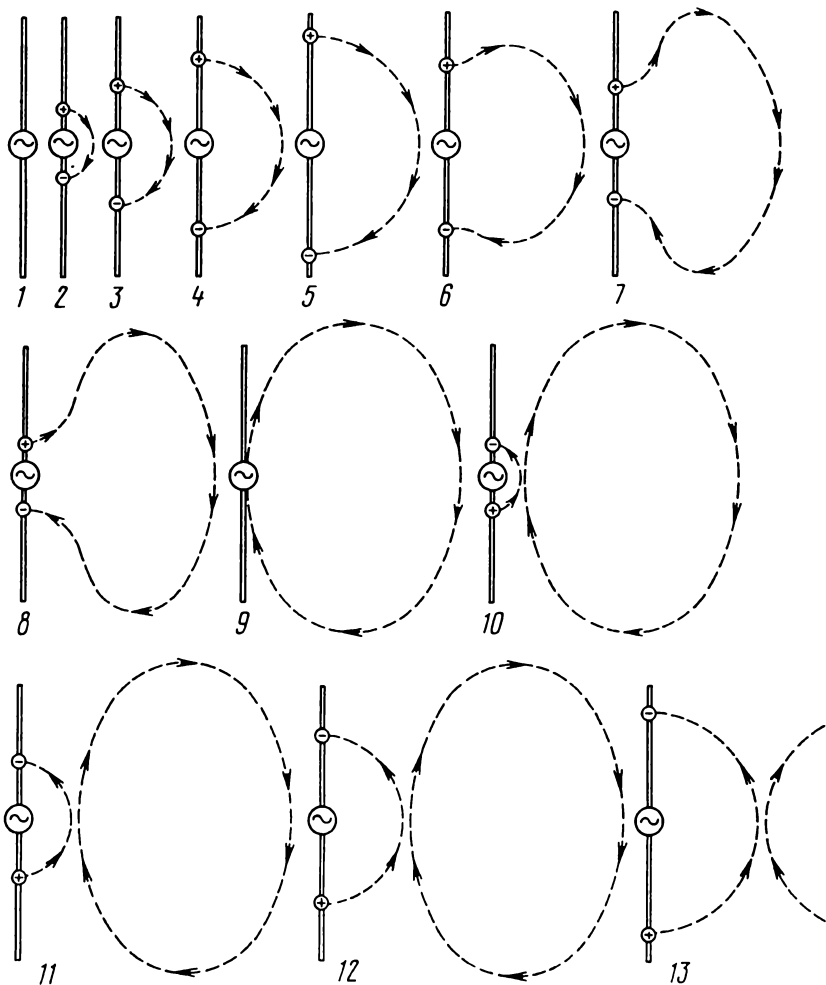


Рис. 1.7

Изложенное выше поясняет тот факт, что волны магнитного и электрического полей являются неразрывными составляющими единого процесса излучения электромагнитных волн. При этом излучателем может служить как рамка из провода вида рис.1.1, так и разомкнутый провод с источником тока посередине. Излучатель типа рис.1.7 называется симметричным вибратором и широко применяется в технике радиосвязи.

Направления электрического и магнитного полей в пространственной бегущей электромагнитной волне лежат в плоскости, перпендикулярной направлению движения волны; это очевидно.

но из рис. 1.5 и 1.7 Более наглядно взаимосвязь между направлениями электрической и магнитной составляющих E и H и направлением движения волны показана на рис. 1.8.

Направления полей соответствуют «правилу буравчика»: при повороте от вектора E , расположенного вертикально (ось z) к вектору H , лежащему в горизонтальной плоскости (ось y) продвижение буравчика совпадает с направлением распространения волны (вдоль оси x).

На рис. 1.8 электрическая составляющая поля во все моменты остается в вертикальной плоскости. Пространственная ориентация этой составляющей служит признаком свойства волн, называемого поляризацией. Волна, показанная в данном примере, называется вертикально поляризованной. В зависимости от способа получения волн, поляризация может быть также горизонтальной или наклонной. Если в процессе распространения волн поляризация не изменяется, то она называется линейной.

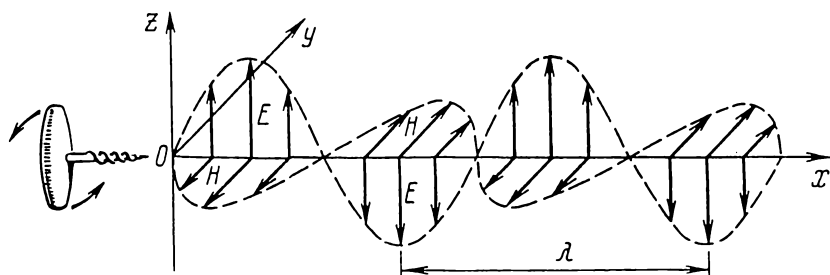


Рис. 1.8

При сложении в пространстве волн равной длины и с линейной, но не совпадающей поляризацией результирующее поле определяется векторным сложением его составляющих.

Как известно, переменные токи с неодинаковой фазой в обмотках электрических машин создают вращающееся магнитное поле; это явление лежит в основе действия электродвигателей переменного тока. Аналогично в случае, если излучение волн с разной поляризацией создано токами, взаимно сдвинутыми по фазе, то поляризация волн также не остается линейной: в процессе распространения вектор E вращается и конец его при графическом изображении описывает спираль. Если в процессе вращения величина вектора электрической составляющей не изменяется, то поляризация волны называется круговой. Если при повороте на 360° поле изменяется и по величине, то поляризация называется эллиптической.

1.3. Диапазоны радиоволн

Как было отмечено в § 1 1, радиоволнами считаются и применяются в технике радиосвязи электромагнитные волны с любыми частотами очень широкого диапазона. Для радиоволн в терминологии, принятой на международной основе, установлена лишь верхняя граница частоты, отделяющая их от инфракрасных световых излучений: $3 \cdot 10^{12}$ Гц.

В конкретных системах и устройствах связи в зависимости от их назначения применяются лишь ограниченные участки диапазона радиоволн. Это необходимо по ряду причин, в числе которых, как наиболее важные, должны быть отмечены следующие:

1. Открытое распространение радиоволн от многих источников в общем пространстве приводит к их наложению друг на друга и в результате в пункт приема приходит сложная смесь радиоволн. Для выделения волн от требуемого корреспондента необходимо, чтобы приходящие от него волны существенно отличались от волн посторонних источников. Основным признаком, позволяющим выделить посредством не очень сложных технических средств нужные радиосигналы, служат частота и соответствующая длина волн.

Частотное разделение систем и устройств радиосвязи – первый и один из главных путей обеспечения многим корреспондентам возможности пользования радиосвязью без взаимных помех. Речь идет об обеспечении *электромагнитной совместимости* радиосредств, и частотное разделение – один из главных путей решения этой задачи.

2. Условия прохождения радиоволн в широком диапазоне радиочастот над поверхностью Земли и через атмосферу в разных географических регионах, в разное время года и суток очень различны. Поэтому для конкретных линий радиосвязи различного назначения и разной дальности приходится выбирать такие участки диапазона, в которых эти условия именно для них наиболее благоприятны.

3. Приходится учитывать, что системы радиосвязи разного назначения требуют для передачи информации в диапазоне радиочастот выделения им участков этого диапазона (полос радиочастот) очень сильно различающейся ширины. Это объясняется, прежде всего, неодинаковой шириной частотных спектров электрических сигналов, переносящих сообщения разного характера. Так, например, спектры передаваемых телеграфных сигналов могут иметь ширину в десятки и сотни герц; спектры речи и музыки имеют ширину порядка нескольких килогерц; спектры сигналов телевизионного изображения в тысячи раз шире.

4. Радиоволны могут распространяться далеко за пределы использующей их страны. Чтобы обеспечить всем странам возможность применять радиосвязь без взаимных помех, диапазон радиочастот разделяется не только с учетом упомянутых выше факторов, но и между различными странами, а также между различными ведомствами.

По перечисленным, а также и по другим подобным соображениям удобно и даже необходимо иметь четкую классификацию радиоволн, которая служит основой для их распределения между различными службами и потребителями. Такая классификация принята на международной основе и предусматривает разделение полного диапазона радиочастот и волн на девять частичных диапазонов с номерами от 4 до 12. Ввиду очень широких пределов количественных значений радиочастот, при указании границ отдельных диапазонов применяются префиксы и сокращенные обозначения, характеризующие порядок их количественных значений: кило (к) – 10^3 мега (М) – 10^6 гига (Г) – 10^9 и тера (Т) – 10^{12}

Приняты и применяются следующие пределы и условные обозначения диапазонов:

№ 4 – мириаметровые волны и очень низкие частоты (ОНЧ) – от 3 до 30 кГц;

№ 5 – километровые волны и низкие частоты (НЧ) – от 30 до 300 кГц;

№ 6 – гектометровые волны и средние частоты (СЧ) – от 300 до 3000 кГц;

№ 7 – декаметровые волны и высокие частоты (ВЧ) – от 3 до 30 МГц;

№ 8 – метровые волны и очень высокие частоты (ОВЧ) – от 30 до 300 МГц;

№ 9 – дециметровые волны и ультравысокие частоты (УВЧ) – от 300 до 3000 МГц;

№ 10 – сантиметровые волны и сверхвысокие частоты (СВЧ) – от 3 до 30 ГГц;

№ 11 – миллиметровые волны и крайне высокие частоты (КВЧ) – от 30 до 300 ГГц;

№ 12 – децимиллиметровые волны к гипервысокие частоты (ГВЧ) – от 300 до 3000 ГГц (иначе – до 3 ТГц).

В радиоаппаратуре для получения и выделения колебаний радиочастоты с первых лет XX века применялись преимущественно резонансные цепи из индуктивных катушек и конденсаторов, а по мере освоения диапазонов № 9–12 для тех же целей требовались иные конструкции: преимущественно в виде коротких отрезков проводных линий, металлических полосок, коробчатых

объемных резонаторов и волноводов. Чтобы отметить особенность этих диапазонов, они часто объединяются термином "микроволны". Соответственно применяются термины "микроволновые радиосистемы", "микроволновая аппаратура" и т.п.

1.4. Каналы радиосвязи

Каналом связи в общем случае называется совокупность технических средств и физической среды, в которой сигналы, отображающие передаваемую информацию, распространяются от ее источника к ее получателю. Каналы связи могут различаться в зависимости от формы передаваемой информации; например, они могут быть телеграфными, телефонными, телевизионными и др.

Поскольку в случае канала радиосвязи средой распространения служит открытое пространство, структурная схема канала связи этого вида показана на рис.1.9. Здесь 1 – источник сообщения, 2 – преобразователь сообщения в сигнал и цепи связи этого преобразователя с радиооборудованием, 3 – радиопередающее устройство, 4 – пространство распространения радиоволн, 5 – радиоприемное устройство, 6 – цепи связи радиоприемного устройства с последующими цепями и устройствами и преобразователь сигнала в сообщение, 7 – получатель сообщения.

Между источником 1 и получателем 7 последовательность участков типа 2–6 может быть как однократной, так и повторяющейся в аналогичном или разном исполнении. Многократное последовательное повторение подобных участков имеет место, например, в каналах радиорелейной связи.

В составе цепей связи в звеньях 2 и 6 могут содержаться проводные или кабельные соединительные линии, усилители и преобразователи сигналов, группирователи сигналов от разных источников и разделители их для разных получателей, коммутаторы, интерфейсы и различные другие устройства.

Как в линии связи вообще (например в кабельной телефонной связи), так и в линии радиосвязи обычно образуются параллельные каналы с описанной структурой для прямого и обратного направлений. В конечных пунктах линий совмещаются преобразователи сообщений в сигналы и преобразователи сигналов в сообщения.

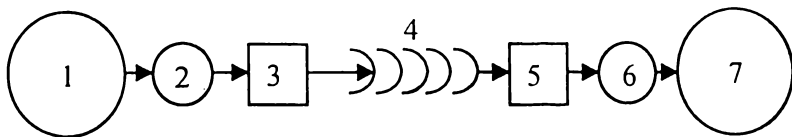


Рис. 1.9

2. ЭТАПЫ ИСТОРИИ РАДИОСВЯЗИ

2.1. Начало формирования научных основ

Беспроводная связь зародилась за тысячелетия до открытий и изобретений, ставших основой радио; это была связь акустическая и оптическая. В XIX век Европа вступила, имея сеть линий семафорного оптического телеграфа. На возвышенных местах были сооружены башни и от одной к другой по цепи станций специальным кодом на большие расстояния передавались важные и срочные сообщения военного, политического или хозяйственного содержания. По скорости доставки депеш этот телеграф многократно превосходил курьерскую почту.

Открытия и изобретения физиков в последние годы XVIII в. и особенно в первой половине XIX в. привели к созданию и быстрому внедрению в жизнь проводной электросвязи: вначале телеграфа, а затем и телефона. Эти достижения науки и техники положили начало настойчивым поискам путей к осуществлению электросвязи без проводов. На рубеже XIX и XX столетий поиски увенчались успехом, был создан и начал быстро развиваться радиотелеграф. Подготовившие его изобретение работы электрофизиков прошлого века можно рассматривать как предысторию радио. В XX веке радио стало самым ярким достижением человеческого разума. Сто лет, истекшие со времени осуществления и начала развития радиотелеграфа, отмечалось во всем мире, на рубеже третьего тысячелетия нашей эры, как дата большой важности во всей истории цивилизации.

Создание радио обычно связывается с успешным практическим применением радиоволн в регистрации дальних атмосферных грозных разрядов, осуществленным А.С. Поповым в России в 1895 г. и последовавшим затем началом быстрого развития искрового радиотелеграфа. Но радио в широком смысле этого понятия, как применение радиоволн для любых целей, включая научное познание мира, зародилось значительно раньше.

По-видимому, первым, кто обнаружил распространение электрических процессов в атмосфере, иных и менее заметных, чем прямой удар молнии, и указал на реальную возможность наблюдения этого явления, был Луиджи Гальвани. В итоге опытов, проводившихся им с 1771 г. было установлено, что искровые разряды в электрофорной машине могут действовать на небольшом расстоянии на мышцу препарированной лягушки, вызывая ее

вздрагивание, если во время разряда к ней прикасается металлический предмет. В еще более интересном опыте мышца лягушки была соединена с проводом, поднятым на крышу дома, а нерв – с проводом, опущенным в колодезь. Если в окрестностях происходили грозные разряды, лапка лягушки вздрагивала. В соответствии с современной радиотехнической терминологией два провода, примененные Гальвани в этих экспериментах, с достаточным основанием могут быть названы первой антенной и заземлением, поскольку существовавший ранее и сходный по устройству громковод имел существенно иное назначение.

Лягушечья лапка, использованная в опытах Гальвани, может с достаточным основанием считаться первым приемником радиосигналов естественного происхождения. Знаменательно, что впоследствии эксперименты с аналогичным "физиологическим радиоприемником" проводились на протяжении всего XIX в. рядом исследователей и изобретателей.

В 1791 г. том самом году, когда Гальвани опубликовал материалы своих наблюдений и открытий, в Англии родился будущий великий физик Майкл Фарадей. В числе множества исследований и открытий, связанных с его именем, одним из самых важных результатов было открытие в 1831 г. связи электрических и магнитных явлений, электромагнитной индукции. Более того, Фарадей был ближе всех ученых на Земле к доказательству наличия и к раскрытию свойств электромагнитных волн.

В 30-е годы XX столетия в архиве Британского Королевского общества – академии наук Англии было обнаружено нераспечатанное письмо, написанное на 100 лет ранее. Оно заслуживает быть сохраненным и отмеченным в истории науки и техники. Автором был Фарадей. Письмо имело заглавие: «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в запечатанном конверте в архивах Королевского общества». Дата письма – 12 марта 1832 г. Фарадей писал, что результаты исследований привели его к заключению, что на распространение магнитного воздействия требуется время, и что электрическая индукция распространяется точно таким же образом. При этом распространение похоже на колебания взволнованной водной поверхности или на звуковые колебания частиц воздуха.

По аналогии Фарадей считал возможным применить теорию колебаний к распространению электрической индукции.

В письме указывалось, что эти воззрения Фарадей намерен проверить экспериментально, но, будучи очень занят исполнением служебных обязанностей, он передает свое письмо на хранение Королевскому обществу с целью закрепить за собой открытие оп-

ределенной датой и таким образом иметь право в случае экспериментального подтверждения объявить дату письма датой своего открытия. В заключение Фарадей указывал: «В настоящее время, насколько мне известно, никто из ученых, кроме меня, не имеет подобных взглядов».

Другим великим ученым, которому принадлежит заслуга развития идей Фарадея и создания теории электромагнитных волн, был Джеймс Клерк Максвелл. В 1865 г. он на основании своих пятнадцатилетних исследований высказал убеждение, что свет имеет электромагнитную природу. В 1879 г. он опубликовал «Трактат по электричеству и магнетизму», в котором доказал электромагнитную природу света. Максвелл ввел понятие тока смещения, которое уже было упомянуто выше при рассмотрении в § 1.2 некоторых свойств радиоволн. Он построил свою знаменитую математическую теорию электромагнитных процессов. Уравнения Максвелла были и остаются краеугольным камнем теории радиотехнических устройств и систем. Практическая радиотехника полностью подтвердила справедливость теории Максвелла. Решающую роль в утверждении этой теории сыграли фундаментальные дальнейшие исследования и изобретения Генриха Герца.

2.2. Изобретение как итог науки

Творческий процесс создания и развития радиосвязи, как и процесс развития науки и техники в целом, имеет ветвящуюся структуру. В нем наблюдается, во-первых, последовательное общее нарастание объема знаний, которое в итоге можно характеризовать ростом количества научных ОТКРЫТИЙ. Для техники этот этап образует предысторию. Во-вторых, в итоге и по мере накопления знаний идет процесс возникновения творческих идей и принципов конкретных приложений этих знаний для полезных целей. Это – этап зарождения отраслей техники и технологии. Итогом этого процесса являются ИЗОБРЕТЕНИЯ. Полностью отделить этот этап от предыдущего нельзя, поскольку он в свою очередь стимулирует продолжение и углубление исследований и этим способствует рождению новых открытий, и т.д.

Следующий, третий этап, также перекрывающийся с предыдущими, – практическое осуществление изобретений, сопровождающееся их непрерывным совершенствованием, дополнением, развитием и размножением вариантов. По мере усложнения изобретений и соответственно условий их осуществления этот этап приобретает самостоятельное значение и по времени отдалается нередко на годы и десятилетия.

Изобретение и его реализация могут совпадать, если основа изобретения – эксперимент, лабораторное моделирование; но не менее часты изобретения, основанные на теоретическом рассуждении и, в особенности в последней половине XX в., на математическом моделировании.

Нельзя ощутимо разделить по времени изобретение и его реализацию, если речь идет о рычаге, маятнике, азростате и т.п. Однако на этапе появления радиосвязи, как и некоторых других направлений техники, осуществление идей и принципов технических устройств – процесс настолько сложный, что не может вмещаться по времени со словесным формулированием предлагаемой идеи. Это обстоятельство, а также множественность, престижность, экономическое значение и интернационализация изобретений с неизбежностью привели уже с конца прошлого века к формальному разделению этих этапов.

Факт изобретения был отделен от его реализации приоритетной патентной заявкой, которая приобрела значение главного символа рождения нового в современной технике.

Приоритетная заявка имеет две формы: открытое опубликование идеи в печати, либо подача описания в патентное ведомство. Факт и дата изобретения фиксируются в обеих формах вполне равноправно, несмотря на то, что во втором случае предмет и содержание изобретения должны сохраняться в секрете до официальных решений о признании творческого предложения изобретением и о возможности его широкого опубликования.

Естественно, что во второй форме автор до опубликования в данной стране не застрахован от независимого и вполне законного оформления факта аналогичного изобретения другим лицом в любой другой стране.

Необходимо далее подчеркнуть, что ограничение последовательностью "открытие – изобретение – осуществление" в периодизации истории любой конкретной области техники не может считаться исчерпывающим предмет: такая периодизация слишком груба и требуется далее учитывать ее более тонкие структуры. Они появляются уже на этапе изобретений, на котором необходимо учитывать достаточно четкое разграничение таких имеющих самостоятельное значение, но не равноценных вкладов в технику, как

- изобретение способа решения технической задачи;
- изобретения различных устройств, реализующих способ;
- разработка конструкции устройства, а также производственной технологии его изготовления и различных аспектов его практического применения;
- дальнейшие технические усовершенствования устройств.

В соответствии с изложенной периодизацией процессов возникновения и развития техники, в качестве первого и значительного факта предыстории радиосвязи выше были отмечены исследования и открытия, получившие продолжение в работах целого ряда выдающихся физиков разных стран. Именно на этом основании можно утверждать, что от наблюдений и опытов Гальвани началась предыстория радиотехники; с учетом последствий этих опытов можно связать их и с возникновением электротехники вообще.

Не случайно в немецком языке для термина "радио" имеется более распространенный синоним "функ", что означает также "искра". Первые успешные шаги на пути к всемирному распространению радиосвязи были сделаны около 100 лет тому назад, в 1895 г., когда Гульельмо Маркони впервые удалось передавать на расстояния в сотни метров без проводов тексты посредством азбуки Морзе; это был именно *искровой* радиотелеграф. Электрическая искра, впервые выполнившая тогда роль радиопередатчика, была к тому времени известна уже на протяжении столетия. Она была изучена еще до того, как был открыт постоянный электрический ток и были изобретены его первые источники – гальванические батареи. Электрические искры были получены в результате исследований и изобретений в электростатике.

Электрофор, ставший основой электрофорной электрической машины изобрел Алессандро ВОЛЬТА (1745–1827). Он же изобрел и электроскоп с соломенными листочками (1781), ставший одним из первых электроизмерительных приборов. Ему же принадлежит новая интерпретация некоторых опытов Гальвани с "животным электричеством". Проверяя эти опыты, он определенно установил, что в них важную роль играли контакты металлов с жидкостью, при которых мог получаться постоянный ток. В итоге исследований им был изобретен в 1800 г. источник постоянного тока с высоким напряжением, ныне известный как "Вольтов столб". Не случайно в физике и электротехнике применяется единица электрического напряжения – вольт.

В 1820 г. Эрстед обнаружил, что пропускание тока по проводу вызывает отклонение находящейся на небольшом расстоянии магнитной стрелки. Это открытие послужило основой для построения различных электроизмерительных приборов, обеспечивших дальнейшие исследования и развитие электротехники; оно же сыграло важную роль в создании электрической связи – проводной и беспроводной.

Предложение использовать открытие Эрстеда для электрической сигнализации было, по-видимому, впервые высказано Ампером. Включая и выключая ток в проводе, а также изменяя на-

правление тока, можно вызывать отклонение стрелки и возвращать ее в первоначальное положение, а увеличивая длину провода – получать этот эффект на расстоянии. Эта возможность привела к мысли о возможности сигнализации. В отличие от оптического телеграфа, видимого в ясную погоду на обширной территории всеми, электрическая сигнализация могла осуществляться в любое время суток, невидимо для посторонних лиц.

Для передачи сообщений положения магнитной стрелки сопоставлялись в простейшем варианте с двумя символами: "0" или "1" "да" или "нет", "+" или "-" Сочетание достаточного числа этих двоичных символов при достаточном количестве их разных конечных последовательностей – кодовых слов дает возможность передавать сообщения любой сложности.

Кодирование как способ связи было уже, в сущности, реализовано значительно ранее работ Эрстеда и Ампера в оптическом телеграфе, в частности в телеграфе семафорном; теперь же появилась возможность применить его для связи по проводам.

Поскольку в наиболее распространенной форме код основан на двоичных числах, кодированная передача в современной терминологии представляется как цифровая. Интенсивное развитие цифровой связи в глобальных масштабах, начавшееся в конце XVIII в., продолжается и сейчас, по истечении двух столетий.

Цифровая связь при соответствующем ее развитии позволяет передавать не только тексты, но и сообщения в других формах, как, например, изображения, причем любой сложности и с любой четкостью. Рисунок может быть представлен в виде совокупности точек, расположенных в горизонтальных строках и вертикальных столбцах. Положение каждой точки определяется при этом передачей двух чисел: номера строки и номера столбца, Третье число может характеризовать градацию яркости передаваемого элемента изображения. В случае необходимости передавать цветные изображения достаточно предусмотреть еще одно число для цвета.

Передача изображений с достаточной частотой позволяет реализовать стробоскопический эффект и получить эффект движения воспроизводимых объектов, то- есть осуществить телевидение.

2.3. Первые устройства беспроводной связи

Идеи беспроводной электрической сигнализации возникли вскоре после работ Гальвани и Фарадея, получив убедительное подтверждение в экспериментах их последователей и, в особенности, в теории Максвелла. Основой первого этапа осуществления и

развития радиосвязи стали исследования и изобретения Герца и Лоджа; их можно считать условным началом истории радио, определяя факты предшествующего им столетия как предысторию.

На этапе предыстории были найдены первые способы и устройства для получения радиоволн: искровой разряд Лейденской банки, электрофорная машина, индукционная катушка с прерывателем и искровым разрядником.

В 1840 г. Джозеф Генри (США) показал, что разряд конденсатора имеет колебательный характер и это позволяет получать колебания с различными высокими частотами. Колебательный разряд изучал также У. Томсон. В 1853 г. им получена известная "формула Томсона" для частоты колебаний в цепи, содержащей конденсатор и индуктивную катушку. С этого по сути нарождалась техника радиопередатчиков.

По определению, радиоприем – получение информации из радиоволн. На этом основании можно считать одним из первых радиоприемников устройство, испытанное и описанное Гальвани:

- вертикальный провод – антенна;
- присоединенная к антенне определенным образом лягушечья лапка;
- провод, соединяющий другую точку лапки лягушки с землей.

Для обнаружителей пространственных электрических процессов, позволяющих получить полезную информацию, с прошлого века применяется термин "*детекторы*". Радиоприемное устройство Гальвани состояло из антенны, частью которой по-сути является и заземление, и детектора. На протяжении всего столетия такая структура воспроизводилась многими исследователями и изобретателями. Общим элементом в их изобретениях и разработках оставалась антенна в нескольких конструктивных модификациях, детекторы же были основаны на иных принципах.

Стимулом для совершенствования детекторов стал переход от лабораторных исследований волн к демонстрациям их свойств в лекционной аудитории. Достигнутые успехи дали основание прогнозировать увеличение дальности сигнализации, что потребовало поиска путей повышения чувствительности и эффективности детекторов и привело к появлению ряда изобретений,

Джозеф Генри одним из первых отказался от "физиологического" детектора Гальвани и применил искусственный приемник. Его детектор представлял собой катушку с расположенными внутри нее иглами. Прием сигналов фиксировался по магнитному действию поля катушки на иглы. Спустя полвека исследования магнитных детекторов возобновил Эрнест Резерфорд.

В докладе, прочитанном в 1842 г Генри сообщил, что сигналы от искрового передатчика – электрофорной машины с излучающим проводом – антенной принимались им в здании на расстоянии около 10 м, через два межэтажных перекрытия. При подключении к приемнику антенны в виде провода и заземления им был получен прием излучений от отдаленных грозových разрядов.

В 1875 г проф. Элью Томсон (США) провел и в начале 1876 г описал в журнале Франклиновского института эксперименты с передачей сигналов внутри здания, между разными этажами, на расстоянии около 25 м. Передатчиком служила индукционная катушка Румкорфа с искровым разрядником. Детектор волн представлял собой стержень с узким искровым промежутком. При включении передатчика в искровом промежутке приемника проскакивали искорки. Впоследствии подобный приемник был применен и в 1888 г описан Генрихом Герцом. Для удобства наблюдения искровой разрядник приемника был защищен от света корпусом с линзовым окуляром. Конструкция этого приемника была разработана Т. А. Эдисоном.

Изобретатель угольного микрофона (1878) Д. Э. Хьюз демонстрировал в 1879 и 1880 гг ряду известных ученых опыты передачи сигналов без проводов на расстояниях до сотен метров. Как и в упомянутых выше опытах Э. Томсона, им был применен искровой передатчик с катушкой Румкорфа. В приемнике изобретенный им микрофон служил детектором радиоволн, а для воспроизведения сигналов был применен телефон. В опытах участвовали известные английские физики У. Прис, У. Робертс-Оустин, У. Крукс, Дж. Стокс, Гриллс Адамс, Грове и Т. Хаксли.

В 1882 г. опыты беспроводного телеграфирования проводил А. Долбэр. Как и почти за сто лет до него Л. Гальвани, он применял вертикальную антенну, что получило отражение в его патенте США (№ 350.299 от 24 марта 1882 г.). Имеются сведения, что Долбэр, помимо телеграфирования, проводил и опыты беспроводной передачи речи. Для этого он питал первичную обмотку индукционной катушки от микрофона. Разборчивый прием, хотя и с искажениями, был в этих опытах возможен на расстоянии 1 км, дальность же телеграфной связи достигала 20 км.

В 1885 г, Т. А. Эдисон получил патент США (№ 465971) на беспроводный телеграф для связи с кораблями на море. Как и несколько ранее Долбэр, он применяя антенны с заземлением и на передающей, и на приемной радиостанциях.

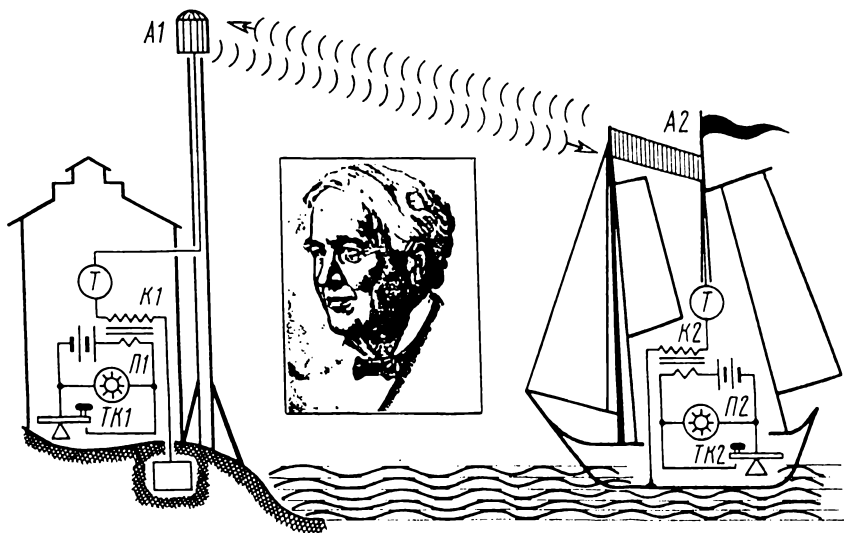


Рис. 2.1

Принципиальная схема радиотелеграфа Эдисона изображена на рис.2.1. Для генерирования волн и излучения их через антенны А1 и А2 служили индукционные катушки К1 и К2 с быстро вращающимися многоконтактными прерывателями П1 и П2. Для воспроизведения принимаемых сигналов служили телефоны Т1 и Т2. Был применен телефон особой конструкции – "электромотограф" Эдисона. Передача осуществлялась посредством телеграфных ключей ТК1 и ТК2.

Частота прерываний тока в индукционной катушке была тональной; соответственно тональным был и сигнал, воспроизводимый телефоном. По сути это был по-видимому первый радиотелеграф с электромеханическим генератором. Хотя частота тока была звуковой, это была радиочастота и могла относиться к диапазону № 4 – ОНЧ, мириаметровые волны (в соответствии с классификацией волн, приведенной в § 1.3). Согласно установившейся позже терминологии, это был "машинный" радиотелеграф. Впоследствии для машинного радиотелеграфа были разработаны более совершенные индукционные генераторы переменного тока значительно более высоких частот и для приема радиосигналов потребовались другие детекторы. Машинный радиотелеграф получил значительное развитие с первых годов XX в. и применялся на дальних линиях радиосвязи (например, на линии Москва – Нью Йорк) вплоть до конца 30-х годов. Имеются сведения, что при экспериментах в ла-

боратории Эдисона в Мэнло-парке демонстрировалась радиосвязь на расстояниях около 200м.

Согласно публикациям того времени, в 1887 г беспроводное телеграфирование посредством радиоволн демонстрировали также Уиллоуби Смит и Гренвилл, в Англии.

Эпохальное значение приобрело опубликование в 1888 г. открытий и изобретений Генриха Герца. Благодаря достигнутой им полноте и ясности описания всех основных свойств радиоволн, дальнейшие исследования, изобретения и разработки перешли с интуитивного уровня в область уверенного технического творчества. Открылись перспективы создания средств электросвязи с немислимыми ранее возможностями. В числе ряда ученых на эти возможности указывал в 1889 г в публичной лекции Элью Томсон, который, как уже отмечалось выше, сам еще в 1875 г. демонстрировал опыты беспроводной сигнализации.

Передатчиком в экспериментальных работах Герца служил генератор в виде индукционной катушки Румкорфа с искровым разрядником. Излучающей антенной служил вибратор – провод, в середину которого был введен искровой промежуток. Упрощенная картина излучения вибратора была рассмотрена выше (см. рис.1.7). Герцом была продемонстрирована в частности концентрация излучения в желательном направлении при помощи металлических зеркал, что широко практикуется в современных системах радиосвязи.

Приемником в опытах Герца служил *резонатор* в виде рамки, подобной той, которая в качестве излучателя также рассматривалась выше (см. рис.1.1–1.4). Для обнаружения (детектирования) принимаемых волн в антенну-рамку был введен миниатюрный промежуток, в котором при приходе волн от передатчика наблюдались искры. Другим вариантом приемника был также вибратор, подобный рис.1.1, но посредине его находился не источник волн, а также искровой промежуток, выполнявший функции индикатора (детектора) волн. Направленность приема так же, как и направленность передачи, достигалась при помощи параболического зеркала.

Передача и прием радиосигналов в опытах Герца проводились исключительно с целью получения научной информации в условиях лаборатории, поэтому меры для увеличения дальности радиосвязи не требовались и не принимались.

Опыты Герца были описаны в многих журналах и воспроизводились в лабораториях университетов разных стран. Публичной демонстрации их препятствовало только несовершенство детектора-резонатора. Невысокая чувствительность приемника и неудобный способ наблюдения принимаемых сигналов позволяли осуще-

ствлять прием только на расстояния 8...10 м. от передатчика; это ограничивало применение такого приемника пределами исследовательской лаборатории. Для приема требовалось, чтобы глаз наблюдателя был почти вплотную приближен к искровому промежутку. Применение оптики, подобной конструкции Эдисона в упомянутых опытах Элью Томсона (1875), могло лишь немного облегчить пользование таким приемником. Требовалось найти способы усиления принимаемых сигналов. Первый значительный результат был достигнут в Англии в 1889 г Оливером Лоджем и им же развит в последующие 4–5 лет.

Итогом работ О. Лоджа 1889 г была совокупность передатчика Герца и оригинального приемника, основные элементы которого показаны на схеме рис.2.2,а. Здесь А – антенна (вibrator), Д – детектор, Г – гальванометр. Первым детектором был, как и у Герца, миниатюрный искровой промежуток с той лишь особенностью, что зазор между его электродами был уменьшен до минимума, за которым следовало их соприкосновение. В 1889 г Лодж обнаружил, что при действии на такой детектор электрического разряда сопротивление разрядника резко уменьшается; электроды как бы сцепляются. Цепь оставалась замкнутой и по прекращении действия волн. Для разрыва контакта и приведения приемника в состояние готовности к приему следующего сигнала требовалось легкое встряхивание.

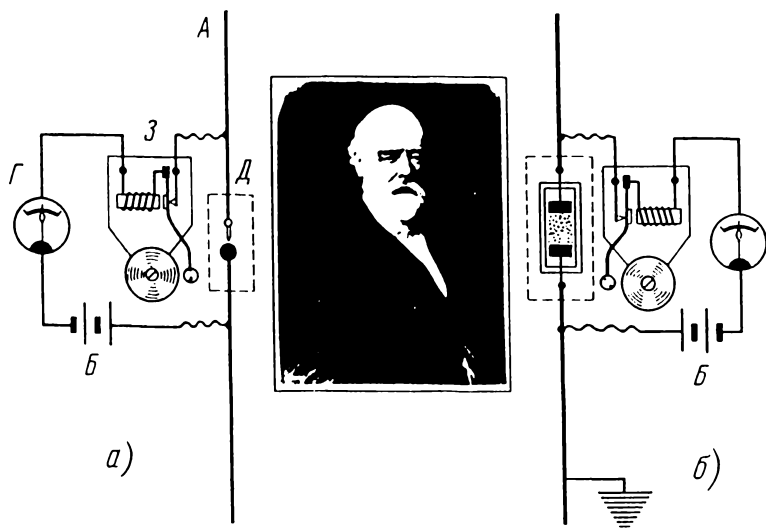


Рис. 2.2

При присоединении параллельно искровому промежутку чувствительного гальванометра в цепи до встряхивания детектора отмечался небольшой ток, вызванный контактным электричеством. Отклонение стрелки гальванометра облегчало наблюдение приема сигналов, но эффект этот был слабым и неустойчивым.

При подключении к детектору батареи Б и электрического звонка З в цепи протекал достаточно большой ток и прием сигнала четко отмечался не только гальванометром, но и звонком. Слабый сигнал в этом случае управлял значительно более сильным током от батареи Б, т. е. достигалось усиление сигнала, ставшее в разных вариантах в дальнейшем одной из основ в устройствах радиосвязи.

Если механические вибрации якоря звонка передавались детектору Д, то контакт разрывался и звонок отключался до следующего воздействия волн.

Используя греческий эквивалент слова "сцепление", Лодж назвал свой приемник со "сцепляющимися" электродами искрового промежутка "когерером". Он сообщил о нем в докладе в 1890 г.

Лоджем была найдена и другая конструкция когерера, более чувствительного и более простого в регулировке. В этом варианте металлическое острие касалось окисленной поверхности алюминиевой пластинки. Сходную конструкцию имели впоследствии кристаллические детекторы, основанные на ином принципе и получившие распространение в устройствах радиосвязи с начала 1900-х годов.

Иной детектор был предложен для радиоприемника в 1890 г во Франции Эд. Бранли и назван им "радиокондуктором", положив начало применению термина "радио". Единичный контакт был в приемнике Бранли заменен множеством контактов между частицами металлического порошка или опилок, что сделало детектор более устойчивым и надежным, но это достигалось за счет понижения чувствительности. Во втором варианте своего когерерного приемника, схема которого изображена на рис.2.2,б, Лодж воспользовался радиокондуктором взамен единичного контакта. Для встряхивания порошка по-прежнему служил звонок.

В третьем варианте вместо звонка был подключен телеграфный аппарат Морзе; для встряхивания порошка служила вращающаяся шайба, укрепленная на конце одной из осей аппарата. На шайбе были укреплены спицы, задевавшие трубку с опилками и этим встряхивавшие ее.

Итоги работ Лоджа были доложены им в июне и августе 1894 г и тогда же опубликованы. Доклады сопровождались демонстрациями приема радиосигналов от передатчика, находившегося вне здания. Для воспроизведения сигналов служил гальвано-

метр, показанный на рис.2.2. Это был гальванометр, применяемый на кораблях для внутрисудовой телеграфной сигнализации; принимались "точки" и "тире" кода Морзе. Лодж сообщил также, что его приемник принимает волны от отдаленных грозových разрядов и что чувствительность его приемника позволяет увеличить дальность сигнализации до полумили.

В итоге работ Герца, целеустремленно развиваемых Лоджем, уже в самом начале 90-х годов у ряда ученых сложилось убеждение в полной возможности применения электромагнитных волн для беспроводной сигнализации. Способ радиосвязи существовал уже изобретенным после опубликования в 1882 г в журнале "Фортнайтли Ревью" (№302) замечательной статьи известного английского физика Уильяма Крукса "Некоторые возможности применения электричества". После статьи Крукса перед изобретателями раскрылись широкие возможности осуществления ставшего известным способа в всевозможных практических устройствах и конструкциях.

Поскольку в статье Крукса по сути были изложены почти все основные принципы радиосвязи, реализованные на практике за первые два десятилетия XX в. вполне уместно привести полный текст раздела этой статьи, в котором эти принципы были изложены. Вот этот текст.

«Лучи света не могут проникать ни через стену, ни, как мы слишком хорошо знаем, через лондонский туман. Но электрические колебания, о которых я говорил, с длиной волны в один ярд и более, легко проникнут через такие среды, являющиеся для них прозрачными. Здесь раскрывается поразительная возможность телеграфирования без проводов, телеграфных столбов, кабелей и всяких других дорогостоящих современных устройств. Допуская несколько приемлемых постулатов, мы можем рассматривать все это как находящееся в области возможного осуществления. В настоящее время экспериментаторы могут генерировать электрические волны любой длины, от нескольких футов и более, и поддерживать последовательность таких волн, излучающихся в пространство во всех направлениях. Более того, некоторые из этих лучей, если не все, можно преломлять с помощью тел подходящей формы, действующих как линзы, и таким образом направлять пучок лучей в любом направлении. Для этой цели уже применялись большие линзы из асфальта и других подобных материалов. Экспериментатор может также принять на расстоянии некоторые, если не все из этих лучей, на соответствующим образом сконструированный прибор, и посредством условных сигналов по коду Морзе сообщения могут передаваться от одного оператора к другому

поэтому то, что остается изобрести, это, во-первых, более простые и более надежные средства генерирования электрических лучей с любой длиной волны, от самых коротких, скажем длиной в несколько футов, которые легко пройдут через здания и туманы, до длинных волн в десятки, сотни и тысячи миль, во-вторых, – более чувствительные приемники, которые будут откликаться на длины волн в некотором определенном диапазоне и будут глухи ко всем другим; в-третьих, средства для концентрации пучка лучей в любом желаемом направлении, в виде линз или рефлекторов, посредством которых чувствительность приемника (очевидно самая трудная из проблем, подлежащих разрешению) могла бы быть не такой трудной, как в том случае, когда подлежащие приему лучи просто излучаются в пространство во всех направлениях и затухают обратно пропорционально квадрату расстояния.

Любые два друга, живущие в пределах радиуса чувствительности их приемных аппаратов, выбрав предварительно длину волны и настроив свои аппараты для взаимного приема, могли бы таким образом сообщаться между собой столь долго и так часто, как они того захотели бы, регулируя импульсы для образования длинных и коротких интервалов по обычному коду Морзе. На первый взгляд возражением против такого плана могло бы быть отсутствие секретности. Если предположить, что корреспонденты находятся на расстоянии одной мили друг от друга, то передатчик будет посылать волны во всех направлениях, заполняя ими сферу радиусом в одну милю, и поэтому любой человек, живущий в пределах одной мили от передатчика, сможет принять эти сообщения. Это можно было бы предотвратить двумя способами. Если точное местоположение обоих, передающего и принимающего аппаратов хорошо известно, лучи могли бы быть сконцентрированы с большей или меньшей точностью на приемник. Если нельзя применить концентрирующие устройства, так как передатчик и приемник находятся в движении, то корреспонденты должны настроить свои аппараты на определенную длину волны, например в 50 ярдов. Я полагаю, что в процессе изобретений будут созданы аппараты, которые можно будет настраивать путем вращения винта или изменения длины проволоки, так что станет возможным принимать волны любой заранее обусловленной длины. Таким образом, настроенный на 50 ярдов передатчик мог бы излучать, а приемник принимать лучи с длиной волны от 45 до 50 ярдов и не принимать никаких других лучей. Считая, что полный диапазон длин волн, из которого можно будет производить выбор, простирается от нескольких футов до нескольких тысяч миль, можно будет иметь достаточную секретность. Ради любопытства даже самый настойчи-

вый человек наверно отказался бы от просмотра миллионов длин волн с очень малым шансом найти длину волны, используемую его друзьями, корреспонденцию которых он хотел бы перехватить. Посредством кодирования сообщений даже и этот отдаленный шанс тайного перехвата можно было бы предотвратить.

Это не просто грезы мечтательного ученого. Все необходимое, что нужно для реализации этого в повседневной жизни, находится в пределах возможностей изобретения и все это так разумно и так ясно следует из тех исследований, которые деятельно ведутся сейчас в каждой европейской столице, что в любой день мы можем услышать о том, как из области рассуждений это перешло в область неоспоримых фактов. Действительно, даже теперь телеграфирование без проводов возможно в ограниченном радиусе в несколько сотен ярдов, а несколько лет тому назад я сам участвовал в опытах, в которых сообщения передавались из одной части дома в другую, без проводов, средствами, почти идентичными с описанными здесь».

Сообщая об опытах, в которых он участвовал, У Крукс несомненно имел в виду демонстрации радиосвязи, проведенные в 1879–1880 гг. Д.Э. Хьюзом. Эти успешные опыты уже были описаны выше.

Исследования, открытия и изобретения Герца, детальное описание Круксом способа радиотелеграфной связи и опубликование Лоджем описаний изобретенных им устройств в совокупности с материалами исследований, разработок и изобретений целого ряда других авторов (Э. Томсон, Д.Э. Хьюз, Долбэр, Эдисон, Уиллоуби Смит, Гренвилл, Бранли и др.), открыли ясный путь к осуществлению и развитию Искрового радиотелеграфа. В 1895 г и в последующие годы устройства, изобретенные Лоджем с рядом усовершенствований были успешно применены, как уже упоминалось, в России А.С. Поповым, а в Италии их использовал Г. Маркони в его первых опытах беспроводного телеграфирования. В том же году капитан Генри Джексон принимал на корабле на когерентный приемник сообщения, передаваемые через искровой радиопередатчик с другого корабля.

Достигнутые успехи и выявившиеся перспективы стали для исследователей стимулом к поиску путей дальнейшего совершенствования устройств радиосвязи.

На рис.2.3 приведена схема передатчика и приемника, примененных Г. Маркони в его первых опытах и демонстрациях радиосвязи в 1895 и 1896 гг. В передатчике, схема которого показана слева, по существу повторен передатчик Г. Герца с индукционной катушкой ИК с разрядником Р и прерывателем Румкорфа. Для передачи сигналов служил телеграфный ключ Морзе ТК.

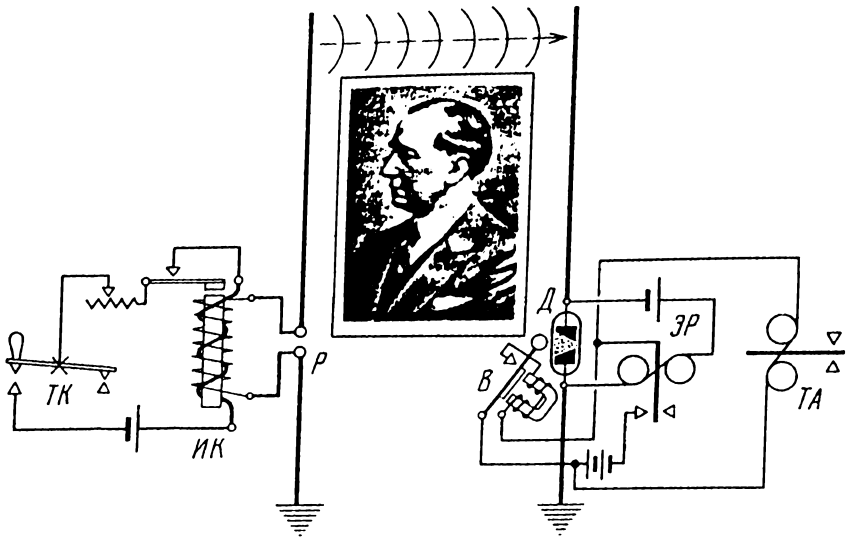


Рис. 2.3

В приемнике по схеме, показанной на рис.2.3 справа, применялся когерер Лоджа с тем лишь отличием, что для встряхивания порошкового детектора применялся не звонок, а специальный встряхиватель В. Как видно из схемы, по устройству и принципу действия этот встряхиватель мало отличался от обычного звонка. Более существенным отличием было включение телеграфного аппарата Морзе ТА.

Поскольку для надежной работы телеграфного аппарата требовался большой ток, чем мог обеспечить в оптимальном режиме порошковый детектор, было предусмотрено включение этого аппарата не непосредственно в цепь детектора Д, как это было сделано в приемнике Лоджа (рис.2.2), а через электромагнитное реле ЭР, служившее усилителем тока. Наличие реле позволило повысить и надежность встряхивания путем включения встряхивателя В в ту же цепь, что и телеграфный аппарат ТА.

Главное отличие устройств, разработанных Маркони, состояло в применении антенн в виде высоко поднятого вертикального провода и заземления. В этом отношении устройства Маркони были сходны с описанными девятью годами раньше в патенте Т. А. Эдисона (рис. 2.1). Особенно важным было включение длинной антенны в передатчике, так как тем самым был осуществлен переход к значительно более длинным волнам, чем в опытах Герца и Лоджа.

С увеличением длины волны в большей мере проявляется способность волн огибать препятствия – дифракция. Благодаря этому Маркони в первых же своих опытах в 1895 г добился приема волн от передатчика, когда пункты передачи и приема располагались по разные стороны холма, т. е. в условиях отсутствия геометрической видимости между этими пунктами. В дальнейшем способность длинных волн огибать поверхность Земли позволила Маркони добиться дальности связи на таких больших расстояниях, каких не предвидели его предшественники.

Применение на передающей и приемной радиостанциях больших антенн с близкими размерами имело следствием близость их резонансных частот. Благодаря резонансу приемник реагировал на более слабые сигналы, что также способствовало уверенному приему на более удаленных пунктах. К концу 1895 г. Маркони добился дальности радиосвязи несколько более одной мили, а в дальнейшем получал все большие и большие расстояния.

Успеху и популяризации упомянутых и последующих работ Маркони в решающей степени способствовали его международные связи и полученная им разносторонняя помощь. В начале 1896 г Маркони приехал в Лондон и после успешной демонстрации там своей привезенной из Италии аппаратуры получил сильную поддержку со стороны Уильяма Приса – главного инженера администрации, ведавшей в Англии средствами связи. В июне 1896 г он подал патентную заявку на беспроводный телеграф и продолжал его совершенствовать. В 1897 г соорудив в Специи (Италия) береговую радиостанцию, он осуществил радиосвязь с военными кораблями на расстояниях до 12 миль. В процессе этих и последовавших экспериментов им было открыто свойство радиоволн распространяться над поверхностью моря лучше, чем над сушей.

В 1898 г. была осуществлена радиосвязь между Англией и Францией на расстоянии более 30 миль, а дальность связи с военными кораблями в том же году достигла 76 миль.

В эти же годы сходные эксперименты проводил в Петербурге А.С. Попов, однако, на более чем скромной базе учебного заведения. В 1895 г изготовив из подручных деталей когерер и применив для его встряхивания обыкновенный электрический звонок, он осуществил свой знаменитый "Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний" Этот радиоприёмник вместе с катушкой Румкорфа в качестве генератора волн позволил проводить лабораторные исследования и лекционные демонстрации. а с включением самописца сделал возможной регистрацию на больших расстояниях грозowych атмосферных разрядов. Так был

создан знаменитый "грозоотметчик" вошедший в историю радиотехники и описанный в школьных учебниках физики.

В дальнейшем этот же радиоприёмник послужил основой развернутых А.С. Поповым экспериментов по радиотелеграфной связи между кораблями и берегом; результаты этих работ оказали значительное влияние на дальнейшее развитие радиотехники в России.

Успехи Г Маркони привлекли к радиосвязи внимание ряда научных учреждений и администраций связи в странах Европы и в США. По существу во всем мире начали проводиться интенсивные эксперименты и разработки. Все успешные усовершенствования немедленно внедрялись в практику. Линии искрового радиотелеграфа пересекли океаны и связали континенты. Решающую роль в развитии радиосвязи на рубеже XIX и XX вв. сыграло открытие Г Маркони непредвиденной ранее возможности радиотелеграфирования на расстояниях не только в десятки километров, как это было в начале последнего пятилетия XIX в., но и в сотни и тысячи километров. На таких расстояниях чувствительность когерентных приемников была недостаточной, да и другие виды автоматических устройств, предлагавшиеся в те годы, еще не позволяли гарантировать надежную связь. Для уверенного приема на больших расстояниях потребовалось присоединить к чувствительности технических средств такое совершенное биологическое средство, как слух человека. На протяжении двух десятилетий и более, когда искровые радиопередатчики совершенствовались, сменялись дуговыми и машинными, о которых пойдет речь ниже, а затем ламповыми, наиболее распространенным средством регистрации принимаемых сообщений оставался дежурный радист-оператор, оснащенный головным телефоном. Как уже отмечалось выше, аналогичный по сути способ радиоприёма был предложен Д.Э. Хьюзом за два десятилетия до того, как проводил свои разработки Г Маркони.

Значительным шагом вперед на пути совершенствования систем радиосвязи на первом этапе их осуществления и развития было изобретение Оливера Лоджа, названное им "синтонической настройкой" Сущность этого изобретения, на которое Лоджем был получен патент с приоритетом 1898 г состояла в введении цепей управления частотой радиоизлучения в передатчике и цепей настройки на эту частоту в приемнике. В первые годы XX века это предложение уже получило развитие и широкое внедрение в различных вариантах и практических конструкциях.

Для преобразования радиочастотных импульсов, принимаемых от искрового передатчика, в последовательность импульсов

постоянного тока, вызывающую звук в телефоне, потребовалось применить устройство, обладающее способностью выпрямлять переменный ток. Из ряда вариантов решения этой задачи предпочтительным оказался детектор в виде полупроводникового кристалла с точечным контактом в виде острого конца проволоочной пружинки. Пригодность для этой цели ряда кристаллов была еще в конце прошлого века выявлена в процессе исследований К.Ф. Брауна.

Качество слухового приема зависит от частоты импульсов, действующих на телефон: предпочтительно, чтобы частота звука была в пределах 500...1000 Гц. Первые искровые передатчики не отвечали этому условию: искровые разряды индукционной катушки передатчика воспроизводились не как тон, а как треск. Повышение частоты искр было достигнуто введением взамен электромагнитного прерывателя Румкорфа многоконтактных вращающихся прерывателей. Принимая этот вариант, конструкторы радиоаппаратуры в сущности вернулись к принципу, предложенному еще в 1885 г. Т.А. Эдисоном. В его радиопередатчике, схема которого была показана на рис. 2.1, генератором переменного тока служил контактный прерыватель.

Другим вариантом разрядника в передатчике была специальная многопластинчатая конструкция, автором которой был М. Вин. Разряды получались в узких параллельных промежутках между медными пластинами, ряд которых представлял собой последовательную цепь, подобную отопительному радиатору в миниатюре. Это устройство и действовало как радиатор, поскольку нуждалось в отведении выделяемой в разряднике тепловой энергии; для этого применялось воздушное или водяное охлаждение. Необходимость охлаждения была вызвана непрерывно возрастающей мощностью создававшихся в те годы радиопередатчиков.

Типичная схема искрового передатчика и приемника первых лет XX в. показана на рис. 2.4.

В передатчике, схема которого показана слева, П – вращающийся прерыватель, ТК – телеграфный ключ, ИК – индукционная катушка, Р – разрядник. Далее следует колебательный контур из конденсатора С и индуктивной катушки L настраиваемый на желательную частоту изменением положения отвода от катушки. Аналогично настраивается и цепь передающей антенны.

В приемнике, схема которого показана справа, также имеется колебательный контур. Цепь антенны и колебательный контур настраиваются в резонанс на частоту передатчика таким же способом, как и в передатчике. Кроме того предусмотрена регулировка емкости колебательного контура; Д – кристаллический детектор

причем для подбора оптимального режима его действия предусмотрена батарея Б с делителем напряжения. Для воспроизведения принимаемого сигнала служит телефон Т

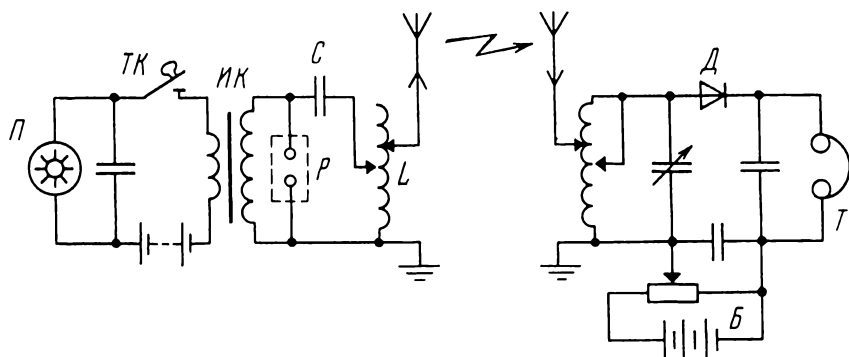


Рис. 2.4

Значительный период в истории радиосвязи связан с применением передатчиков, основанных на использовании свойств вольтовой дуги – *дуговых передатчиков*.

При увеличении тока в вольтовой дуге выше некоторого предела, нарастание напряжения между электродами сменяется его уменьшением. При графическом изображении зависимости падения напряжения от подводимого тока (ампер-вольтовой характеристики) на ней обнаруживается "падающий" участок: ток растет, а падение напряжения уменьшается; в пределах этого участка сопротивление дуги для колебаний тока – отрицательное. Включение дуги в режиме отрицательного сопротивления в колебательный контур приводит к компенсации джоулевых потерь в нем и потерь, вносимых в него подключаемыми цепями, например антенной. В результате устанавливаются колебания с постоянной амплитудой.

Явление самовозбуждения колебаний в цепи с вольтовой дугой было известно еще с 1892 г. когда оно было открыто Элью Томсоном (США).

Выбором материалов для электродов (например, медь и уголь), последовательным включением нескольких дуг, применением водородного или водяного охлаждения, воздействием на дугу магнитного поля и другими мерами удастся получать колебания большой мощности с частотами до сотен килогерц. В отличие от искрового генератора получаемые колебания тока – незатухающие, по форме близкие к синусоидальным.

Свойство дуги генерировать колебания с частотами порядка 10 кГц было исследовано в 1900 г. английским физиком У. Дудде-

лем. Датский физик В. Поульсен, поместив дугу в атмосферу водорода, получал частоты генерируемых колебаний до 100 кГц, после чего дуговой генератор, подключенный к антенне, стал использоваться в качестве радиопередатчика. После 1908–1910 гг. мощные дуговые радиопередатчики получили значительное развитие и широкое применение, продолжавшееся вплоть до 20-х годов.

Упрощенный пример схемы дугового передатчика с рядом дуг, соединенных последовательно, приведен на рис.2.5. Здесь не показаны входящие в конструкцию передатчика мощные агрегаты для создания в камере дуг газовой среды и сильного магнитного поля, для отвода тепла и др. На рисунке М – микрофон, посредством которого осуществлялась радиотелефонная связь: изменение сопротивления микрофона при действии на него звуков речи приводило к изменению энергии колебаний в антенне. В результате амплитуда получаемых волн изменяется соответственно речевому сигналу, происходит *амплитудная модуляция радиосигналов*.

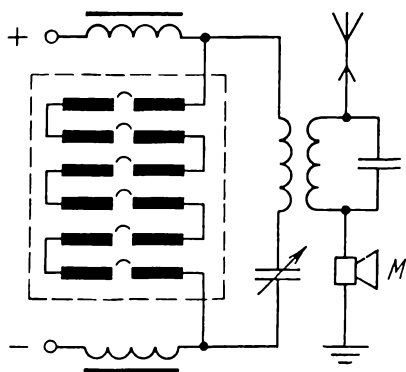


Рис. 2.5

Включение микрофона в цепь большой мощности потребовало разработки специальной конструкции с интенсивным внешним охлаждением.

Попытки радиотелефонной связи с включением микрофона в цепь антенны предпринимались в начале 1900-х годов и с искровыми передатчиками. При высокой частоте искр удавалось получать слабо затухающие колебания, однако существенного успеха эти попытки не принесли.

Дуговые передатчики в целом ряде усовершенствованных конструктивных вариантов применялись как для телеграфной, так и для телефонной радиосвязи вплоть до 1930 г. Мощности дуговых радиостанций достигали 1000 и более киловатт.

Одновременно с дуговыми генераторами на передающих станциях дальних линий радиосвязи применялись мощные машинные генераторы. В отличие от машинного генератора в виде многоконтактного прерывателя, предложенного в 1885 г. Эдисоном (см. рис.2.1), эти генераторы были бесконтактными, индукционными. Роторы этих мощных машин были многозубцовыми и имели

прочную конструкцию, рассчитанную на вращение с большой скоростью: до 20 000 оборотов в минуту. Частота генерируемого тока достигала десятков килогерц. Для получения более высоких частот к машинному генератору добавлялись цепи умножения частоты в виде трансформаторов с нелинейными магнитными характеристиками сердечников.

В 20-е годы началось интенсивное развитие вакуумной электроники. Электронные лампы, изобретенные еще в первом десятилетии XX в., интенсивно совершенствовались и внедрялись в серийное и массовое производство. На протяжении 20-х годов радиопередатчики и радиоприемники стали ламповыми и оставались ламповыми вплоть до 50–60-х годов. В радиопередатчиках большой мощности электронные лампы применяются и в настоящее время.

2.4. Радиосвязь во второй половине XX века – итоги и тенденции

По окончании Второй мировой войны были раскрыты накопленные фонды новых систем и конструкций, связанные преимущественно с военной радиотехникой. Разработанные и осуществленные в 30-е и 40-е годы микроволновые радиолокационные системы и устройства стали главным фактором и ресурсом для создания и развития новых средств радиосвязи с большой пропускной способностью.

Принципы радиолокации требовали генерирования импульсных сигналов длительностью менее микросекунды и измерения с большой точностью промежутков времени между импульсами – от долей микросекунды до миллисекунд. Потребовались также управляемые остронаправленные антенны. Поскольку подобные задачи разрешимы главным образом в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн, для этих диапазонов были разработаны и освоены в производстве специальные электронные приборы, волноводы, резонаторы и фильтры, генераторы коротких импульсов, цепи синхронизации и обработки импульсных сигналов, а также множество других устройств. В послевоенные годы все это стало основой для быстрого создания и широкого внедрения микроволновых систем радиорелейной связи.

В 50-е и 60-е годы в большей части стран были сооружены сети радиорелейных линий большой протяженности и с большой пропускной способностью. Эти сети создавались и служат в данное время главным образом для передачи телевизионных про-

грамм, а также, наряду с кабельными, для многоканальной телефонной связи между городами, регионами и странами.

Большая часть станций радиорелейных линий автоматизирована и не нуждается в постоянном присутствии обслуживающего персонала. На магистральных большой протяженности и на особо ответственных направлениях связь обеспечивают комплексные сети с последовательным либо совместным применением кабельных и радиорелейных линий.

В 60-е и последующие годы в эти комплексные сети были введены также радиолнии спутниковой связи. Все три системы дополняют друг друга, обеспечивая практически неограниченную пропускную способность, а также взаимозаменяемость и надежность.

Еще более глубокое, по сути эпохальное достижение в технике радиосвязи второй половины века связано со стремительным развитием полупроводниковой электроники. Подобно тому, как в 20-е годы произошло тотальное внедрение в системы радиосвязи вакуумных электронных ламп, 50-е годы отмечены практически полной транзисторизацией радиоаппаратуры всех назначений. Электронные лампы сохранили свое доминирующее положение только в мощных блоках радиопередатчиков.

Германиевый транзистор с точечными контактами, изобретателями которого были Бардин, Браттейн и Шокли, ставшие за свои заслуги нобелевскими лауреатами, был первым звеном в непрерывной последовательности изобретений и усовершенствований электроники.

Первоначально транзистор применялся в радиоаппаратуре в виде дискретного электронного элемента. Малые размеры его по сравнению с электронными лампами и возможность питания от малогабаритных низковольтных источников тока открыли пути для миниатюризации многих узлов радиоаппаратуры и прежде всего радиоприемников.

Соединения между деталями радиоаппаратуры выполнявшиеся ранее проводами, были заменены печатными металлическими полосками на тонких платах из диэлектрика. Миниатюризация резисторов и конденсаторов вместе с печатными соединениями между ними открыла путь для выполнения основных узлов в виде многоэлементных модулей. Следующим этапом стало интегральное выполнение модулей со всеми элементами конструкций и межэлементными соединениями в едином технологическом процессе на миниатюрной пластинке из полупроводникового материала.

Начиная с 60-х годов, идет непрерывный процесс совершенствования конструкций и технологии производства радиоаппарату-

ры в направлении дальнейшей миниатюризации, характеризующийся в терминологии как микроэлектроника. В конечном счете, стало возможным разместить на кристалле с поверхностью в несколько квадратных миллиметров сотни и тысячи микроскопических транзисторов со всеми необходимыми соединениями между ними.

В связи со столетием радиосвязи вполне уместно вспомнить, что полупроводниковая электроника имела свое начало в те же годы, к которым относятся основополагающие публикации Генриха Герца, Оливера Лоджа и Уильяма Крукса. К тем же годам относятся первые серьезные исследования свойств полупроводниковых кристаллов; их проводил К.Ф. Браун. Он же был изобретателем электронно-лучевой трубки, сыгравшей исключительно важную роль в измерительной технике, а позже ставшей основой телевидения и радиолокации. В конце прошлого века были открыты и жидкие кристаллы, многолетние исследования которых в конечном счете привели к созданию миниатюрных и предельно экономичных по потреблению тока буквенно-цифровых дисплеев. Они применяются во множестве устройств, в том числе и в аппаратуре радиосвязи.

Итогом столетнего развития радиосвязи и характерным индикатором тенденций этой области на рубеже нового тысячелетия стали сотовый радиотелефон и приемник персональной радиосвязи – пейджер. Появление этих устройств знаменует исполнение прогноза, опубликованного сто лет тому назад, когда стали известны первые достижения в телеграфировании без проводов. Автор этого прогноза, английский физик и изобретатель У. Айртон писал: «... человек, пожелавший переговорить с другом и не знающий где тот находится, позовет электрическим голосом, который услышит только тот, чье электрическое ухо настроено на этот вызов; он спросит: где ты? И прозвучит ответ: я в глубине шахты, на вершине Анд, или в далеком океане. Но может быть не будет никакого ответа, и тогда он будет знать, что друг его умер».

Этот лирический, но научно вполне оправданный прогноз точно и интенсивно реализуется на рубеже XX и XXI веков, когда радиосвязь пришла к своему столетнему юбилею. Он реализуется в системах персонального радиовызова.

Как ни высоки и впечатляющи были темпы научно-технического прогресса радиосвязи на протяжении всего истекшего столетия, только сейчас пророчество Айртона близится к исполнению. В персональной радиосвязи человек, по сути, получает нечто вроде нового органа чувств, который позволяет ему общаться с любым другим человеком, где бы тот ни находился на нашей планете или в космосе.

2.5. Предыстория космической радиосвязи

Зарождение космической радиотехники – естественное и неизбежное следствие общего развития цивилизации. Среди многих имен людей, вкладом которых отмечено начало космической эры, заслуживают быть названными два, связанные с самыми первыми шагами в этом направлении: Карл Джански и Артур Кларк.

Молодой инженер Карл Джански (1905–1950), окончивший в 1927 г университет в Висконсине (США), в 1928 г поступил на работу в должности радиоинженера-исследователя в лаборатории компании Белл и участвовал в экспериментальных исследованиях источников помех радиосвязи. В качестве одного из основных средств исследования им было разработано радиоприемное устройство с остро направленной антенной, допускавшей произвольное изменение пространственной ориентации ее направленности. Итоги исследований, проведенных до 1932 г, были им опубликованы и содержали сведения о трех основных источниках радиопомех:

- грозовые разряды местного происхождения,
- излучения, вызванные дальними грозами, приходящие главным образом из тропической зоны,
- космические шумы, приходящие от неизвестных галактических источников.

Открытие космических радиоизлучений стало началом систематических исследований, которые Джански продолжал в техническом научном центре в Холмдейле. Этими исследованиями было положено начало радиоастрономии. В Холмдейле, в Джодрел Бэнк в Англии, а затем и в ряде других городов и стран были сооружены грандиозные антенны со сверхчувствительными радиоприемными устройствами – радиотелескопы. Когда в 60-е годы начались интенсивные разработки и развитие систем спутниковой радиосвязи, радиоастрономические антенны были успешно применены для приема сигналов с космических аппаратов.

Второе из названных имен – Артур Кларк – появилось в радиотехнической печати в феврале 1945 г. Уже не были секретом параметры мощной германской ракеты Фау-2, способной нести тонну взрывчатого материала через верхние слои атмосферы. Тысячи таких зарядов были сброшены на Лондон, но близость конца войны уже была несомненна. Ученые и инженеры начали обдумывать проблемы послевоенных исследований и разработок. Всемирно распространенный радиотехнический журнал "Уайрлесс Уорлд" опубликовал краткую статью о перспективах ракет, подобных Фау-2, для запуска спутников Земли в научных и практических

целях, главным образом для геофизических исследований. Питание приборного оборудования спутников Артур Кларк предлагал осуществлять от солнечных батарей.

Срок реализации своей идеи автор статьи оценивал в 5–10 лет. До запуска первых спутников тогда оставалось немногим более двенадцати лет. Знаменателен последний абзац этой статьи, приведем его полностью:

«Искусственный спутник на определенном расстоянии от Земли будет совершать один оборот за 24 часа. Он будет оставаться неподвижным над определенным местом и в пределах оптической видимости с почти половины земной поверхности.

Три ретранслятора, размещенные на правильно выбранной орбите с угловым разнесением на 120° смогут покрыть телевидением и УКВ – вещанием всю планету; я боюсь, что те кто планирует послевоенные работы, не сочтут это дело простым, но я считаю именно этот путь окончательным решением проблемы». Срок реализации этой части своей программы автор считал более продолжительным: может быть до полувека.

Автор этой статьи – Артур Сесил Кларк, в 1945 г – 27-летний лейтенант ВВС Англии, инструктор по радиолокации, технический офицер первой радиосистемы автоматического приведения самолетов и... с 1935 г, член Британского Межпланетного общества.

В весенние месяцы 1945 г А. Кларк углубленно занимался разработкой своих предложений. Существует рукопись его статьи, датированная 25 мая 1945 г, В ней уже детально рассматривались вопросы расположения спутников на геостационарной орбите, выбора частот, вида радиосигналов, направленности бортовых антенн, мощности передатчиков, питания бортовой аппаратуры от солнечных батарей и пр. В сложных обстоятельствах первых послевоенных недель эта рукопись осталась неопубликованной и лишь в 60-е годы издана стереотипно и распространена корпорацией "Комсат" в качестве документа истории техники.

В июле 1945 г лейтенант ВВС Кларк представил на усмотрение военной цензуры доработанную и дополненную рукопись под названием "Внеземные ретрансляторы. Могут ли ракетные станции обеспечить мировое радио?" Идеи автора были признаны достаточно фантастическими, разрешение на опубликование было получено, и статья появилась в октябрьском выпуске того же журнала "Уайрлесс Уорлд" Впоследствии она была воспроизведена в ряде других изданий.

Артур Кларк родился в Англии в декабре 1917 г учился в классической средней школе и, как вспоминает, уже тогда публиковал в школьном журнале "всякие истории" на космические темы.

На военной службе в британских ВВС он приобщился к радиотехнике. Сейчас он – профессиональный писатель, живет в Коломбо (Шри Ланка), Он регулярно выступает по радио и телевидению, а также в различных аудиториях Европы и Америки, участвует в международных совещаниях по вопросам освоения и использования космического пространства. За свои пророческие и изобретательские статьи 1945 г он удостоен золотой медали Баллантайна, присуждаемой Франклиновским институтом, международной премии Маркони и др.

Артур Кларк известен как автор более 50-ти прекрасных научно-популярных и научно-фантастических книг, изданных более чем на 30 языках. В историю радиотехники он вошел как провозвестник и изобретатель космической системы радиосвязи и радиовещания, ознаменовавшей новый и значительный этап развития этой области техники на рубеже нового тысячелетия.

3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

3.1. Геофизические факторы, влияющие на распространение радиоволн

Передача радиосигналов между пунктами, расположенными на земной поверхности, осуществляется с применением разных видов распространения радиоволн, из которых наиболее характерны следующие:

- вдоль земной поверхности;
- с излучением в верхние слои атмосферы и из них обратно к поверхности Земли;
- с приемом с Земли и обратной передачей на Землю посредством космических ретрансляторов.

Распространение радиоволн вдоль земной поверхности существенно зависит от её рельефа и физических свойств. Атмосфера также оказывает влияние на передачу и прием сигналов земными радиостанциями, зависящее от целого ряда природных явлений. *Эти зависимости проявляются, в разной форме и степени при разных длинах волн.*

Поскольку радиоволны имеют ту же физическую природу, как и свет, распространение их подчинено общим для этих излучений закономерностям:

- в однородной среде волны распространяются прямолинейно;
- в средах с неоднородными свойствами происходит рефракция, т. е. отклонение траектории от прямой;
- на границах однородных сред с разными свойствами наблюдаются преломление и отражение волн;
- если на пути распространения встречаются препятствия, непроницаемые для волн, то наблюдается дифракция: огибание препятствий;
- в средах с пониженной прозрачностью, например из-за содержания в них частиц пыли или воды, происходит частичное поглощение волн.

Основными свойствами земной поверхности, оказывающими влияние на распространение над ней электромагнитных волн, помимо её рельефа, являются её электрические параметры: электропроводности и Диэлектрическая проницаемость. Влияние неровностей поверхности оказывается значительным, если их размеры сравнимы с длиной волны и превышают её. Например, горы влияют на распространение волн практически всех диапазонов,

используемых в радиосвязи, тогда как волнение морской поверхности проявляется при распространении над ней волн, длина которых составляет метры или меньше, т. е. волн диапазонов ОВЧ, УВЧ и более коротких.

От электропроводности почвы зависят потери в ней энергии волн. Если бы верхний слой её был идеально проводящим или был идеальным диэлектриком, то прохождение волн не было бы связано с потерями. В реальных условиях электромагнитные поля индуцируют в почве токи, и при их протекании выделяется тепло. Следовательно, электромагнитная энергия волн, падающих на землю или распространяющихся вдоль неё, частично поглощается.

Атмосфера состоит из трех основных областей, которые неодинаково пропускают электромагнитные волны. Эти области – тропосфера, стратосфера и ионосфера.

Тропосфера – нижняя часть атмосферы толщиной 10...18 км. С высотой температура и давление воздуха, а также содержание водяных паров в тропосфере изменяются, но газовый состав ее практически постояен: азот и кислород.

Стратосфера простирается примерно до 80 км. Признаком перехода к стратосфере является прекращение понижения температуры, которая в верхней части тропосферы падает до $-(50... 60)^{\circ}\text{C}$. В стратосфере температура до высоты около 40 км. изменяется мало, а затем примерно до высоты 60 км растет до $+80^{\circ}$ далее же опять падает. Повышение температуры объясняется поглощением энергии ультрафиолетового излучения Солнца содержащимся в воздухе озоном.

Ионосфера представляет собой обширный слой разреженного газа. Падающее на ионосферу излучение Солнца вызывает ионизацию газа, т. е. отрыв электронов от атомов. Поскольку плотность газа на больших высотах мала, вероятность встречи свободного электрона с ионизированным атомом, которая приводит к их объединению (рекомбинации) невелика. По этой причине значительная часть газа остается ионизированной, т. е. представляет собой плазму. Ионизированный газ обладает электропроводностью. Концентрация свободных электронов определяется интенсивностью ионизирующего излучения Солнца и зависит от высоты, времени суток и сезона года.

Как слой ионизированного газа, ионосфера простирается от примерно 60 до 1,5 тыс. километров, но на очень больших высотах плотность газа мала, соответственно уменьшается и количество ионов, а в итоге и их влияние на прохождение радиоволн. По этой причине существенное влияние на распространение волн оказывает только часть ионосферы до высот около 400 км. Благодаря

электропроводности ионосферы может служить космическим зеркалом, отражающим падающие на нее радиоволны.

Хотя свойства ионосферы и подвержены суточным, сезонным и иным изменениям, относительная регулярность этих изменений делает возможным использование этого слоя в постоянно действующих системах радиосвязи. В атмосфере наблюдаются и иные неоднородности и, хотя они менее регулярны, они также учитываются в построении ряда систем радиосвязи.

Волны, распространяющиеся вдоль поверхности Земли, соответственно называются поверхностными или земными.

Волны, распространяющиеся через атмосферу и отражающиеся к поверхности Земли от атмосферных неоднородностей, называются пространственными или небесными.

В третьем варианте, как уже указывалось, волны проходят через ионосферу в заатмосферное пространство и возвращаются в желательную географическую зону на поверхности Земли после обработки и усиления сигналов в бортовых ретрансляторах космических аппаратов.

3.2. Распространение волн диапазонов СЧ, НЧ и ОНЧ

Волны с длинами от 1 до 10 км, соответствующие диапазону НЧ, а также и ещё более длинные волны, превышают размеры большей части неровностей почвы и препятствий, поэтому при их распространении заметно проявляется дифракция. Благодаря дифракции волны огибают земную поверхность, холмы и даже горные хребты. Поскольку, однако, обогнув высокое препятствие, волны далее распространяются в свободном пространстве прямолинейно, возможно образование "мертвой зоны", в пределах которой прием сигналов затруднен или невозможен. Эта ситуация схематически показана на рис.3.1

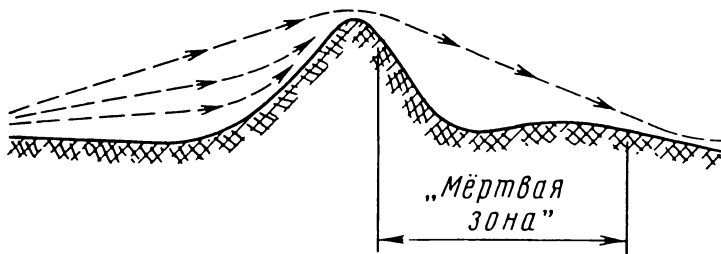


Рис. 3.1

Поверхностные волны индуцируют в почве ЭДС, создавая токи, которые преобразуются в тепло. В результате часть энергии волн поглощается. ЭДС индукции пропорциональна частоте колебаний, поэтому токи в земле, а соответственно и потери, возрастают с повышением частоты. Напротив, с понижением частоты потери энергии волн уменьшаются. По этой причине волны диапазонов НЧ и ОНЧ при одинаковой мощности излучения способны распространяться на большие расстояния, чем более короткие. При значительной мощности радиопередатчиков (десятки киловатт) напряжённость поля поверхностных волн этих диапазонов достаточна для приема сигналов на расстояниях в тысячи километров.

Пространственные волны этих же диапазонов, если они распространяются в направлении ионосферы, отражаются ею и приходят на Землю на больших расстояниях. Такие пространственные (или небесные) волны, называемые в этом случае также ионосферными, позволяют осуществлять радиосвязь на столь же больших расстояниях.

На рис.3.2 изображена траектория волн, проходящих к ионосфере из пункта А и возвращающихся после отражения к Земле, где они приходят в зону В. Однако здесь в свою очередь происходит отражение от земной поверхности и волны вновь падают на ионосферу. Отражаясь вторично, они достигают еще более отдаленной зоны С. Далее возможны и последующие подобные отражения. Такое распространение называется многоскачковым. Оно делает возможной радиосвязь на почти неограниченные расстояния.

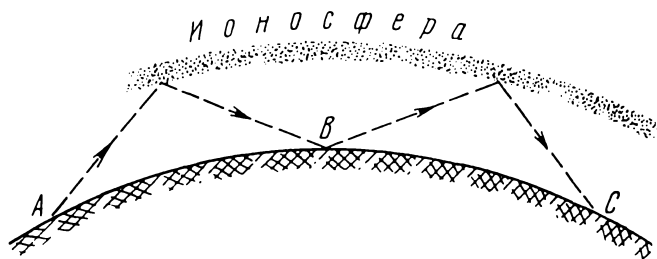


Рис. 3.2

Высота и степень ионизации отражающего слоя зависят от интенсивности солнечной радиации. Поэтому в течение суток и в разные сезоны условия распространения изменяются. На эти условия влияют также изменения солнечной активности. По этим

причинам длина траектории пространственной волны изменяется, а также изменяется и степень отражения. В итоге сигнал, проходящий в место приема, может иметь изменяющийся фазовый угол, и амплитуда его также непостоянна.

Дальнее ионосферное распространение волн может иметь для радиосвязи негативные последствия, если в зону приема одновременно приходят поверхностные и пространственные волны, как это изображено на рис.3.3. В пункте В происходит сложение волн – интерференция. При взаимном наложении интерферирующих волн амплитуда суммарных колебаний зависит от угла их взаимного сдвига по фазе, который по указанной выше причине может изменяться.



Рис. 3.3

Если волны взаимно противоположны, т. е. угол их взаимного сдвига близок к 180° то происходит их взаимное вычитание. В случае малого различия волн по величине напряженность результирующего поля падает до малых величин, в результате чего радиоприем может быть сильно затруднен или невозможен.

Явление ослабления радиосигналов вследствие различных процессов при распространении волн называется замиранием (англ. – федингом).

Распространение волн в место приема по разным путям называется многолучевым. Замирания, вызванные интерференцией при многолучевом распространении, называются интерференционными. В диапазонах НЧ и ОНЧ глубокие интерференционные замирания сравнительно редки и радиосвязь обычно устойчива.

Волны диапазона ОНЧ обладают способностью проникать на сравнительно большую глубину в поверхностный слой земли и даже в морскую воду. Это делает возможной связь в диапазоне ОНЧ с подземными и подводными объектами. Уместно напомнить цитированное в § 2.4 пророчество Айртона: «И прозвучит ответ: я в глубине шахты...».

Так как потери в почве возрастают с повышением частоты, дальность радиосвязи с помощью поверхностных волн в диапазоне СЧ меньше, чем на НЧ, и обычно не превышает 1500 км. Пространственные волны этого диапазона в дневное время сильно поглощаются в ионосфере, поэтому эффективность радиосвязи на этих волнах понижается. Ночью поглощение меньше и радиоприем при достаточно мощном излучении возможен на расстояниях 2...3 тыс. км.

Между зоной радиоприема поверхностных волн, которая называется "ближней" зоной и более отдаленной зоной приема пространственных волн – "дальней" зоной располагается территория, на которой интенсивность тех и других волн имеют одинаковый порядок величины. По этой причине здесь возможны глубокие интерференционные замирания и радиосвязь оказывается неустойчивой.

3.3. Распространение волн диапазона ВЧ

Из-за значительных потерь энергии в почве дальняя связь поверхностными волнами в диапазоне ВЧ редко превышает 100 км. Пространственное распространение волн, напротив, с повышением частоты улучшается благодаря уменьшению потерь. Причина этого состоит в высокой концентрации свободных электронов в ионизированном разреженном газе на больших высотах, что приводит к относительно высокой электропроводности слоя атмосферы и создает способность хорошо отражать к Земле падающие на него волны.

Источником отраженных волн служат колеблющиеся электроны. Воздействуя на свободные электроны, падающая волна вызывает их колебания, т. е. переменные токи; излучение волн переменными токами в ионосфере и образует отраженную волну. Процесс излучения волн благодаря изменениям направления тока был пояснен на рис.1 7 на модели, предельно упрощенной в интересах наглядности.

Ионосфера для электрического тока – проводник далеко не идеальный. Колебания электронов в ионизированном слое приводят к их столкновениям с молекулами газа. При столкновениях часть энергии, полученной электронами от электромагнитной волны, превращается в тепло. Поскольку в итоге этого процесса в тепло переходит часть энергии поля, происходит уменьшение его напряженности, а следовательно и силы сигнала, принимаемого на Земле.

При повышении частоты, т. е. при сокращении периода колебаний, расстояние свободного пробега электрона за период соответственно уменьшается. В результате уменьшается и вероятность столкновения, а следовательно уменьшается и потеря энергии волн.

Благодаря меньшему поглощению отраженная пространственная волна оказывается достаточно сильной для удовлетворительного приема сигналов при сравнительно небольшой мощности передатчика. В 20-е годы это свойство радиоволн диапазона ВЧ было открыто радиолюбителями в разных странах и позволило им устанавливать и поддерживать между собой радиосвязь на волнах короче 200 м. на расстояниях в тысячи километров при мощности передатчиков всего лишь в десятки и сотни ватт.

Отражение волн от гладкой поверхности получается, как известно, зеркальным: угол падения волн равен углу отражения. Ионосфера, в отличие от зеркала, неоднородна и неровна, поэтому волны отражаются от нее в разных направлениях, т. е. имеет место не точно зеркальное, а в существенной степени рассеянное отражение. На рис.3.4 схематически показано это свойство отраженных волн, образующих сравнительно широкий луч.

Между сравнительно небольшой зоной распространения поверхностной волны и территорией, в которую приходят пространственные волны, образуется "мертвая зона" подобно тому, как это имело место в случае, показанном на рис.3.1.

Часть энергии волн может вообще не отразиться к Земле, а распространяется в слое как в проводнике; на рис.3.4 эта траектория волны обозначена 2. Если волны испытывают в ионизированном слое недостаточное преломление, то они уходят в заатмосферное пространство; этому случаю соответствует траектория 3.

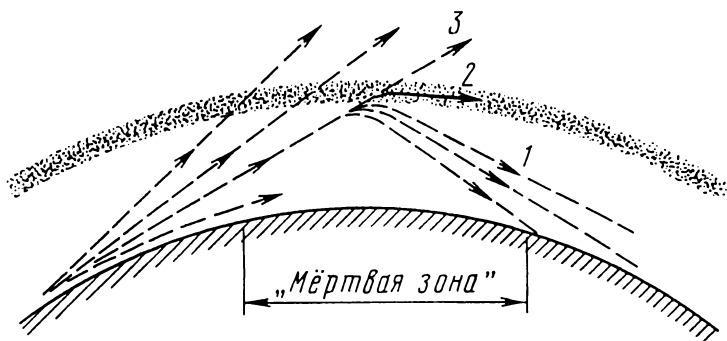


Рис. 3.4

Полная картина физических процессов при прохождении волн через ионосферу очень сложна. Одна из главных причин этой сложности состоит в том, что фактически ионосфера не представляет собой один слой, а состоит из ряда слоев, обладающих неодинаковыми свойствами. Слоистость ее объясняется в значительной мере тем, что газовый состав ее не вполне одинаков на разных высотах: более легкие газы проникают на большие высоты, а с понижением высоты увеличивается содержание более тяжелых газов.

Малая плотность атмосферы на больших высотах приводит к уменьшению числа свободных электронов, тогда как на малых высотах ионизирующее действие солнечных лучей ослаблено при прохождении их через более толстый слой воздуха.

На относительно небольших высотах 60...80 км располагается слой, обозначаемый D, в котором концентрация свободных электронов невелика. Выше располагаются слои E, F1 и на высотах 300...400 км – слой F2, для которого характерна наибольшая концентрация электронов. Состояние этих слоев сильно зависят от времени года и суток, а также от текущего состояния солнечной активности, которая изменяется с периодом 11 лет.

Волны разной длины могут отражаться в разных слоях, либо вовсе не отражаться. Отсутствие отражений наблюдается при излучении волн под большим углом по отношению к поверхности Земли и при относительно высоких частотах. Максимальная частота, при которой при данном угле наблюдается отражение, называется "максимально применимой частотой". Волны с более высокими частотами уходят в мировое пространство. Рабочую частоту выбирают несколько ниже максимально применимой.

3.4. Распространение волн диапазонов ОВЧ, УВЧ и СВЧ

Волны микроволновых диапазонов распространяются подобно свету прямолинейно. Дифракция в этих диапазонах проявляется слабо. Волны, излученные под углом к земной поверхности, уходят в заатмосферное пространство практически без изменения траектории; это свойство позволило успешно применить микроволны для космической связи.

Неспособность волн этих диапазонов огибать земную поверхность требует для радиосвязи обеспечения геометрической видимости между передающей и приемной антеннами. Как видно из рис.3.5,а и б, для выполнения этого условия необходимы достаточно высокие антенны.

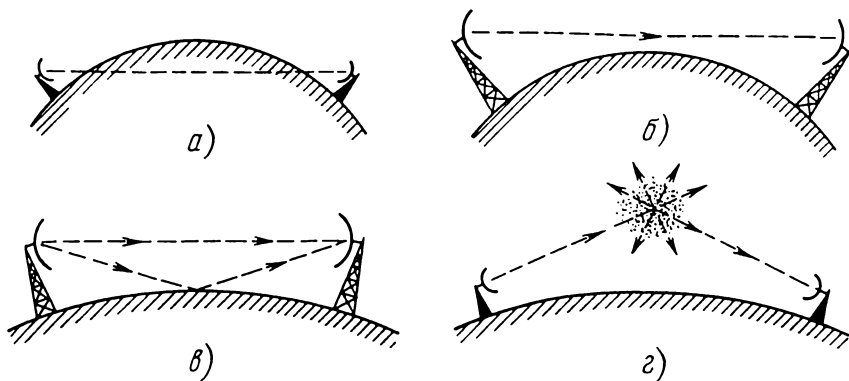


Рис. 3.5

Поскольку волны отражаются от земной поверхности, в месте приема, как видно из рис.3.5,в, возможна интерференция лучей; как следствие возникают интерференционные замирания и искажения передаваемых сообщений.

При сравнительно высокой мощности передатчиков дальность связи может значительно превышать показанную на рис.3.5,б. Влияние неровностей земной поверхности и различия почв на нижние слои воздуха, различие и соответственно неодинаковое влияние растительного покрова на отдельных участках территории, над которой распространяются волны, наличие рек и водоемов, а также поселков и инженерных сооружений и пр. ведет к образованию в атмосфере зон с различной температурой и влажностью, локальных потоков воздуха и т.п. В этих зонах, возникающих на высотах до нескольких километров, происходит рассеяние волн, как это схематически показано на рис.3.5,г. В этом случае часть энергии волн достигает пунктов, отстоящих от передающей антенны на расстояние, в несколько раз превосходящее дальность геометрической видимости.

При значительной мощности передатчика, остро направленных антеннах и приемнике с высокой чувствительностью рассеяние волн в тропосферных неоднородностях на высотах 2...3 км. позволяет получить радиосвязь на расстояниях в сотни километров, что в 5–10 раз больше расстояния геометрической видимости.

Неоднородности существуют и на больших высотах, в ионосфере; здесь они проявляются в неравномерности концентрации свободных электронов и в них тоже происходит рассеяние волн. При достаточно большой мощности передатчика ионосферное рассеяние волн позволяет получить устойчивую радиосвязь на расстояниях 1...2 тыс. км.

Существуют и другие виды дальнего распространения волн, преимущественно диапазонов УВЧ и СВЧ. Они проявляются при образовании в атмосфере протяженных и сравнительно четко выраженных неоднородностей в виде слоя. Волны распространяются внутри подобного слоя, последовательно отражаясь от его границ, либо между поверхностью земли и нижней границей слоя. Эти два случая схематически изображены на рис.3.6.

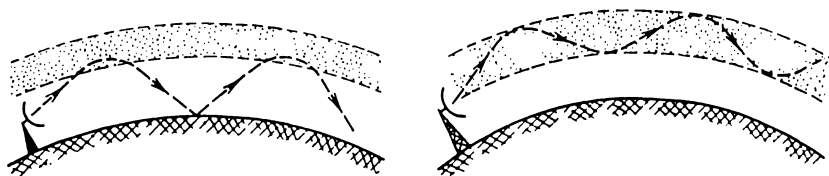


Рис. 3.6

Еще один вид дальнего распространения в микроволновых диапазонах – отражение от следов метеоров.

В атмосферу непрерывно проникают, сгорая в ней, потоки небольших метеоров. Этот процесс тоже имеет следствием возникновение неоднородностей (в отличие от предыдущих – временных), способных эффективно отражать волны; поскольку он неравномерен во времени, условия распространения хаотично изменяются. По этой причине метеорное распространение волн применяется в специальных системах радиосвязи, учитывающих его специфические особенности.

3.5. Помехи радиосвязи

Современное глобальное развитие радиосвязи стало возможным благодаря тщательному и строгому регулированию распределения и использования радиоволн. Каждая радиолиния занимает полосу частот, отведенную ей на основании международных соглашений и решений национальных администраций связи. Принимаются меры, чтобы передатчик не излучал колебаний с частотами за пределами отведенной ему полосы. Приемник конструируется так, чтобы при приеме радиосигналов в этой полосе частот он не реагировал на колебания, частоты которых выше или ниже ее границ. Таким образом реализуется важнейший ресурс развития радиосвязи – частотный ресурс: частотное разделение излучений и частотная селекция сигналов при радиоприеме.

Помимо принимаемого радиосигнала на приемник действуют посторонние колебания различного происхождения – радиопоме-

хи, частотные спектры которых могут захватывать полосу, отведенную для данной линии радиосвязи. Они могут вызвать искажения принимаемых сообщений. При радиотелефонной связи они могут проявляться в виде щелчков, треска и шума, ухудшающих разборчивость речевых сообщений; приемный телеграфный аппарат печатает неверные знаки; на бланке факсимильного аппарата получают лишние линии, портящие изображение. Эти посторонние колебания, называемые *радиопомехами*, могут быть по интенсивности сравнимыми с радиосигналами от нужного корреспондента или превосходить его; в этом случае правильный прием переданных сообщений обычно оказывается либо сильно затрудненным, либо невозможным.

Основным способом ослабления и устранения действия помех на радиосвязь служит частотная фильтрация, но она оказывается неэффективной если спектр помех накладывается на спектр передаваемых радиосигналов.

Наиболее характерными видами помех являются следующие:

1. *Посторонние радиосигналы.* Поскольку потребность в радиосвязи очень велика, а диапазоны радиочастот не безграничны, реализация в полной мере частотного разделения не удается и приходится допускать одновременное использование одних и тех же частот на многих линиях радиосвязи. Чтобы избежать взаимных помех общие частоты применяют на отдаленных друг от друга радиолиниях; кроме того, применяют остронаправленные антенны.

Направленность передающих антенн позволяет сосредоточить излучение на территории, на которой находится принимающий корреспондент, и не создавать помехи приемным радиостанциям на других территориях. Направленность приемных антенн позволяет исключить возможность приема радиоволн, приходящих в место приема с направлений, не совпадающих с направлением в котором находится нужный корреспондент. Таким образом реализуется ресурс развития радиосвязи, называемый пространственной селекцией.

2. *Побочные излучения радиопередающих устройств.* Работая на отведенной ему частоте, передатчик может создавать одновременно излучения волн с другими частотами. Для того, чтобы избежать побочных излучений, необходимо чтобы несущие колебания передающих радиостанций были моногармоническими, синусоидальными. В реальных условиях эти колебания получают посредством мощных электронных усилителей. Характеристики электронных приборов, применяемых для усиления в передатчиках, нелинейны; усиливаемые колебания в них отличаются от синусоидальных. Вследствие этого спектр несущих колебаний, наря-

ду с основной синусоидальной составляющей нужной частоты, содержит составляющие с удвоенной, утроенной и другими частотами – так называемые гармоники. Хотя гармоники ослабляются в цепях передатчика, обладающих свойством частотной фильтрации, они могут частично проникать в антенну и создавать излучения волн – побочные излучения. Помимо гармоник, возможны побочные излучения и с другими частотами.

Если частоты побочных излучений совпадают с частотами, выделенными другим радиоприемникам, то возможны помехи этим приемникам. При конструировании радиопередатчиков принимаются меры к ослаблению до минимума побочных излучений.

3. *Атмосферные помехи.* Электрические явления в атмосфере, особенно молния, создают электромагнитные волны, далеко распространяющиеся во всех направлениях и оказывающие влияние на прием нужных радиосигналов. Спектры атмосферных помех в разных частотных диапазонах неодинаковы: уровень их растет с понижением частоты, поэтому вредное влияние этих помех заметно проявляется в диапазонах СЧ и НЧ. На ВЧ и, тем более, в микроволновых диапазонах их влияние на радиосвязь проявляется в значительно меньшей степени.

4. *Индустриальные помехи.* Эти помехи могут вызываться электромагнитными излучениями промышленных, транспортных, медицинских, научных, бытовых и прочих электрических установок. Они возникают главным образом при наличии электрических искр, дуги, либо при резких изменениях тока в электрических цепях. В этой связи уместно напомнить, что на первых этапах столетнего развития радиотехники излучения в результате электрических искр и дуги использовались в передатчиках радиосигналов. Соответственно и паразитные излучения современных электрических устройств, в которых происходят аналогичные процессы, могут распространяться по соединенным с этими устройствами проводам на большие расстояния, излучаться в окружающее пространство и действовать на антенны радиоприемных устройств. Количество электрических устройств всевозможных назначений огромно и продолжает расти. Если не принимать меры, то они могли бы сделать радиосвязь практически невозможной. Поэтому индустриальные помехи устраняются в местах их возникновения. Каждый техник, разрабатывающий, устанавливающий и эксплуатирующий электрические устройства и сети, обязан знать сущность процессов, ведущих к образованию радиопомех, и принимать меры к их ликвидации. Но полностью избежать индустриальных помех не удастся: для этого потребовались бы слишком сложные и дорогостоящие мероприятия и устройства. Исходя из экономических со-

ображений, международные организации и национальные ведомства устанавливают для индустриальных помех предельные нормы, превышение которых рассматривается как нарушение закона.

Как и атмосферные помехи, индустриальные помехи проявляются в микроволновых диапазонах в меньшей мере, чем в диапазонах более длинных волн.

5. *Внутренние шумы радиоприемника.* К помехам этого вида относятся устранимые и неустрашимые электрические колебания, возникающие в самом приемнике.

Устранимыми являются переменные токи, связанные с недостаточным сглаживанием питающих напряжений в выпрямителях при питании приемников от электросети переменного тока: колебания напряжений, вызываемые неудовлетворительным качеством контактов в некоторых электрических цепях и т. п. В правильно сконструированном приемнике эти помехи не играют существенной роли.

Неустрашимыми являются так называемые *флуктуационные шумы*, возникающие в электронных приборах, применяемых для усиления и преобразования сигналов, – в транзисторах, диодах и др. а также и вообще во всех цепях приемника. Причина флуктуационных шумов состоит в том, что токи представляют собой не идеально равномерный процесс, а потоки частиц – электронов. Плотность этих потоков хаотически изменяется (флуктуирует) из-за теплового движения зарядов в электрических цепях и из-за неравномерности испускания их эмиттерами в электронных приборах.

Внутренние шумы приемников проявляются во всех частотных диапазонах. Роль их особенно возрастает в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ потому, что в этих диапазонах интенсивность атмосферных и индустриальных помех уменьшается настолько, что флуктуационные шумы становятся главным видом помех.

Наибольшее значение имеют шумы во входных и ближайших к антенне цепях, поскольку они усиливаются во всех последующих звеньях приемника. Для ослабления этих шумов при разработке радиоприемников для слабых сигналов необходим тщательный выбор типов электронных приборов. Для обеспечения приема особенно слабых сигналов, например в космической радиоаппаратуре, тепловые шумы ослабляют применяя криогенное охлаждение ближайших к антенне узлов конструкций.

6. *Космические шумы.* Эти помехи вызываются радиоизлучениями из заатмосферного пространства. Например, с солнечными пятнами связано интенсивное радиоизлучение солнца в диапазоне метровых волн. Заметные излучения приходят со стороны

некоторых созвездий и туманностей. Этот вид радиопомех особенно важно учитывать при создании и эксплуатации систем космической радиосвязи.

Самый простой по идее способ борьбы с помехами в радиосвязи состоит в обеспечении в месте приема такой мощности сигнала от передатчика, которая будет во много раз превышать мощность помех. К этому способу прибегают в радиовещании, так как в этом случае один передатчик одновременно обслуживает миллионы приемников; по экономическим и социальным соображениям целесообразно идти на удорожание передатчика, чтобы население могло пользоваться сравнительно дешевыми приемниками.

В системах радиосвязи каждая передающая радиостанция одновременно связана всего лишь с одним или несколькими радиоприемными устройствами. В этих условиях оказывается выгоднее усложнять формы радиосигналов и соответственно способы их обработки при радиоприеме, а также применять в приемнике различные специальные меры для ослабления искажений сигналов помехами. Эти меры придают системе свойство, называемое помехоустойчивостью и состоящее в том, что приемник не реагирует на основные виды помех, разумеется, если их мощность не превышает некоторый предел.

4. ФИКСИРОВАННАЯ И ПОДВИЖНАЯ РАДИОСВЯЗЬ В ДИАПАЗОНЕ ВЧ

4.1. Значение и особенности ВЧ радиосвязи

Для того чтобы обеспечить достаточно уверенную передачу информации на больших территориях, применяются одновременно различные системы и технические средства связи, обеспечивающие в совокупности достаточно высокую надежность информационных связей страны.

Радиосвязь в диапазоне ВЧ играет важную роль как средство магистральной внутренней и международной, зоновой, подвижной и производственно-диспетчерской связи общего и ведомственного пользования. Она обеспечивает магистральную, зоновую и местную радиосвязь, сеть радиовещания, службу стандартных частот, служебные линии для земных станций спутниковой связи, авиационную связь земля-воздух, морскую связь берег-судно, дипломатические службы, службы агентств новостей, службу радиосвязи железнодорожного транспорта, военную связь берег-судно и земля-воздух, межсудовую связь в морском флоте, сеть радиосвязи Гидрометеослужбы, различные наземные подвижные радиослужбы, любительскую радиосвязь.

Несмотря на то, что в условиях быстрого развития высокоэффективных кабельных, радиорелейных и спутниковых линий связи удельный вес ВЧ радиосвязи понизился, сохраняется необходимость ее технического совершенствования. Основанием для этого является правильная оценка ВЧ радиосвязи, учитывающая ее технический потенциал, народно-хозяйственное значение и экономическую эффективность, а также ее стратегическую роль как необходимого резерва.

За долгие годы существования ВЧ радиосвязи неоднократно высказывалось мнение, что другие виды связи полностью ее вытеснят. Действительно, во многих странах автоматизированная сеть связи строится на основе высокоэффективных кабельных и радиорелейных магистралей. В ближайшем будущем развитие волоконно-оптических линий, вероятно, снимет многие ограничения в увеличении пропускной способности сетей связи. Проблемы связи с малонаселенными территориями, отдаленными или отделенными от промышленных центров труднопроходимой местностью, смогут решать спутниковые системы связи. Быстро растет роль спутников и в сетях подвижной связи. В итоге, в условиях

развитой и нормально функционирующей общегосударственной и межгосударственной системы связи удельный вес ВЧ радиосвязи в общем объеме передачи информации существенно уменьшается.

Однако вопрос об отмирании в обозримом будущем ВЧ радиосвязи не стоит практически ни в одной стране мира; напротив, хотя последние годы характеризуются бурным развитием микроволновых средств дальней связи, увеличивается внимание к ее технической реконструкции. Существенной причиной сохранения и развития ВЧ радиосвязи является ее правильная оценка как крайне важного резервного средства. Это определяется рядом свойств ВЧ радиосвязи, которые делают ее в определенных условиях незаменимой. Например, повреждение отдельных промежуточных станций радиорелейных линий при стихийных бедствиях или по другим причинам, а также выход из строя спутника могут привести к очень большим трудностям в общегосударственной сети связи или к полному нарушению ее функционирования на значительных участках территории. В аналогичных условиях ВЧ радиосвязь может быть восстановлена в кратчайшие сроки при наименьших затратах. При катастрофическом возникновении сильной ионизации атмосферы ВЧ радиосвязь, по-видимому, нарушается не в большей мере, чем другие радиотехнические системы, адаптируется же и восстанавливается быстрее других систем. Следует иметь в виду также, что ВЧ радиосвязь играет определенную роль в обеспечении спутниковой связи наземными средствами: служебной, сигнализации и синхронизации. ВЧ радиосвязь широко применяется в целом ряде отраслей народного хозяйства, т. е. она остается важным звеном комплексной общегосударственной сети связи страны.

Высокочастотная связь на больших расстояниях с помощью мобильных станций небольшой мощности во многих случаях имеет значительное экономическое и тактическое преимущество перед проводной или радиорелейной. Однако, из-за замираний сигнала при ионосферном распространении и наличия "зон молчания" надежность канала ВЧ связи может быть недостаточно высокой, а в отдельных случаях и очень низкой. Если команды управления большой региональной системы передавать только по ВЧ каналам, то искажения информации при передаче обернутся в этих случаях существенными потерями. Именно поэтому ВЧ радиосвязь широко применяют в качестве резервной для более надежных систем связи. Роль ее существенно возрастает в условиях, когда не исключена возможность чрезвычайных ситуаций: пожаров, землетрясений, наводнений, селей и т. д. Живучесть ВЧ связи в этих условиях намного выше, чем проводной и радиорелейной.

Современный этап развития ВЧ связи характеризуется совершенствованием ее технических средств, целью этого этапа должна быть максимальная степень автоматизации и адаптации к изменяющимся характеристикам каналов передачи информации. Автоматическое управление радиосвязью потребовало разработки автоматизированных радиоприемных и радиопередающих центров. Автоматизация радиочастот повышает надежность радиосвязи, предотвращает или сокращает перерывы связи, сокращает время подготовки аппаратуры к работе, повышает экономичность системы связи при длительном отсутствии нагрузки и работе в ждущем режиме. Оборудование автоматизированных центров можно размещать в защищенных, упрощенных и удешевленных помещениях; отпадает необходимость в жилых и подсобных помещениях. Автоматизация и устранение обслуживающего персонала требует высокой надежности и резервирования как основного, так и дополнительного оборудования.

Высокочастотная радиосвязь наряду со спутниковой остается одним из видов межконтинентальной связи как экономичный способ организации дальней радиосвязи. Системы связи в микроволновых диапазонах экономичны только при одновременной передаче нескольких сотен и тысяч телефонных каналов. В этом случае стоимость одного телефонного канала, определенная как результат деления общих капитальных и эксплуатационных расходов, затраченных на систему связи, на число каналов оказывается сравнительно небольшой.

Во многих случаях (связь с отдаленными районами, с кораблями или самолетами и т.д.) не требуется большого числа каналов. При этом ВЧ радиоаппаратура для передачи одного-двух телефонных разговоров или работы нескольких десятков телеграфных аппаратов обходится сравнительно недорого. К тому же, несмотря на многочисленность зарегистрированных радиостанций, сохраняется резерв в использовании пропускной способности ВЧ диапазона.

Поскольку потребность в числе каналов растет, а частотная емкость ВЧ диапазона ограничена, международная комиссия по радиочастотам разделила земной шар на 10 зон (70 подзон). Зоны отделены друг от друга территориально и используются с разделением по времени суток, что дает возможность использовать одни и те же частоты многократно. Так, каждый килогерц диапазона 1,5...30 МГц используется в 20–30 официальных частотных присвоениях. Зоновые радиолинии состоят из внутризональных и местных. В конкретных регионах принципы зонного деления территории для организации радиосвязи могут несколько различаться.

Здесь и ниже термином "зона" будем обозначать район земной поверхности с размерами примерно 500x500 км. Находящиеся или строящиеся в этом районе предприятия имеют взаимные хозяйственные связи, и поэтому при построении сети обычно требуется обеспечить связь между пунктами по способу "каждый с каждым". Можно привести ряд примеров возможных зон. Большие, труднодоступные пространства, сильно пересеченная, изобилующая реками, болотами, малонаселенная местность островных регионов затрудняют и часто делают невозможными или неэкономичными строительство и эксплуатацию проводных и радиорелейных линий связи. В итоге соответствующей технико-экономической проработки оказывается целесообразным использование зоновой ВЧ радиосвязи и в ряде центральных районов.

Большое число сетей ВЧ радиосвязи различается структурами (радиальные, кустовые, линейные, звездные, радиально-кольцевые и др.), числом радиостанций и каналов связи, скоростью передачи информации, размерами обслуживаемых зон, дальностью действия, типами используемого оборудования, степенью автоматизации управления и другими показателями.

4.2. Сигналы и помехи в ВЧ радиоприемах

Для дальнего ионосферного распространения радиоволн в диапазоне ВЧ характерно явление замираний сигнала на входе радиоприемника. Сигнал распространяется по нескольким путям. Во-первых, в пункте приема обнаруживаются лучи, которые распространяются путем отражений от ионосферы и земной поверхности. Во-вторых, передающая антенна излучает волны в более или менее широком угле, поэтому на ионосферу падает, в сущности, не один луч, а как бы пучок лучей. Эти лучи отражаются при различной глубине проникновения в ионизированный слой и достигают поверхности Земли в различных точках. В-третьих, неизбежные неоднородности в ионосфере приводят к тому, что вместо зеркального отражения возникают диффузионные отражения; в итоге луч при выходе из ионосферы содержит множество элементарных лучей и угловой раствор этого пучка достигает нескольких градусов; в место приема попадает совокупность лучей из различных пучков. Интерференция этих лучей приводит к явлению замираний. Вследствие многолучевого распространения и разностей хода лучей при прохождении сигнала от передатчика к приемнику сигнал в антенне представляет сумму отдельных колеба-

ний с разными фазами и амплитудами, что обуславливает флуктуации амплитуд и фаз составляющих.

В реальных каналах время распространения и интенсивность каждого луча изменяются сравнительно медленно, и на протяжении длительности, например, одного элементарного сигнала радиотелеграфного сообщения их можно считать неизменными. Такие замирания называют медленными. Причины замираний на трассах разной протяженности соответственно различны. Согласно экспериментальным данным на трассах протяженностью от 1000 до 2000 км замирания определяются чаще всего интерференцией соизмеримых по уровню лучей, а на трассах протяженностью от 2000 до 3000 км преобладает один луч (1F) и замирания вызываются неоднородностью отражающего слоя ионосферы.

В ВЧ радиосвязи применяют различные виды сигналов, непрерывных и дискретных. Отличительной особенностью радиотелеграфной передачи является кодирование сообщения. Каждый отдельный передаваемый символ (буква алфавита, цифра, знак) имеет свою кодовую комбинацию элементарных посылок. Кодированное сообщение преобразуется в радиосигнал путем манипуляции колебаний передатчика. В зависимости от параметра несущих колебаний, который подвергают манипуляции, различают амплитудную, частотную и фазовую манипуляции. Широко применяется многоканальная тональная телеграфия в одной боковой полосе с ослабленной и подавленной несущими; многоканальная тональная телеграфия в двух независимых боковых полосах с ослабленной несущей. Для передачи телефонных сообщений в радиосвязи используются следующие виды сигналов: двухполосная амплитудная телефония с полной несущей; однополосная телефония с полной, ослабленной, и подавленной несущими; телефония в двух независимых боковых полосах. Применяется также однополосная комбинированная передача телефонии и телеграфии в независимых боковых полосах.

Существенное влияние на надежность связи в любом диапазоне радиоволн оказывают действующие в радиоканале помехи. Источники помех многочисленны и разнообразны. По происхождению помехи можно подразделить на естественные и искусственные. Естественные помехи создаются главным образом электромагнитными процессами в земной атмосфере: грозовые разряды и др. Мощными источниками помех являются космос и тропосфера. Искусственные помехи могут создаваться многочисленными промышленными установками (индустриальные помехи), излучениями посторонних радиостанций (непреднамеренные и специ-

ально организованные) и т. д. Внутренние помехи радиоаппаратуры в основном обусловлены внутренними шумами.

Таким образом, в реальных условиях прием полезного сигнала происходит в присутствии исключительно разнообразных по виду помех, каждая из которых имеет специфические особенности. Учет всех этих индивидуальных свойств различных помех – задача неразрешимая. При исследовании помехоустойчивости связи реально действующие помехи заменяют специальными моделями помех. Такие модели, с одной стороны, идеализируют большую часть наблюдаемых помех, а с другой стороны, позволяют математически оценить влияние помех на прием радиосигналов.

Большинство помех, действующих в реальном канале, можно представить с помощью четырех моделей: импульсной, квазиимпульсной, сосредоточенной и флуктуационной. В дальнейшем вместо выражения "модель помехи" будем говорить просто помеха.

Основной вид помех в ВЧ диапазоне – это сосредоточенные помехи. Под сосредоточенной понимают помеху, энергетический спектр которой сосредоточен в узкой частотной области. Обычно ширина спектра сосредоточенной помехи соизмерима или даже значительно уже полосы частот полезного сигнала. В основном сосредоточенные помехи обусловлены сигналами посторонних радиостанций. Кроме того, их могут создавать различные генераторы высоких частот, а также они могут возникать в самой радиоаппаратуре (комбинационные помехи, переходные помехи в многоканальной связи и т. д.).

Сосредоточенные помехи можно разделить на две основные группы: внутрисполосные помехи, попадающие в полосу пропускания приемника, и внеполосные помехи. Внутрисполосные помехи могут возникать как в самом приемнике, так и попадать на его вход извне. Борьбу с возникающими в приемнике внутрисполосными помехами ведут путем совершенствования радиоприемной аппаратуры; борьба с помехами, попадающими извне, основана на использовании различия в статистических свойствах помех и полезного сигнала.

Внеполосные сосредоточенные помехи – это в основном сигналы посторонних радиостанций. Такие помехи при приеме подавляются применением высокоэффективных селективных цепей и усилителей с линейной амплитудной характеристикой.

Условия распространения сосредоточенных помех и полезных сигналов близки между собой, поэтому статистические характеристики таких помех подобны характеристикам полезного сигнала и зависят от конкретных условий связи. Определяющая роль сосредоточенных помех в ВЧ диапазоне объясняется его высокой

загрузкой, а также большой дальностью распространения коротких волн. Обычно радиосвязь организуют на частотах, близких к оптимальным, диапазон которых весьма ограничен. Это приводит к увеличению числа станций, работающих на близких частотах, что усложняет электромагнитную обстановку в ВЧ диапазоне.

Помимо сосредоточенных помех от соседних станций в ВЧ диапазоне существенное значение имеют флуктуационные помехи. Флуктуационная помеха неизбежно присутствует во всех реальных радиоустройствах в виде тепловых шумов. Сумма любых помех от различных источников также имеет характер флуктуационной помехи. Флуктуационный характер, как уже отмечалось, могут иметь стационарные помехи в условиях многих одновременно работающих станций. Некоторые промышленные установки, а также станции преднамеренных помех могут служить причинами флуктуационных воздействий. Космические помехи, а также многие виды атмосферных помех имеют флуктуационный характер. И наконец, целый ряд помех при прохождении через радиоприемник нормализуются и приобретают свойства нормальной флуктуационной помехи.

Таким образом, ВЧ радиосвязь отличается сложностью и нестационарностью условий распространения радиоволн и помеховых ситуаций. Для обеспечения устойчивой ионосферной радиосвязи в ВЧ диапазоне волн требуется применение адаптивных устройств, входящих в системы связи. Адаптация предполагает автоматическую смену используемых длин волн для перехода в диапазоны с лучшим распространением и минимальными помехами; регулирование мощности передатчиков для улучшения условий электромагнитной совместимости и экономии электроэнергии; применение антенн с автоматической регулировкой диаграммы направленности; повышение устойчивости приема; прием с различными видами разнесения; использование помехозащитного кодирования и информационной обратной связи; передачу по параллельным каналам и т. д.

4.3. Структура автоматизированной сети ВЧ радиосвязи

Как уже отмечалось в § 4.1, сеть ВЧ радиосвязи должна быть полностью автоматизированной, работающей в адаптивном режиме, т. е. способной обеспечивать оптимальные показатели качества передачи сообщений при неблагоприятных изменениях условий распространения радиоволн и при усилении действия радиопомех. Автоматизированная адаптивная система должна обладать способностью прогнозировать изменение своего состояния.



Рис. 4.1

Укрупненная структурная схема адаптивной автоматизированной системы ВЧ радиосвязи показана на рис.4.1. Ее составными частями являются: подсистема контроля, основывающаяся на датчиках состояния связи; подсистема управления, включающая в себя компьютер, который принимает решения о процессах адаптивного управления, блок формирования команд управления параметрами и алгоритмами системы и контура адаптивного управления; собственно система радиосвязи. Датчики состояния вырабатывают оперативную информацию о прохождении радиоволн, помеховой обстановке, состоянии радиосредств, показателях качества каналов связи.

По показаниям датчиков состояния в системе управления определяется влияние различных параметров на качество радиосвязи для адаптивного управления отдельными звеньями и всей системой в целом. Таким образом, к обобщенным функциям системы управления можно отнести: контроль за текущим состоянием объектов, основывающийся на сборе и информационной обработке контролируемых параметров; определение степени несоответствия значений текущих параметров заданным; принятие решения

об изменениях в системе; исполнение решения; автоматическое слежение за основными параметрами системы для прогнозирования их изменений и т.д. Система управления реализуется на основе быстродействующей вычислительной техники с достаточно большим объемом памяти. Для принятия решений об адаптивных изменениях параметров сети связи необходимы эффективные алгоритмы обработки данных от датчиков состояния системы.

Возможны два основных варианта построения адаптивной системы. В первом экстремум или пороговое значение глобального показателя качества находят путем постоянных пробных изменений параметров или алгоритмов функционирования системы. В таких системах необходимо время на поиск оптимального решения, однако, алгоритм обработки данных более прост и требует меньшего количества информации для поиска оптимального решения. Во втором варианте изменения в системе радиосвязи производятся в результате аналитического определения условий, при которых она обеспечивает экстремум критерия качества. В такой системе также необходимо время для оптимального решения, однако в течение этого времени связь не нарушается. Первый вариант построения адаптивной системы в литературе называют поисковым, второй – беспоисковым.

В ВЧ радиосвязи применяют в основном беспоисковые адаптивные системы, содержащие модель системы, в которую заложена информация о ее динамических характеристиках. Применение модели позволяет осуществить необходимую адаптацию системы достаточно простыми средствами и получить существенный выигрыш во времени; при этом управление на моделях по сравнению с управлением на объектах не связано с неизбежными потерями времени на поиск оптимума.

Бспоисковые самонастраивающиеся системы используют в основном две модели системы связи: эталонную и настраиваемую. В системах с эталонной моделью адаптивные изменения осуществляются непосредственно, исходя из анализа состояния этой модели и показаний датчиков состояния радиосвязи. В системах с настраиваемой моделью осуществляются предварительная идентификация параметров модели и последующая подстройка системы на основе информации о параметрах модели.

Использование эталонной модели в автоматизированной системе ВЧ связи затруднено из-за чрезвычайной сложности создания точной модели такой системы. Поэтому при разработке автоматизированных ВЧ систем, по-видимому, предпочтительны адаптивные системы с настраиваемой моделью.

Собственно система связи в схеме рис.4.1 включает в себя объект управления – сеть абонентских станций и среду, оказывающую влияние на характеристики объекта управления. В автоматизированной сети радиосвязи можно выделить три контура адаптивного управления: параметрический, алгоритмический и структурный. Параметрическая адаптация достигается изменением параметров системы связи. При ней можно управлять мощностью передатчика, осуществлять переход на рабочие частоты с меньшим помеховым фоном и лучшим распространением, изменять скорость передачи дискретных сообщений в отдельных каналах, изменять диаграммы направленности антенн в азимутальной плоскости, выбирать способ модуляции сигнала и т.д. Эти меры обеспечивают приспособление системы радиосвязи к локальным условиям и критериям качества функционирования отдельных каналов.

Условия ЭМС могут потребовать перехода на уровне параметрической адаптации к адаптивным управлениям, когда обеспечивается совокупное управление параметрами системы по оценке глобального показателя качества.

Причины отклонения параметров состояния связи от желательных норм могут превысить уровень компетенции системы управления в контуре параметрической адаптации. В таком случае заявка на обслуживание абонентов должна передаваться на более высокий уровень обслуживания. Этого можно добиться изменениями в алгоритме функционирования системы радиосвязи, т. е. алгоритмической адаптацией.

Изменения окружающей среды все же могут быть настолько существенными, что адаптационные механизмы на параметрическом и алгоритмическом уровнях не могут обеспечить нормальное функционирование системы, определяемое заданным показателем качества. В этом случае система связи становится непригодной для выполнения заданных функций и поэтому должна обладать адаптационным механизмом еще более высокого уровня, обеспечивающим целенаправленное изменение самой структуры системы. Этот уровень адаптации называют структурным. Структурная адаптация включает и параметрическую, и алгоритмическую, а алгоритмическая адаптация – параметрическую (см. рис. 4.1) Поэтому нет смысла рассматривать адаптацию высшего уровня в отрыве от низших.

4.4. Магистральная ВЧ радиосвязь

Магистральная радиосвязь – это связь между двумя пунктами, удаленными на расстояние около 10000 км и более; при этом радиосвязь осуществляется либо без ретрансляции сигнала, либо с ретрансляцией в одном или двух промежуточных пунктах. Основные особенности магистральных линий связи – их большая протяженность и высокие требования к качеству передачи информации. По магистральным линиям связи обычно передаются наиболее важные сообщения специального и коммерческого характера.

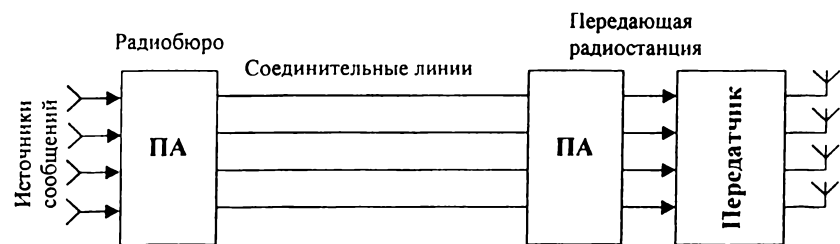
Магистральная линия ВЧ радиосвязи состоит из тракта передачи сигналов, среды распространения радиоволн и тракта приема сигналов. Обычно в магистральной линии, занимающей полосу частот с определенной средней рабочей частотой, образуется несколько параллельно действующих каналов радиосвязи от ряда источников сообщений: телефона, телетайпа, телефакса и т.д. Электрические сигналы от источников сообщений в тракте передачи сигналов передаются в радиобюро (рис.4.2, а), где в промежуточной аппаратуре ПА преобразуются в форму, пригодную для передачи по соединительной линии к передающей радиостанции. На этой радиостанции переданные по соединительной линии сигналы восстанавливаются в ПА и используются для управления высокочастотными колебаниями передатчика.

Электромагнитные волны, излучаемые передающей антенной передатчика в среду распространения, принимаются антенной приемной радиостанции (рис.4.2, б). После обработки радиосигнала в радиоприемном устройстве и преобразования в ПА принятые сигналы по соединительной линии передаются в радиобюро, где опять восстанавливаются в ПА и распределяются по абонентам. Как правило, за каждой радиолинией закрепляется определенный комплект аппаратуры: приемник, передатчик, промежуточная аппаратура, соединительная линия. Конкретная реализация трактов передачи и приема определяется видом передаваемой информации и типом используемой аппаратуры. Радиобюро обеспечивает согласование работы всех составных элементов радиоканала. В радиобюро находятся устройства контроля качества принимаемых и передаваемых сигналов, аппаратура служебной связи с радиоцентрами и арендаторами радиоканалов. Соединительные линии могут быть одноканальными и многоканальными, проводными, кабельными и радиорелейными.

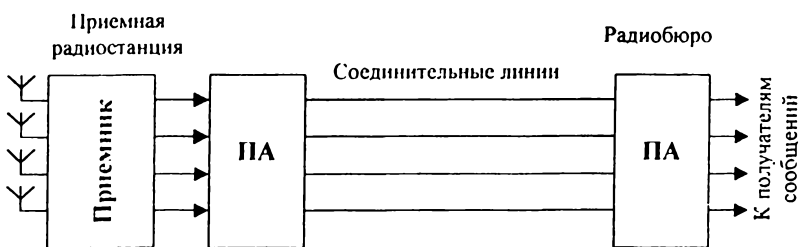
На магистральных линиях связи используются передатчики больших мощностей. Если приемники расположить вблизи таких передатчиков, то уровень помех на входе РПУ от передатчика мо-

жет превысить уровень полезного сигнала, при этом прием сигнала может быть затруднен, либо полностью исключен. Это явление особенно проявляется при одновременной организации нескольких линий радиосвязи. По этой причине передающие радиостанции, обычно образующие передающий радиоцентр, удаляются от приемных радиостанций – приемного радиоцентра – на несколько десятков километров. К тому же для уменьшения помех приемный радиоцентр, как правило, выносится за пределы города, размещается вдали от железных дорог и линий электропередачи.

Поскольку радиобюро располагают по возможности ближе к источникам и потребителям сообщений; радиобюро, приемный и передающий радиоцентры оказываются удаленными друг от друга на значительные расстояния, что обуславливает необходимость соединительных линий между радиобюро и радиоцентрами. Наличие соединительных линий значительной протяженности в свою очередь обуславливает необходимость преобразования сигналов в форму, при которой они передаются без искажений. Для этих целей в ПА предусматриваются усилители, корректоры, тональные манипуляторы и другие преобразователи сигналов; широко используются каналы тонального телеграфирования.



а)



б)

Рис. 4.2

Работа технических средств магистральных линий ВЧ радиосвязи производится по расписанию, в котором указывается время работы каждого канала, рабочая частота и ее резерв, вид сигнала (класс излучения), позывные, номера оборудования и т.д. При составлении расписания используются данные прогноза распространения радиоволн. Выбор рабочих частот согласуется с разрешениями Государственной инспекцией электросвязи для данной линии радиосвязи. Необходимая мощность передатчика зависит как от протяженности радиолинии и вида передаваемых сигналов, так и от условий распространения и помеховой обстановки.

4.5. Особенности и структура зонной радиосвязи с вынесенным ретранслятором

Реализовать сети зонной радиосвязи между абонентами можно традиционным способом, напрямую, т.е. по принципу "каждый с каждым". Однако радиосвязь между станциями ВЧ диапазона расположенными на расстояниях 100...500 км друг от друга, осуществляется с большими трудностями [4.1]. Низкие надежность и помехоустойчивость обусловлены известными свойствами распространения декаметровых волн. Известно, что распространение радиоволн на трассах короче 2000 км, как правило, – двухлучевое с отражением от ионосферных слоев F1, F2 и E. По мере уменьшения длины трассы / приходится понижать рабочую частоту, вследствие чего увеличивается влияние слоя E. Разность времен прихода лучей к месту приема (в дальнейшем эту величину будем называть временем задержки t_3) при $l=2000$ км в среднем не превышает 2 мс, но по мере уменьшения / значение t_3 увеличивается, и это увеличение особенно заметно при $l < 1000$ км.

Прием телеграфных сигналов при двухлучевом распространении с заметным значением t_3 сопровождается искажением краев посылок на глубину t_3 .

Если потребовать, чтобы каждая посылка имела в середине неискаженную зону, составляющую хотя бы 20% длины посылки, то максимальная допустимая скорость телеграфирования $V_{T \max} \approx 1/2,5t_3$. Следовательно, даже если не принимать в расчет экстремальные значения t_3 , скорость $V_T=200$ Бод можно использовать при $l > 1500...2000$ км. При $l < 400$ км $V_T < 100$ Бод. Возможность появления максимальных значений t_3 проявляется в увеличении частоты ошибок и указывает на необходимость снижения скорости телеграфирования в 1,5–2 раза.

Все это вынуждает использовать на коротких трассах дорогое магистральное оборудование с частотным разделением каналов и сравнительно мощные передатчики. Например, для передачи по телефонному каналу дискретных сигналов при $l \sim 400$ км потребовалась бы аппаратура уплотнения с ДОФТ в каждом из 30...50 телеграфных каналов. При постоянной длительности посылки t_0 увеличение t_3 приводит к сокращению неповрежденной части посылки t_d . Полезный сигнал как бы становится короче, и чтобы поддерживать неизменным качество приема при постоянном уровне помех, следует сильно увеличивать мощность передатчиков.

На рис. 4.3 приведены экспериментальные (усредненные) графики для передачи телеграфных сигналов с ЧТ и $V_T=282$ Бод при значении надежности H , лежащей в пределах 50...90%, и относительной частоте ошибок $1 \cdot 10^{-4}$

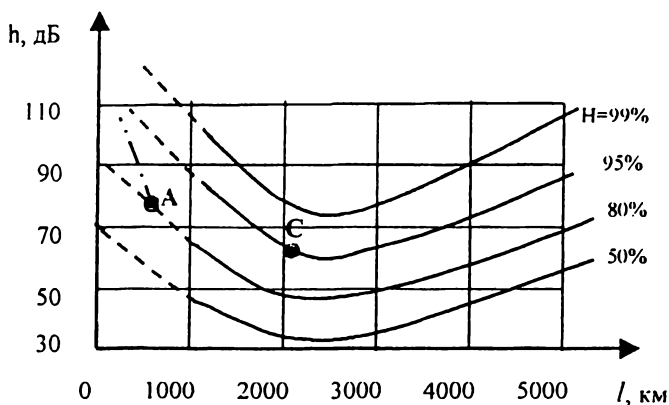


Рис. 4.3

Из этих графиков следует, что независимо от значения H при уменьшении длины l трассы, например от 2000 км (рис. 4.3, точка С) и ниже, постепенно возрастают t_3 , и необходимое значение h — отношение среднего напряжения полезного сигнала к среднему напряжению помех на входе демодулятора в децибелах — должно увеличиваться. Графики для $l < 1000$ км экстраполированы с учетом их хода на интервале $l=1000 \dots 2000$ км. В действительности графики, начиная с точки А, для которой $t_3 \leq t_0/2$, будут идти гораздо круче (штрихпунктирная линия) из-за резкого сокращения длительности интервала t_d . Мощность передатчиков, обеспечивающих необходимые значения V_T , $P_{\text{от}}$ и H , которая в соответствии с

уравнением идеальной радиопередачи должна была бы снижаться, в действительности заметно увеличивается. Из рис.4.3, например, следует, что при антеннах с неизменным усилением для обеспечения одинаковых значений показателей V_T и $P_{\text{ош}}$ при $H=80\%$ на трассе с $l=1000$ км по сравнению с трассой $l=2000$ км требуется мощность передатчика на 12 дБ больше, а не на 6 дБ меньше, как требовалось бы в свободном пространстве.

Таким образом, усложнение оборудования и резкое возрастание необходимых мощностей передатчиков – это главное препятствие для организации зоновой связи по традиционному пути. К тому же при связи радиостанций в зоне по принципу "каждый с каждым" необходимо использовать ненаправленные антенны; большое число рабочих частот; суженный диапазон рабочих частот в низко частотной области, где существенны уровни флуктуационных и импульсных помех.

Как уже отмечалось в § 1.3, дальнейшее распространение декаметровых волн происходит благодаря отражениям волн от ионосферы. На одной и той же частоте при увеличивающихся углах падения луча на ионосферу возрастает электронная плотность, необходимая для отражения волны. Поэтому при очень больших углах падения (рис.4.4) электронная плотность ионосферы оказывается недостаточной, и отражения не происходит. Угол падения, начиная с которого это имеет место, называют критическим. Если связь на КВ осуществляется земной волной, т.е. волной, не отраженной от ионосферы, а распространяющейся вблизи земной поверхности, то такое распространение может иметь практическое значение лишь на расстояниях, значительно меньших радиуса Земли, где дифракция декаметровых волн выражена слабо.

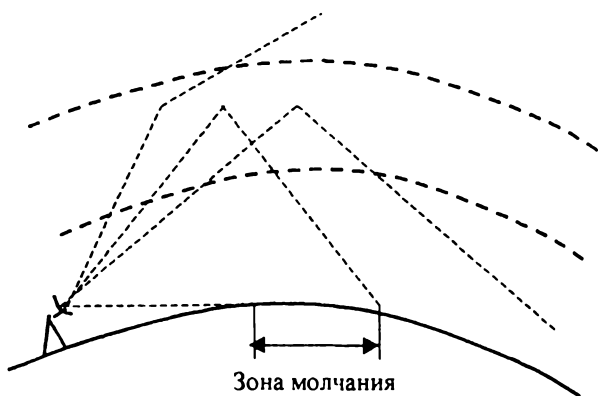


Рис. 4.4

Как видно из рис. 4.4 между зоной распространения земных волн и зоной, охватываемой распространением радиоволн, отраженных от ионосферы, ограниченной значениями критического угла, располагается зона, куда не доходят волны всех механизмов распространения. Эту зону называют зоной молчания. Из-за нее ВЧ волны нельзя использовать в региональных системах радиосвязи, обслуживающих территорию размером примерно 500x500 км, так как слишком многие из корреспондентов не могут устанавливать связь друг с другом. Кроме того, связь между корреспондентами находящимися на расстоянии, позволяющем пользоваться отраженной от ионосферы волной, получается очень ненадежной из-за нестационарности условий отражения в ионосфере.

Требования повышения надежности зоновой ВЧ радиосвязи и расширения ее функциональных возможностей ведут к необходимости связываться через вынесенный из зоны ретранслятор, расположенный на расстоянии, близком к оптимальному, и играющий роль центральной программно-управляющей, распределительной, регенерационной и контролирующей станции (рис. 4.5).

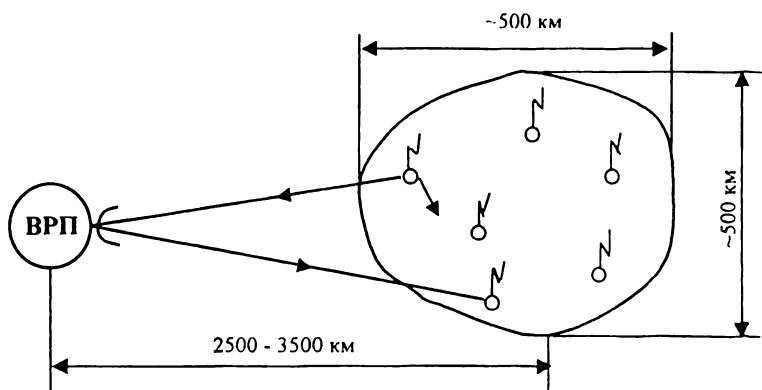


Рис. 4.5

В зоновой системе радиосвязи с ВРП радиостанции связаны между собой не непосредственно, а через вынесенный ретрансляционный пункт ВРП, вынесенный из зоны на 2,5...3,5 тыс. км, благодаря чему необходимое качество связи обеспечивается при минимальном отношении сигнал-помеха. Анализ системы зоновой радиосвязи с ВРП показывает, что надежность, помехоустойчивость и эффективность в ней повышаются благодаря: переходу к протяженным радиолиниям, оптимальным по условиям распространения в ВЧ диапазоне; переходу от низкочастотной области

ВЧ диапазона к обширной средней и высокочастотной его части, что резко расширяет возможности маневра частотами, а также снижает уровни помех; уменьшению мощности радиостанций зоны вследствие оптимизации условий приема волн с помощью ретранслятора, увеличению мощности его излучения, применению остронаправленных антенн; централизованному распределению частотного резерва и его экономии за счет использования одной несущей многоканального передатчика для связи с различными абонентами зоны; организации в составе ретранслятора системы прогнозирования условий распространения и помеховой обстановки в зоне; оперативному централизованному и адаптивному управлению радиостанциями обслуживаемой ретранслятором зоны, позволяющему реализовать оптимальные условия для передачи информации, текущий контроль качества связи во всех звеньях системы радиосвязи, оптимизацию системы при постоянно изменяющихся условиях.

Использование центральной станции позволяет автоматизировать всю зонную систему и эксплуатировать ее без обслуживающего персонала. Функции управления, сбора информации от системы диагностики обеспечиваются служебными каналами связи, в качестве которых можно использовать каналы: либо отдельные постоянно действующие, либо рабочие.

Угруппированная структурная схема зонной системы связи с ВРП показана на рис.4.6. Приемно-передающий комплекс включает две абонентские радиостанции и ВРП с программно-автоматическим, местным или дистанционным управлением. Между ВРП и каждой абонентской станцией организованы два канала двусторонней связи (служебный и информационный), осуществляется сопряжение их с оконечной аппаратурой абонента и взаимодействие в режиме автоматического вхождения в связь и введения информационного обмена. Управляют основными техническими средствами абонентской радиостанции с помощью микропроцессорного блока.

В основном ретрансляторе осуществляются прием сигнала и его обработка, оценивается качество информационного канала, реализуется адаптивное управление сетью. Перестраивают радиостанцию по служебному каналу связи. Для повышения надежности и живучести зонной системы может быть предусмотрен запасной стационарный или мобильный ретранслятор, связанный с основным линией связи. Структура и функции запасного ВРП те же, что и основного. Ретранслятор должен иметь канал, обеспечивающий дистанционное управление из центра более высокого иерархического уровня. Функции управления могут быть совмещены

с передачей сообщений в основных каналах информационного обмена, т.е. без использования для этого отдельных комплектов приемо-передающей аппаратуры. Служебная связь является важным элементом комплекса средств радиосвязи, поскольку по ней передаются команды автоматического предоставления каналов и общей адаптации, а также информация для контроля.

Адаптация каналов связи к изменяющимся условиям распространения радиоволн включает автоматическую смену рабочей частоты, скорости передачи информации, вида модуляции; переход на полосы частот, в которых помехи минимальны; регулирование мощности передатчиков при сохранении защитных отношений каналов неизменными для экономии электроэнергии, улучшения условий ЭМС; автоматическую регулировку диаграмм направленности антенн и т.д. Для автоматической адаптации в состав ВРП следует включить устройства, оценивающие качество принимаемого сигнала, и средства, контролирующие распространение радиоволн.

Устройством, обеспечивающим автоматизацию управления и адаптации, может быть специализированный компьютер, который будет управлять всеми устройствами, контролировать их состояние, выбатывать команды, передаваемые по служебному каналу для адаптации и организации связи по соответствующей программе. Необходимая для работы компьютера информация может быть получена от датчиков системы оценки качества принимаемых сигналов, состояния отдельных устройств ВРП и др.

Достаточно трудно при разработке автоматизировать процессы в приемной части ретранслятора, а именно обеспечить простоту и высокую скорость перестройки ВЧ узлов на любую частоту ВЧ диапазона, высокую стабильность настройки, т.е. полную автоматизацию всех процессов управления и адаптации. Однако современные достижения в области радиоприемной техники на базе микроэлектроники и цифровой вычислительной техники позволяет достаточно просто решить эту задачу.

Для решения проблемы ЭМС передающую часть ретранслятора с целью уменьшения помех радиоприему можно располагать несколько ближе к зоне, чем приемную. Связь между приемной и передающей частями ВРП для передачи информационных сигналов и сигналов управления может осуществляться по кабельной или однопролетной радиорелейной линии.

На основе зонных сетей радиосвязи с ВРП можно создавать надежные и экономичные сети связи на больших территориях. Один ретранслятор может обслуживать, например, две отдельных зоны с расстоянием между ними в несколько тысяч километров. При этом

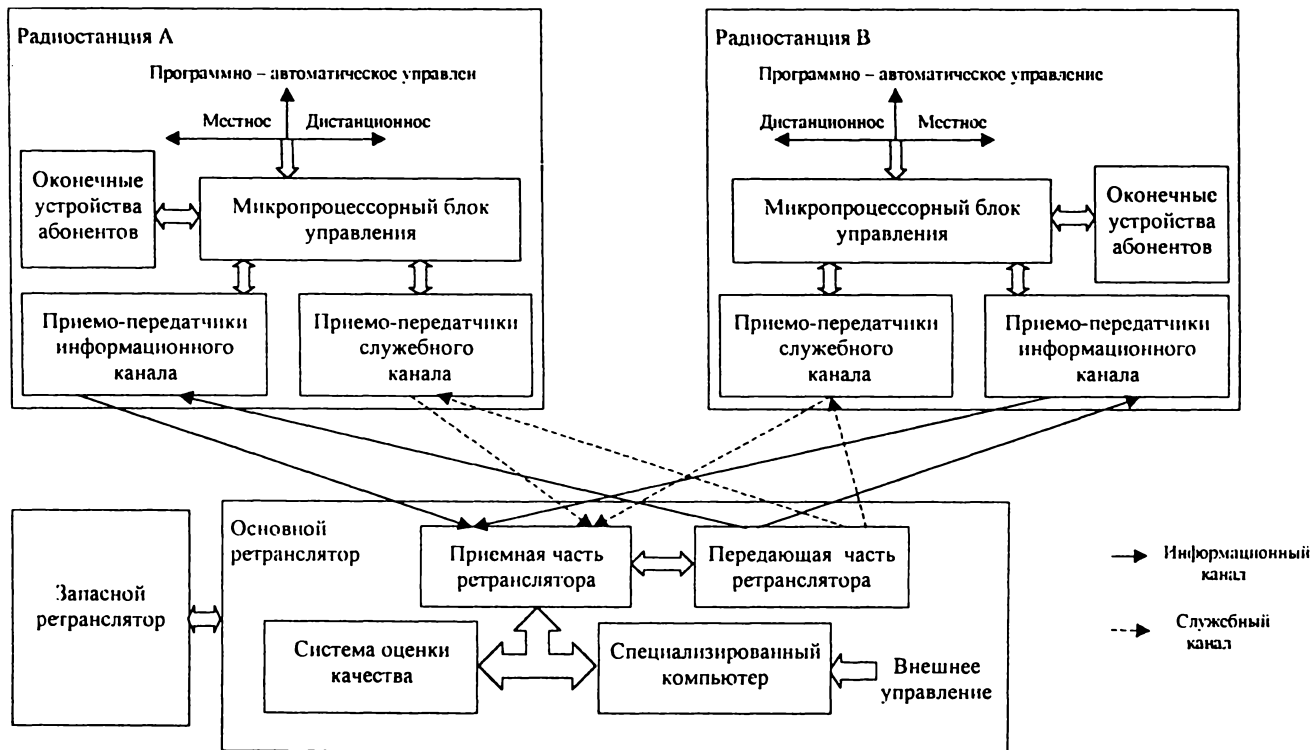


Рис. 4.6

решается проблема реконструкции и автоматизации магистральной связи, совмещаемой с резервной сетью местных линий, расширяются области ее применения, и увеличивается нагрузка. Несколько зональных систем радиосвязи можно объединить в единую сеть, построив между ретрансляторами отдельных зон многоканальной ствол связи.

4.6. Варианты структур сетей зональной радиосвязи диапазона ВЧ с вынесенным ретранслятором

В диапазоне вариантов, которые могут быть синтезированы в рамках задачи зональной радиосвязи через вынесенный ретрансляционный пункт (ВРП), возможны два предельных случая. В первом в зоне располагают ряд обычных радиостанций, связанных с ближайшими абонентами радиальными радиоприемами (кабельными или микроволновыми). Ретранслятор представляет собой крупную радиостанцию, оборудование которого образуется простым суммированием однотипного оборудования, имеющегося на радиостанциях зоны. Связь "Абонент А – Абонент Б" устанавливают по цепи "Абонент А – радиостанция зоны – ретранслятор – радиостанция зоны – Абонент Б", связь между зоной и ретранслятором проходит только по групповым каналам. Для удобства этот вариант в дальнейшем будем называть: «Ионосферная Система Коротковолновая Ретрансляционная Автоматизированная» (ИСКРА).

Во втором случае каждый абонент имеет непосредственную связь с ретранслятором по системе с незакрепленными каналами. Принцип работы этой системы сходен с многостанционным доступом в спутниковой радиосвязи. В дальнейшем этот вариант построения сети зональной связи будем называть: «Ретрансляционная Адаптивная Система Коротковолнового Абонентского Телеграфирования» (РАСКРАТ).

Дополнительные требования построения межзональной связи, которые открывают возможность распространения зон обслуживания на сколь угодно большие территории, позволяют рассмотреть третий вариант структуры системы, который ниже описан под условным названием МЕЗОН – «Межзональная территориальная система радиосвязи». Повысить эффективность и надежность связи удастся в «Автоматизированной Системе Телеграфной Радиосвязи с ретрансляцией сигнала» (АСТРА). Рассмотрим варианты построения систем связи с ВРП более подробно.

Система ИСКРА. Согласно структуре этой системы (рис. 4.7) обслуживаемые абоненты, обозначенные черными кружками, имеют соединения, показанные штриховыми линиями, с промежу-

точными радиостанциями, которые, в свою очередь, связываются друг с другом через ретранслятор. Виды сигналов в системе в данном случае могут быть различными: часть абонентов может получить с любыми другими абонентами телефонную связь, часть – телеграфную на основе вторичного уплотнения однополосных телефонных каналов. Каждая радиостанция зоны, работая на предоставленной ей частоте, может использовать один или более однополосных каналов и устанавливать для подключенных к ней абонентов определенную (в частности, иерархическую) очередность использования канала. Каналы связи между зоной и ретранслятором при передаче дискретной информации должны быть сравнительно скоростными. Связь может быть дуплексной. Мощности передатчиков в зоне должны быть значительными, что делает затруднительным размещение их совместно с приемниками, поэтому возможность применения в этой системе совмещенных радиостанций (трансиверов) маловероятна. Автоматизация системы оказывается сравнительно сложной.

Рассмотренная система структурно и организационно близка к существующей в данное время системе коротковолновой радиосвязи; она может быть реализована и испытана для проверки и отработки принципов ее эксплуатации и дальнейшего технического совершенствования с применением существующих радиоцентров.

Каждая радиолиния "ретранслятор – зона" предполагает использование отдельного передатчика в ретрансляторе ВРП и предоставление для нее отдельной частоты. Частотная служба включает дополнительные технические средства активного и пассивного зондирования, не показанные на рис. 4.7

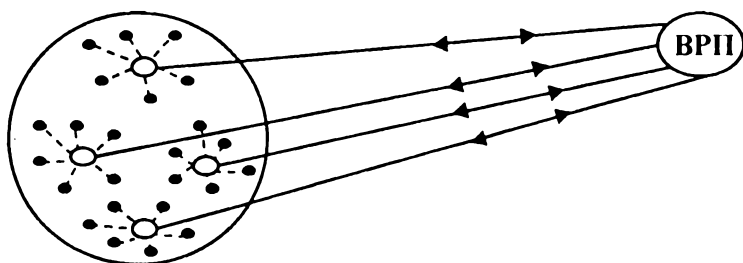


Рис. 4.7

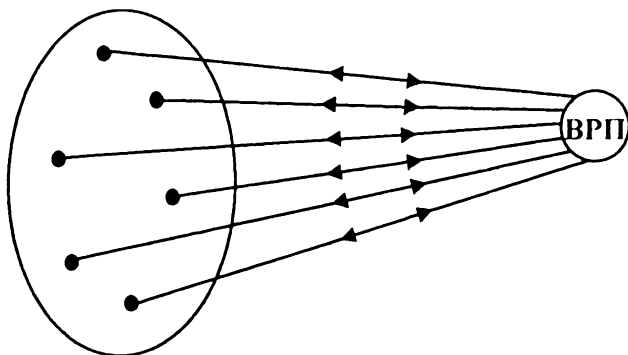


Рис. 4.8

Недостатками системы ИСКРА являются громоздкость, высокая стоимость энергоёмкость, сложность маневрирования оборудованием автоматизации и адаптации. Относительная простота реализации делает ее выгодной на этапе экспериментальных исследований, но не оправдывает применения в перспективных системах следующего поколения.

Система РАСКАТ Структура этой системы (рис.4.8) имеет следующие особенности:

1. Связь между абонентами обеспечивается через ретранслятор; система однородна; абонентские радиостанции работают, как правило, в симплексном режиме и могут быть одинаковыми; связь цифровая с фиксированной скоростью и в принципе допускает общую синхронизацию.

2. Типовым абонентским аппаратом является телетайп; малая скорость передачи снимает проблему искажений сигналов из-за межсимвольной интерференции, соответственно упрощается адаптация системы к условиям распространения радиоволн, которая в условиях многолучевости может требовать изменения скорости передачи.

3. Каналы связи "зона – ретранслятор" – узкополосные, используется частотное разделение; отметим, что в используемую относительно узкую полосу частот существенно уменьшается вероятность попадания помех с сосредоточенным спектром.

4. Передатчики абонентских радиостанций – маломощные, что вместе с симплексным режимом позволяет совмещать приемники с передатчиком, т.е. использовать трансиверы и делать их подвижными или переносными. Малая мощность и соответственно малые габариты открывают возможность и надежного укрытия

аппаратуры, и быстрого приведения в действие. Слабость ресурса абонентских радиостанций может быть скомпенсирована высокими показателями и энергоресурсами ретранслятора: значительно более совершенными антеннами, мощными передатчиками и чувствительным приемным оборудованием.

5. Групповой спектр в приемном тракте ретранслятора формируется в результате суммирования излучений абонентских передатчиков в пространстве. При этом снимается вопрос о пик-факторе передатчика и связанном с этим уменьшении мощности в парциальном канале, что имеет место в системе ИСКРА.

6. Все радиостанции обслуживаемой зоны могут связываться со всеми радиостанциями аналогичной зоны, расположенной по другую сторону от ретранслятора, т.е. на расстоянии 5...6 тыс. км., либо в любом направлении от ретранслятора, как показано на рис. 4.9.

Так складывается новая система резервной территориальной сети. Например, для организации связи в пределах стран СНГ территорию достаточно разделить на шесть зон с шириной каждой примерно 1,5 тыс. км.

Если предусмотреть три ВРП (рис. 4.10), каждый из которых будет обслуживать по две зоны, одну в западной, другую в восточной части территории, то радиостанции в обслуживаемых зонах будут находиться от своего ВРП на расстоянии одного оптимального скачка. Организовав между ВРП многоканальный ствол связи, можно построить единую государственную автоматизированную сеть ВЧ связи. С учетом этого первый вынесенный ретранслятор ВРП1 нужно расположить на границе между второй и третьей зонами, ВРП2 – на границе между третьей и четвертой, ВРП3 – между четвертой и пятой. Ретранслятор ВРП1 обслуживает две зоны по обе стороны от себя: первую на западе и четвертую на востоке. ВРП2 – обслуживает вторую и пятую, ВРП3 – третью и шестую. При этом абоненты каждой из зон могут находиться на удалении от "своего" ретранслятора на расстоянии 1,5...3,5 тыс. км. т.е. на расстоянии оптимальной односкачковой трассы. Между ретрансляторами создается многоканальный ствол связи, например с помощью радиорелейных или тропосферных линий связи. Чтобы "осветить" всю зону, на ретрансляторе достаточно иметь девять антенн, имеющих диаграммы направленности шириной около 10...12°. Каждая антенна "освещает" в зоне свой сектор площадью в среднем около 400 тыс. км². На такой площади можно расположить 1–2 абонента в малоосвоенных районах, 15–20 и более в центральных и промышленных районах страны. Следовательно, на сектор в среднем необходимо около 10–12 рабочих частот. Так как каждый ретранслятор обслуживает две зоны по обе стороны от себя, то нужно иметь 18 антенн.

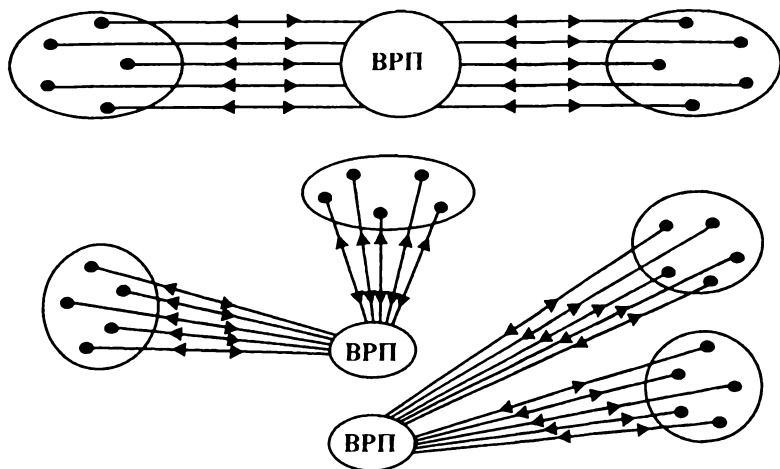


Рис. 4.9

В итоге на ретранслятор приходится около 200 рабочих частот. Кроме того, необходимо выделить ряд частот для организации многоканального ствола связи между ретрансляторами. Их нужно также около 200, но при организации очередности в обслуживании абонентов это число может быть сокращено, например, до 50. Таким образом, для организации сети связи, показанной на рис.4.10, может оказаться достаточным набор из 700 рабочих частот. Пример использования сетей ВЧ радиосвязи с ВРП в Мексике иллюстрирует рис. 4.11 [4.2].

7 При скорости телеграфирования 50 Бод, т.е. при основной частоте манипуляции 25 Гц и пропускании третьей гармоники манипуляции, полоса пропускания одного канала при амплитудной манипуляции поднесущей должна составлять не более 200 Гц, что позволяет иметь в однополосном телефонном канале 3 кГц до 15 каналов. При частотной манипуляции в соответствии с материалами МККР поднесущие каналов разносят на 129 Гц и в однополосном канале размещают до 20 каналов. Полоса пропускания передатчика ретранслятора может соответствовать двум – четырем телефонным каналам и обеспечить при благоприятных условиях распространения радиоволн соответственно до 60–80 каналов телеграфирования. С учетом неодновременности занятия каналов телеграфирования число абонентов в каждой обслуживаемой зоне может составлять примерно 500 и более.

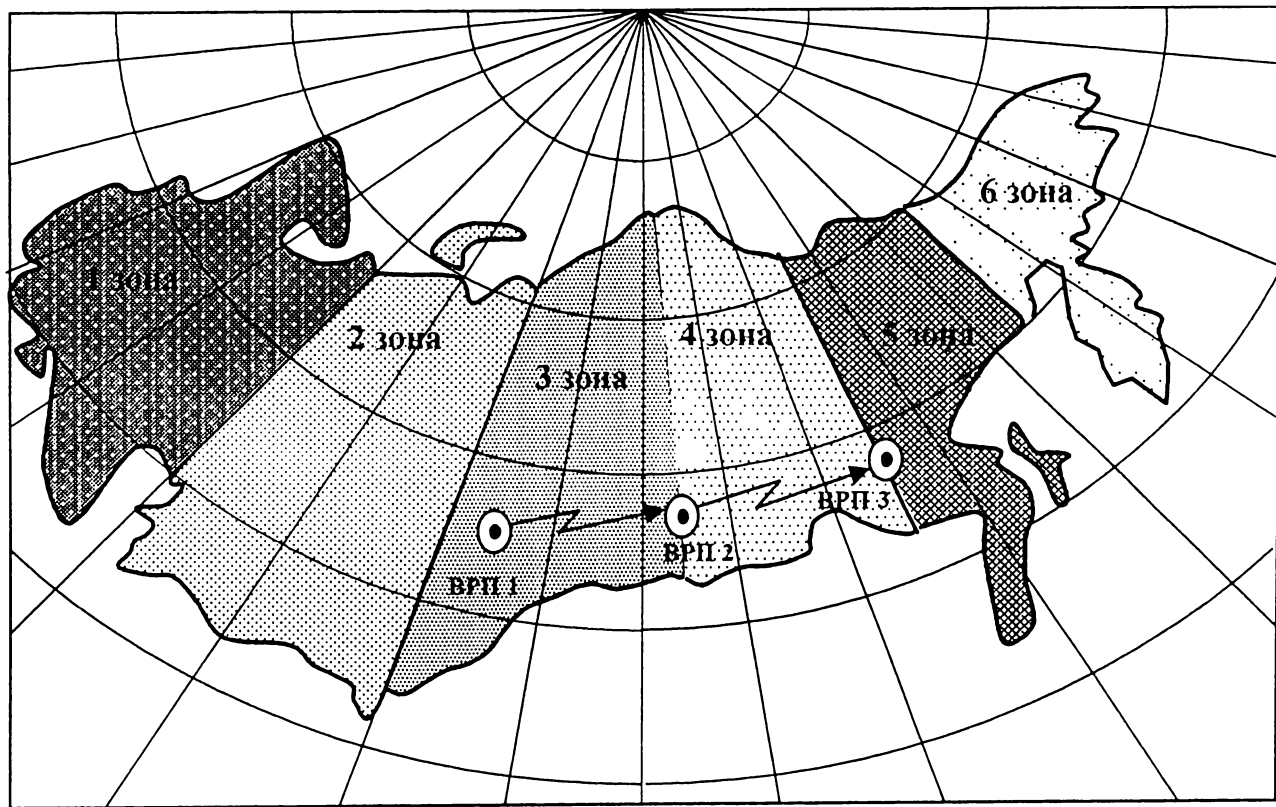


Рис. 4.10

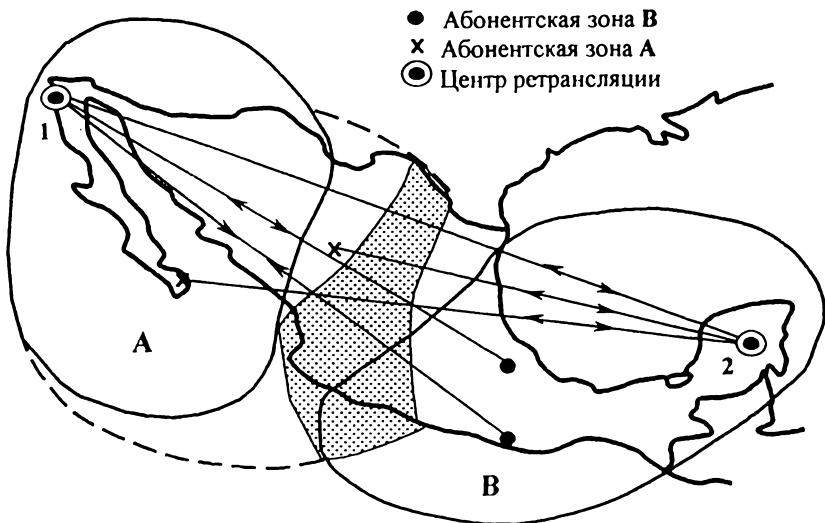


Рис. 4.11

8. При неблагоприятных условиях распространения возможно предоставление абоненту для положительных и отрицательных посылок двух узкополосных каналов, разнесенных на 500...1000 Гц. При этом связь осуществляется по двум существенно разнесенным каналам, что значительно повышает ее устойчивость и помехозащищенность. Наряду с частотным разнесением, реализуемым ценой некоторого уменьшения пропускной способности группового радиоканала, на ретрансляторе можно реализовать поляризационное и пространственное разнесение.

9. При сокращении числа каналов может потребоваться введение их иерархического распределения; приоритетные автоматические соединения в рамках рассматриваемой однородной системы обеспечиваются предоставлением отдельным абонентам специальных кодов для сигналов вызова.

10. Концентрация на едином центре-ретрансляторе средств контроля и управления всей сети позволяет целесообразно организовать служебные каналы и с их помощью полно реализовать автоматизацию, оптимизацию и адаптацию системы.

11. Передатчик ретранслятора передает групповой спектр для всех радиостанций обслуживаемой зоны с отдельным приемом отдельных полос абонентскими приемниками, автоматически настраиваемыми по командам, передаваемым по служебным каналам.

12. Однородность системы (одинаковые абонентские радиостанции и одинаковые параметры всех каналов связи) упрощает использование помехозащитного кодирования, автоматической защиты от ошибок и закрытия информации.

Таким образом, для системы РАСКАТ характерно: одноканальное излучение от абонента; формирование группового спектра в эфире; групповой прием в ретрансляторе, обработка сигналов, и его излучение в ретрансляторе; индивидуальный прием абонентом сигнала в выделенном ему канале, на который автоматически настроен приемник.

Связь организуется подобно обычной телеграфной связи или телексу. Абонент подходит к аппарату, передает сигнал включения и номер вызываемого абонента. Приемник и передатчик настраиваются автоматически по каналам служебной связи. При необходимости и передача, и прием также могут осуществляться автоматически в соответствии с программой либо по вызову от абонента или с тракта управления через ретранслятор. Автоматическая волновая служба непрерывно контролирует прохождение волн, загруженность частотных полос сигналами или помехами и качество сигналов. Она выявляет оптимальные полосы для связи, которые вводятся в управляющую систему.

Для автоматической коммутации необходимо и важно нумеровать каналы, отражающие направление передачи и частоту. В соответствии с изложенным выше в системе связи через ВРП для связи ретранслятора с каждым абонентом выделяется несколько узкополосных каналов, общих для сети. Для настройки передатчика и приемника абонента достаточно передать с ретранслятора по служебным каналам кодированный номер абонента для его селективного вызова, а затем номера частотных каналов передачи и приема.

Предложим пятизначный сигнал настройки передатчика, содержащий цифру направления и, номер частоты (номер группового радиочастотного канала) и выделяемого в нем парциального канала (полосы для тонального телеграфирования). Так, в номере 1 19 18 будут обозначены настройка передатчика 1, номер частоты 19 и номер канала для телетайпа 18; в номере 2 06 52 – настройка приемника 2, номер частоты 6 и номер канала тонального телеграфирования 52. Разумеется, что такой способ нумерации не единственно возможный. Можно также передавать команды на встречную кратковременную передачу сигналов зондирования с автоматической настройкой абонентского передатчика на задаваемые частоты и на прием зондирующих сигналов от ретранслятора с соответствующей настройкой абонентского приемника.

Эффективными средствами повышения точности передачи информации в разрабатываемой системе служат регенераторы телеграфных сигналов. Эти устройства, состоящие, в сущности, из решающего и формирующего блока и цепи синхронизации, преобразуют импульсные сигналы, искаженные помехами и переходными процессами, в сигнал правильной формы, восстанавливая их в наиболее вероятном первоначальном виде. До недавнего времени регенератор оставался сравнительно крупным самостоятельным устройством. При современном развитии микроэлектроники имеется возможность делать регенераторы миниатюрными в интегральном исполнении. Это позволяет ввести их в состав не только аппаратуры ретранслятора, но и приемника каждой абонентской радиостанции.

Предотвращая суммирование искажений формы сигнала на направлениях "абонент – ретранслятор" и "ретранслятор – абонент", регенератор частично решает проблему повышения достоверности передачи информации, но не исключает возможность ошибок в передаче информации. Для существенного снижения вероятности ошибок необходимы следующие меры:

наблюдение за условиями распространения радиоволн на разных частотах ВЧ диапазона и своевременная смена волн при ухудшении распространения в используемой полосе частот. Эта задача решается путем активного зондирования трассы, т.е. передачи с одного конца и приема на другом конце испытательных сигналов;

наблюдение за уровнем помех в каждой из выделенных полос частот и выявление полос с достаточно малым уровнем помех для предоставления их абонентам. Эта задача решается путем пассивного зондирования, т.е. непрерывного или периодического измерения помех в зоне приема в соответствующих полосах частот;

обнаружение искажений в передаваемых кодированных сообщений и восстановление их в первоначальном виде. Для решения этой задачи требуется прежде всего применять специальные коды с искусственно введенной избыточностью, позволяющие автоматически обнаружить искаженные комбинации. Обычные коды преобразуются в помехозащищенные автоматическими устройствами;

наблюдение за изменением частоты обнаруживаемых и исправляемых ошибок для оценки условий приема сигналов, выявления тенденции изменения их частоты, прогнозирования качества связи и выбора программы мер для обеспечения требуемого качества. Такими мерами могут быть переход в другую частотную полосу, передача с частотным разнесением и др. Эта задача успешно решается, если в системе имеются устройства для обнаружения и исправления ошибок.

Первым признаком начинающегося ухудшения условий приема может служить появление и учащение одиночных ошибок, т.е. случаев превращения отдельных двоичных сигналов в противоположные. Следовательно, основой устройств для обнаружения и счета ошибок, а также сигнализации об их наличии могут служить устройства, реагирующие на одиночные ошибки.

При наличии перечисленных средств комплекс устройств, обеспечивающих точность передачи информации, т.е. адаптацию системы РАСКАТ, должен действовать, прежде всего, по сигналу от устройства, контролирующего искажения сообщений. Решающее устройство, сопоставляя этот сигнал с показателем распространения радиоволн и пораженности частотных полос помехами, вырабатывает и подает команду в управляющие устройства для соответствующих перестроек в ретрансляторе и по служебным каналам у абонента.

Достаточно хорошо проверенная и зарекомендовавшая себя с положительной стороны система автоматического обнаружения ошибок с повторением искаженного текста рекомендована МККР и широко используется на линиях радиосвязи. Эта система предполагает преобразование 5-значного кода в 7-значный с отношением числа посылок одного и другого знака 4:3. Искажения одной посылки в любой кодовой комбинации нарушает это соотношение, что автоматически обнаруживается и инициирует передачу по обратному каналу запроса на повторение. По-видимому, этот метод может быть положен и в основу контроля качества канала и исправления ошибок в системе РАСКАТ. При симплексной связи и нормальном ее режиме переспросы достаточно редки и могут делаться по каналу служебной связи.

Следует иметь в виду, что существует одноканальная симплексная телеграфная система с автоматическим исправлением ошибок, в основном соответствующая требованиям системы РАСКАТ. Ее можно использовать как в фиксированной, так и в подвижной службах. На выходе оконечного устройства используют стартстопный 5-значный код со скоростью передачи 50 Бод, а в радиоканале – упомянутый выше 7-значный с автоматическим обнаружением одиночных ошибок.

В процессе реализации системы РАСКАТ потребуется решить многие принципиальные вопросы и создать целый ряд подсистем и устройств, в частности:

антенны, пригодные для быстрого развертывания в обслуживаемой зоне и обладающие высокой надежностью. Одна антенна должна служить и для передачи, и для приема. Желательно, чтобы обеспечивался прием с поляризационным разнесением;

трансивер абонентской станции с быстрой перестройкой приемника и передатчика по командам из служебного канала;

широкополосные антенные усилители с режекцией сильных сосредоточенных помех и антенные коммутаторы с дистанционным управлением;

многоканальные приемные устройства для ретранслятора с автоматическим и дистанционным управлением, с быстрой электронной перестройкой;

устройства комбинирования сигналов при многократном разнесении, синхронный электронный регенератор телеграфных сигналов;

устройства защиты оборудования от мощных электромагнитных ударов, устройства автоматического обнаружения ошибок и информационной обратной связи;

систему служебной связи для дистанционного управления и контроля абонентских станций;

панорамный приемник для системы пассивного зондирования радиоканалов, аппаратуру активного ионосферного зондирования;

систему автоматического контроля и диагностики неисправностей оборудования, программно-управляющий центр и модем для ретранслятора, систему резервирования оборудования.

Система МЕЗОН. Эта система (рис.4.12) является развитием системы РАСКАТ. Построение ее учитывает обычно существующую необходимость обеспечения связи в зоне, в которой расположен ретранслятор. Как видно из изложенного выше, ретранслятор в зонной системе радиосвязи содержит широкополосные многоканальные приемник и передатчик. Вследствие большой мощности передатчика совместное размещение его с приемником исключается. Ретранслятор нуждается в надежном энергоснабжении. Обычно для размещения подобных технических средств по технико-экономическим соображениям предпочтительны районы, в которых имеются населенные пункты и вероятно необходимость в средствах зонной связи. Это целесообразно, в частности, ввиду необходимости профилактического и ремонтного обслуживания. Следовательно, при оценке ситуации выявляется целесообразность предусмотреть в районе расположения ретранслятора обслуживаемую зону, подобную зоне РАСКАТ (рис.4.8).

Современные требования к средствам связи предполагают предоставление абонентам, помимо связи в пределах данной зоны, связь с абонентами других зон. Ретранслятор, требующийся для этого, можно расположить в любом месте, удаленном от зоны на 3...4 тыс. км. однако по тем же соображениям желательно разместить его в населенной зоне. Соответственно система радиосвязи становится не только зонной, но и межзонной.

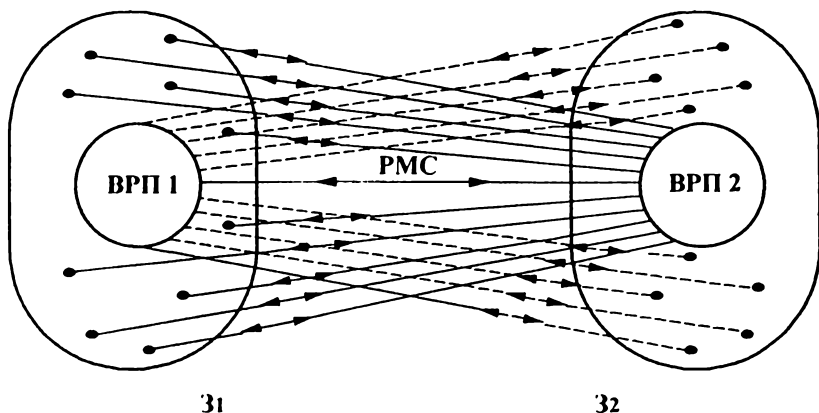


Рис. 4.12

Абоненты зоны 31 (рис. 4.12) получают автоматизированную связь между собой через ретранслятор ВРП2. Аналогично, абоненты зоны 32 получают связь через ретранслятор ВРП1. Связь между абонентами зон 31 и 32 обеспечивается с использованием обоих ретрансляторов: вызов из зоны 31 передается на ретранслятор ВРП2, с него на ретранслятор ВРП1 и с ВРП1 абоненту 32. В обратном направлении вызов проходит по цепи ВРП1 – ВРП2-31. Для этого между ВРП1 и ВРП2 действует нормальная односкачковая радиолиния межретрансляторной связи РМС. Ввиду ограниченного объема межзонавой информации здесь, по-видимому, достаточно иметь один однополосный радиоканал.

Наличие линии РМС дает системе МЕЗОН дополнительные преимущества: по ней осуществляется постоянная и устойчивая служебная связь между ВРП; наиболее просто решается проблема автоматизированной частотной службы, основанной на наклонном ионосферном зондировании трассы в обоих направлениях.

Сочетание системы РАСКАТ и ее модификации МЕЗОН открывает возможность развития резервной связи абонентского радиотелеграфирования для всей территории страны или любых отдаленных частей, независимо от их размеров. Для этого требуется совместить двухзонавые или построенные по этому же принципу многозонавые структуры с зонами, связанными через общий ретранслятор (рис.4.9), и структуры МЕЗОН (рис.4.12).

Система АСТРА. В этой системе (рис.4.13) сигнал от радиостанции А одновременно передается трем ретрансляторам ВРП1 – ВРП3, которые могут быть расположены в любом месте по окружности с радиусом 2,5...3,5 тыс. км. Ретранслированные сигналы принимаются радиостанцией В, в которой осуществляется один из

способов оптимального автовыбора. Поскольку условия распространения радиоволн на трассах между ретрансляторами и абонентскими радиостанциями могут быть существенно различными, то подобная система может основательно повысить надежность и эффективность радиосвязи.

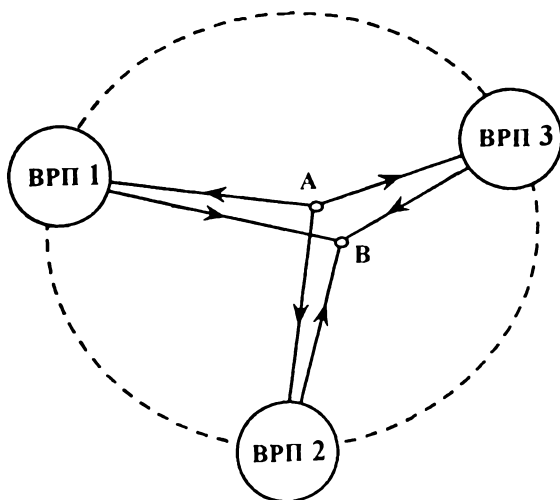


Рис. 4.13

Реальная система радиосвязи должна быть разработана с учетом конкретных условий и допускать различные варианты, из которых необходимо сделать оптимальный выбор. Критериями оптимальности могут быть как материально-энергетические и экономические показатели, так и использование частотного ресурса. Методика синтеза подобных систем нуждается в дополнительном исследовании и разработке.

4.7. Системы ВЧ радиосвязи в гражданской авиации

Проблема повышения надежности радиосвязи в пределах ограниченной (до 400...500 км) зоны (зоновой связи) очень актуальна, так как подобная связь наряду с магистральной весьма распространена. Примером является связь между подвижными и стационарными пунктами в зоне местных воздушных линий (МВЛ) в системе гражданской авиации. Одним из путей решения указанной проблемы является применение вынесенного из зоны ретрансляционного пункта (ВРП). Это было доказано экспериментальными исследованиями [4.3], целью которых являлось опреде-

ление возможности и целесообразности использования ВРП для повышения надежности радиотелефонной ВЧ связи между подвижными и стационарными пунктами связи на МВЛ при связях между диспетчером аэропорта и экипажем воздушного судна (ВС). При этом определялась надежность ВЧ радиотелефонной связи в двух вариантах: прямая связь между диспетчером и бортом ВС; связь между диспетчером и бортом ВС через вынесенный из зоны МВЛ ретрансляционный пункт.

С этой целью в Таджикском управлении гражданской авиации (ТУГА) на местных авиатрассах использовался вынесенный из зоны МВЛ ретранслятор. Целесообразность применения ВРП обусловлена рядом факторов, характерных для наземных (стационарных) пунктов связи: использование передатчиков с повышенной (по сравнению с бортовыми) мощностью (более 1 кВт); применение более эффективных и направленных антенных систем с широкополосными характеристиками; более благоприятные по сравнению с зоной связи условия электромагнитной совместимости; меньшая зависимость от влияния различных помех, включая преднамеренные; возможность организации сети диспетчерских наземных пунктов связи для оперативного управления и слежения за летательными объектами.

Для выбора места расположения ВРП было задействовано несколько радиоприемных центров, а также узел связи авиапредприятия (АП). На радиоприемных центрах оценивалось качество приема (с учетом уровня сигнала, характера и интенсивности помех) по разборчивости речи при передаче тест-таблиц, включающих в себя все фонемы русской речи и их основные варианты. Тесты передавались в предутренние, утренние и дневные часы, когда надежность связи на МВЛ в одной из зон была подвержена большим колебаниям. В соответствии с установленным расписанием с 4 ч 00 мин до 16 ч 20 мин московского времени проводились пятиминутные сеансы односторонней передачи. При этом были задействованы бортовые и наземные передатчики одной из зон МВЛ различной мощности, работавшие в режимах амплитудной модуляции (АМ) и однополосной передачи (ОП) в диапазоне частот от 6 до 11 МГц. Радиоприемные центры располагались в стационарных пунктах связи (СПС) по трассам полетов ВС местной зоны.

Ретрансляция осуществлялась с перебором по низкой частоте непосредственно с выхода приемника через соединительную линию на вход передатчика. Схема размещения и организации радиотелефонной связи между базовым местным диспетчерским пунктом МДП 1 и ВС через ВРП показана на рис.4.14, а в качестве ВРП также использовался узел связи МДП авиапредприятия.

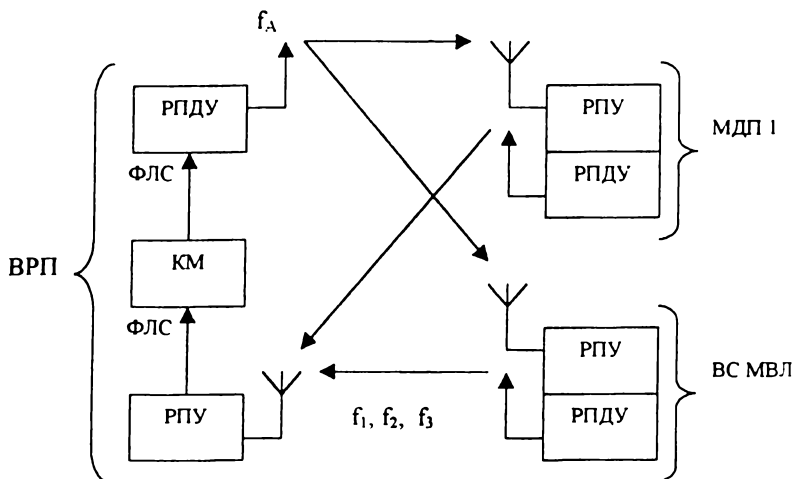


Рис. 4.14

На рис.4.14 РПДУ и РПУ – радиопередаточное и радиоприемное устройства соответственно; КМ – коммутатор (либо оператор); ФЛС – физическая линия связи; f_A – частота передатчика ВРП; f_1, f_2, f_3 – рабочие частоты средств связи.

В процессе эксперимента проводилось сравнение качества связи при непосредственном радиообмене между диспетчером радиобюро ТУГА и экипажем ВС МВЛ и радиообмене между ними через ретрансляторы. Исследования проводились в период с 4 по 14 октября 1988 г. на базе эксплуатации, ремонта и технического обслуживания связи ТУГА, радиоприемных центров Москвы, Алма-Аты, Тбилиси, Куйбышева, радиопередаточного центра и радиобюро г. Алма-Аты и узла связи г. Фрунзе. Наряду с выбором места расположения ВРП был проведен анализ качества приема сигналов с ВС и помеховой обстановки на основных и резервных частотах каналов взаимодействия Радицентра единой системы управления воздушным движением в районе проведения эксперимента. Прием сигналов корреспондентов сопровождается интенсивными помехами в основном от соседних по частоте радиостанций. Характер помех весьма разнообразен: от гармонической до широкополосного вещания. В большинстве случаев качество приема сигналов оказывается очень низким – вплоть до непрохождения. Из-за высокой насыщенности и интенсивности помех по основным и резервным каналам и плохих условий распространения радиоволн прямая ВЧ связь в ближней зоне МВЛ неустойчива.

Проведенные эксперименты показали, что ВЧ радиотелефонная связь на коротких трассах в пределах зоны МВЛ ТУГА ненадежна из-за интенсивных станционных помех, плохих условий прохождения радиоволн, регулярных возмущений ионосферы, особенно в утренние часы летнего периода, приводящих к полному прекращению связи местных диспетчерских и стационарных пунктов связи аэродромов с ВС.

Прием на трассах большой протяженности при соответствующем выборе частот в верхней части ВЧ диапазона более устойчив и, как правило, осуществляется с хорошим качеством. Установлено, что двусторонний радиообмен на длинной трассе между бортовыми радиостанциями и центральным диспетчерским пунктом регулярен и проходит с хорошим качеством.

В случае аномальных явлений ионосферы, приводящих к нарушениям или полному прекращению связи с ВС в ближней зоне МВЛ, ретрансляция с помощью ВРП обеспечивает более быстрое по сравнению с зоновой связью восстановление радиообмена с лучшим качеством и большей надежностью.

Экспериментальные исследования показали принципиальную возможность и целесообразность организации ретрансляции сигналов с помощью ВРП для обеспечения устойчивой связи ВС с наземными средствами местных воздушных линий. Ретрансляция сигналов может функционировать наряду с существующей системой зоновой радиосвязи местных линий, дополняя или, при возникновении экстремальных ситуаций, заменяя ее.

4.8. Сеть связи для чрезвычайных ситуаций

Стремительное развитие науки и техники, начавшееся в XX столетии, привело не только к резкому ухудшению среды обитания человечества, но и к большому числу крупных технических аварий и катастроф. В сочетании с природными катаклизмами они создают напряженную обстановку с частыми чрезвычайными ситуациями (ЧС). В связи с этим возникает новая проблема: быстрое получение первичной информации о возникшей ЧС или ее приближении и передача этой информации в специальные комиссии по ЧС, размещенные на территории России, а также дальнейшее обеспечение необходимого потока информации при работах по ее ликвидации. Эта проблема может быть решена созданием сети связи для ЧС, дополняющей существующие на территории России средства передачи информации. При этом путь создания дополнительной сети связи для ЧС состоит в широком использовании существующих средств ВЧ радиосвязи, дополненных небольшим числом

каналов спутниковой связи. Реализация такой дополнительной сети связи на территории России не потребует больших капитальных затрат.

По всей территории России за пределами городов размещено более 100 приемо-передающих коротковолновых центров с капитальными зданиями, большими антенными полями, на которых расположено много высокоэффективных антенных устройств, большое число передатчиков и совершенных приемников, имеется штат высококвалифицированных специалистов. В последние десятилетия эти центры загружены передачей информации только на 10–15%. Причин тут несколько. Одна из причин – увеличение объема передачи информации по другим каналам связи, в частности, спутниковым. Однако расчеты и опыты показывают, что стоимость канала спутниковой связи почти на порядок дороже ВЧ связи [4.4]. Вторая причина – устаревшее представление о низкой надежности ионосферной связи; наконец, третья причина – распространившаяся мода на “престижные” быстродействующие каналы связи, хотя для решения очень многих задач это быстродействие не требуется и только увеличивает затраты..

За вторую половину XX века ВЧ радиосвязь значительно усовершенствовалась: появились новые методы модуляции, связь между абонентами осуществляется через далеко вынесенный ретранслятор, используется система с исправлением ошибок, более точно прогнозируется прохождение радиоволн, применяются сигналы с временной и частотной избыточностью, в том числе антифединговые сигналы и т.д. Все это позволяет обеспечить на ВЧ высокую надежность связи, особенно при не очень высоких скоростях работы в десятки и сотни бит/сек, достаточных для решения многих народнохозяйственных задач. Это в полной мере относится к сети связи для ЧС, особенно для передачи ответственной очень краткой ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ о случившейся или надвигающейся ЧС.

Для получения информации о возможных ЧС и проведения работ по их предупреждению и ликвидации последствий, вся территория России разделена на семь регионов и определен город в каждом регионе, где базируется комиссия по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям вместе с узлом связи региона по ЧС. Сеть связи для ЧС (рис. 4.15) имеет следующие особенности:

1. В каждом регионе по ЧС выделяется один магистральный приемо-передающий коротковолновый центр. Анализ размещения ВЧ средств на территории России показывает, что технические возможности для этого имеются. Один или несколько приемников

этого центра круглосуточно работают в ждущем режиме для приема первичного сигнала о возможной ЧС, а его передающие устройства готовы к передаче как ответного квитирующего сигнала, так и передаче первичного сигнала, если это необходимо, другим регионам. Между КВ центром и узлом связи комиссии по ЧС устанавливается надежный канал связи.

2. В каждом регионе размещается необходимое число портативных или стационарных ВЧ радиостанций на потенциально опасных участках и объектах, где отсутствуют другие средства связи или требуется их дублирование на случай выхода из строя при ЧС. При приближении или наступлении ЧС радиостанция, управляемая оператором или средствами автоматики, посылает первичный сигнал о ЧС.

Наличие приемо-передающих центров на территории России создает уникальную благоприятную возможность для использования любого из них в качестве ретранслятора при передаче первичного сигнала о ЧС. При этом достоверность передачи повышается приблизительно на порядок [4.1] благодаря использованию оптимальной по протяженности трассы (2000...3000 км), где характерно односкачковое распространение волн. Вместе с тем при благоприятных условиях может быть использована передача первичного сигнала непосредственно на магистральный центр своего региона.

3. Комиссия по ЧС каждого региона должна иметь надежную связь с МЧС и другими регионами. Для этого могут служить уже имеющиеся на территории России средства связи. Однако для их дублирования на случай выхода из строя целесообразно в каждом регионе иметь наземную станцию спутниковой связи, соединенную каналом связи с комиссией региона по ЧС.

4. Для информационного обеспечения работ по ликвидации ЧС, в том числе при необходимости оповещения населения, используются имеющиеся средства связи региона и необходимый резерв подвижных средств связи комиссии по ЧС региона, перебрасываемых в район ЧС.

Если взглянуть на карту России и отметить на ней все имеющиеся средства передачи информации, то окажется, что связью обеспечены в основном Европейская часть России и южные регионы Сибири, Урала и Дальнего Востока. При удалении к северу плотность сетей связи резко снижается. Имеется небольшое количество меридиональных линий связи, в основном использующих оборудование ВЧ радиосвязи и сети специального назначения с использованием тропосферного рассеяния.

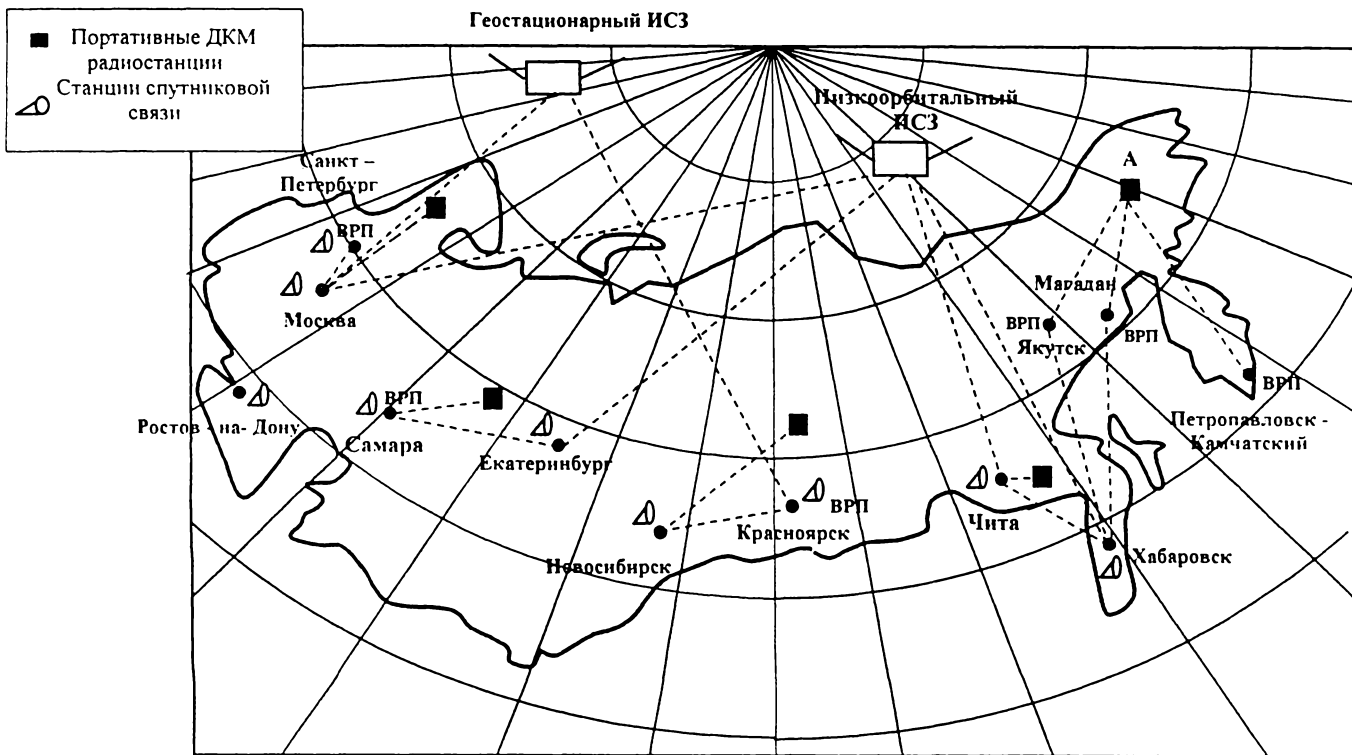


Рис. 4.15

При этом огромные площади Тюменской области, Красноярского края, Якутии, внутренние районы Магаданской области и Чукотки по-прежнему остаются без надежной, не говоря уже о высококачественной современной связи. Эти и им подобные информационные "белые пятна" на карте России должна ликвидировать предлагаемая сеть ВЧ связи, взаимоувязанная с уже существующими средствами связи и позволяющая обеспечить передачу ответственного ПЕРВИЧНОГО сигнала о ЧС.

Функционирование ВЧ средств региона осуществляется следующим образом. Первичный сигнал о ЧС от ВЧ станций, размещенных в регионе, может поступить либо через ретранслятор другого региона, либо непосредственно на приемный центр своего региона. При этом приемники, "ждушие" сигнал, могут для повышения помехоустойчивости использовать прием с разнесением по пространству или поляризации.

Сигнал о ЧС, состоящий из последовательности дискретных двоичных посылок, включает номер или шифр ВЧ станции, передающей этот сигнал, и некоторую минимально необходимую информацию о типе произошедшей или надвигающейся ЧС. Так как в регионе, в зависимости от размера его территории и числа потенциально опасных объектов, может быть от десятка до нескольких сотен ВЧ радиостанций для передачи первичного сигнала о ЧС, то номер станции сообщает координаты места возникшей ЧС. За номером должно следовать сообщение о типе ЧС. Здесь требуется классификация их по характеру, создаваемой угрозе населению региона и материальным ценностям. Если, например, для номера станции использовать 10 двоичных посылок и для характеристики ЧС – 15 посылок, то общая длительность первичного сигнала составит 25 элементарных посылок. Для повышения достоверности передачи можно предусмотреть повторение всего сообщения, например, 5 раз. Соответственно первичный сигнал о ЧС может содержать 125 посылок. Если в интересах надежности передачи предположить очень медленную работу – один бит в сек, то время передачи составит около 2 мин., если 50 бод – около 3 сек.

Прием сигнала о ЧС требует обязательного квитирования, т. е. посылки подтверждающего прием сигнала на радиостанцию, пославшую сигнал о ЧС. Если квитирования не произошло, то сигнал о ЧС повторяется. При этом не исключена возможность использования ретранслятора "чужого" региона, а также перехода на запасные частоты.

Для контроля готовности и работоспособности сети ВЧ связи региона необходим периодический мониторинг с помощью контрольных сигналов. Его можно проводить 1–2 раза в сутки по чет-

кому расписанию. Окна для мониторинга можно использовать одновременно для передачи необходимой служебной информации (смена волн, скорости работы и др.).

Оптимальный или близкий к нему прием дискретных сигналов может быть осуществлен при знании на приеме границ элементарных посылок. Это требует передачи в начале сеанса связи сигнала синхронизации (преамбулы) для выработки тактовых импульсов. Для этого передается 10–15 посылок, не несущих информации.

Периферийная ВЧ радиостанция является ответственным звеном сети связи для ЧС и должна надежно выполнять свои функции. Вместе с тем, ввиду ее массовости и возможности работы как в стационарном режиме, так и в переносном ранцевом варианте, она должна быть маломощной, иметь небольшой вес и простое ручное или автоматическое управление. Кроме того, станция должна иметь таймер для выхода на прием в определенные "окна" для приема сигналов мониторинга. В этой станции желательно иметь ВЧ и УКВ диапазоны и наряду с основным режимом дискретной связи иметь и выход на телефонную сеть. Диапазон УКВ может быть использован для связи в ближней зоне ЧС, при начале работ по ликвидации ЧС и т.д. Главные требования к станции: высокая достоверность передачи первичного сигнала о ЧС, малая мощность (для стационарных станций не более 50 Вт, для ранцевых 5...10 Вт), небольшой вес (стационарная около 10 кг, ранцевая около 4...7 кг), скорость передачи 10...300 бод, наличие кнопочного наборного пульта и дисплея для отображения сигналов.

Анализ отечественных и зарубежных образцов показал, что полностью удовлетворить этим требованиям не может ни одна из выпускаемых радиостанций. Создание такой радиостанции, которая, несомненно, найдет широкое применение в народном хозяйстве, а также у геологов, путешественников, туристов и альпинистов, – дело ближайшего будущего. Поэтому на данном этапе состояния промышленности России следует для целей ЧС приспособлять те радиостанции, которые уже выпускаются.

Из отечественных ВЧ станций может быть использована, например, портативная радиостанция "Ангара-1". Ее основные параметры: мощность передатчика 10 Вт, число рабочих частот 64000, диапазон частот – 1,6...8 МГц, телефонный режим – ВБП, телеграфный – АМ, питание – как от сети, так и от аккумулятора, масса около 9 кг. Основной ее недостаток – ограниченный диапазон волн, но при использовании радиоцентров других регионов в качестве ретрансляторов этот недостаток можно преодолеть.

Для использования станции в сети ЧС потребуется небольшая приставка к станции для набора посылаемого дискретного сообщения и индикатор приема квитирующего сигнала и сигнала мониторинга.

Одним из примеров зарубежной портативной аппаратуры, наиболее близкой по показателям к требованиям сети ЧС, может служить станция американской фирмы Harris – AN/PRC-138. Ее основные характеристики: частотный диапазон – 1,6...60 МГц, число фиксированных каналов 100, стабильность частоты 10^{-6} телефон – одна боковая полоса, скорость передачи дискретных сигналов 300...2400 Бод, питание – батарея 24 В, мощность 1,5; 5; 20 Вт, масса 2,46 кг, кнопочный пульт набора команд, встроенный дисплей для приема команд и контроля переданных сообщений. Эта станция принята для дуплексной связи в диапазонах ВЧ и УКВ в войсках специального назначения США. Отсутствие точного таймера в этих станциях можно заменить контролем по обычным часам, но соответственно увеличить протяженность временного «окна» для приема сигналов мониторинга и служебных сообщений.

Предлагаемая концепция позволяет создать эффективную и не требующую больших капитальных затрат сеть связи для ЧС на всей территории России, дополняющую имеющиеся средства передачи информации на территории страны, и базирующуюся, в основном, на использовании ВЧ радиосвязи и существующих магистральных приемо-передающих ВЧ радиоцентров, слабо загруженных в настоящее время.

4.9. Ионосфера как ресурс комплексной пейджерной сети радиосвязи

Целью и итогом развития электросвязи должно быть предоставление абонентам неограниченной возможности обмена информацией на любых расстояниях, в любое время, в покое и в движении. Общедоступность связи была достигнута благодаря телефону, но другие условия потребовали использования радио. Радиовещание позволило получать общие потоки информации всему населению, но эра общедоступной персональной радиосвязи началась, по существу, лишь во второй половине нашего века. Универсальной формой персональной подвижной радиосвязи стал сотовый радиотелефон. Одновременно получила развитие пейджерная радиосвязь, позволяющая передать абоненту краткое текстовое сообщение с отображаемое на дисплее миниатюрного приемника.

Мировой опыт свидетельствует о полезности и эффективности сотовой и пейджерной радиосвязи, оправдывающих их широкое внедрение. Однако по ряду причин развитие их в России отстает от США, Японии и стран Европы. Согласно [4.5] услугами подвижной радиосвязи к 1996 г. пользовалось менее 100 тыс. абонентов. Сообщалось также, что в Твери, крупном областном центре наиболее населенной части страны, число абонентов в 1995 г. достигло 400, что «не так уж мало»; сообщалось также, что в зоне между двумя российскими столицами, Москвой и Петербургом, ожидалось увеличение числа абонентов сотового телефона к началу 1997 г. до 1000. Эти данные свидетельствуют, что в первом десятилетии XXI века радиотелефон, по-видимому, все еще останется в России более редким средством, чем в ряде стран уже в данное время.

Известно, что в странах с более или менее высоким уровнем развития сетей электросвязи темпы увеличения количества пейджеров примерно на порядок превышают темпы расширения сотовых телефонных сетей. Но из данных [4.6] следует, что в России темпы развития этих видов связи различаются несущественно.

Анализ известных публикаций дает основание для нескольких ориентировочных выводов:

- преодоление отставания России за счет покупки и внедрения импортной аппаратуры не имеет перспектив ввиду масштабов нашей страны, ее социально-экономических, географических условий и долговременных хозяйственных трудностей;

- организация отечественного производства аппаратуры персональной радиосвязи требует обоснованного выбора комплексной системы, учитывающей условия страны, для чего необходимы дополнительные и ускоренные разработки;

- выпускаемая и внедренная аппаратура, основана главным образом на разработках 50-х и 60-х годов; в ней не учтены важные изобретения и усовершенствования последних лет; их анализ позволит ускорить сравнение и выбор оптимальных решений для радиопромышленности с учетом специфики условий России;

- Поскольку персональная радиосвязь должна гармонически входить в комплексные сети связи страны, необходимы разработки оптимальной общей схемы радиосвязи, увязанной с другими сегментами этой сети. Структура и функционирование подобной комплексной сети связи страны, основывающейся на ВЧ радиосвязи с использованием вынесенных ретрансляторов, подробно проанализирована ниже в §4.10. Однако в схеме §4.10 не отражена возможность включения в комплексную сеть каналов передачи через радиостанции звукового вещания. Стереофоническое радиовеща-

ние в выделенной на международной основе полосе частот 87,5...108 МГц и с частотными присвоениями из сетки с шагом 100 кГц использует ЧМ. Для передачи одного из комплексных спектров звуковых частот применяется поднесущая 38 кГц. Для восстановления поднесущей служит пилот-сигнал 19 кГц. В системе передачи данных по каналам радиовещания в спектр модуляции дополнительно вводится поднесущая с утроенной частотой пилот-сигнала, 57 кГц.

Кодированная информация передается на этой поднесущей с квадратурной АМ и служит для различных целей, как, для автоматической перестройки радиовещательного приемника на частоту канала с более высоким качеством приема, или по расписанию на заранее запланированную программу, либо для передачи автомобилям дорожной информации в зоне обслуживания, а также данных местного времени, дня недели, числа месяца и т.д.

Цифробуквенная информация, передаваемая по каналам звукового радиовещания, может служить для разных целей и в комплексной сети радиосвязи по схеме рис.4.17 Радиовещательные станции могут быть одновременно узловыми центрами сотовой и пейджерной связи, что сопряжено с экономическим выигрышем. Кроме того, открывается возможность создания класса приемников, в которых прием вещания совмещается с выполнением функций пейджера.

Приемник с каналом приема дополнительной информации, помимо обычных тюнера, усилителя промежуточной частоты, детектора, стереодемодулятора и двухканального усилителя звуковой частоты, содержит демодулятор данных, передаваемых на выделенной фильтром поднесущей 57 кГц, а также микрокомпьютер, в состав которого входят микропроцессор, ПЗУ, ОЗУ и ППЗУ, а также дисплей.

Тастатура управления приемником обеспечивает наряду с приемом вещания, выполнение дополнительных функций. В микропроцессор из демодулятора данных поступают тактовые адресные, информационные и прочие сигналы соответственно функциям приемника. Ввиду ограниченности зоны действия УКВ передатчиков приемники сети вещания могут быть связаны с абонентскими станциями радиосвязи в каждой зоне и служить для передачи им групповых управляющих сигналов. В частности, сигналы точного времени, передаваемые через сеть вещания, могут служить для частотной коррекции опорных генераторов, тактовой и кадровой синхронизации каналов приема данных. Возможна передача по этим каналам и адресной информации для индивидуальных абонентов, что потребует, однако, дополнительной разработ-

ки. Достигнутая уже степень интеграции позволяет осуществлять устройства подобной сложности в малогабаритном исполнении.

В отличие от УКВ ЧМ каналов, существующие коротковолновые, а также СВ и ДВ радиовещательные каналы с АМ, вследствие ограниченности занимаемой полосы частот не позволяют совместить передачу звуковой программы и существующего объема дополнительной информации; тем не менее не следует считать эту проблему неразрешимой; она должна оставаться предметом дальнейшей разработки. Решение этой задачи важно, поскольку в обширных зонах со слабо развитыми средствами связи прием программ вещания, как правило, обеспечивается в достаточной мере. Речь может идти об использовании небольшой части полосы частот для передачи данных с малой скоростью без существенных помех звуковой программе, а также для выделения для этой цели небольших интервалов времени. Не исключается и поиск иных способов уплотнения канала.

Параметры, определяющие потенциальную емкость сети пейджерной связи для отдаленных и малонаселенных регионов, подлежат уточнению. Алгоритм ее ориентировочной оценки сводится к перемножению нескольких параметров.

Первый параметр, K_1 – количество выделяемых полос частот, ширина которых может составлять 10 кГц. Это количество не может быть большим по причине перегруженности диапазона дециметровых волн не только вследствие использования его для дальней радиосвязи и радиовещания, но и по условиям распространения волн с учетом практики их чередования на протяжении суток.

Специфика пейджерной связи делает желательной круглосуточную работы сети без смены волн. О том, что это возможно, можно судить по факту устойчивого приема зарубежного коротковолнового радиовещания в центральном регионе России на расстоянии ионосферного скачка. Разгрузка коротковолнового диапазона благодаря внедрению спутниковой связи позволяет в перспективе увеличить K_1 .

Второй параметр, K_2 – количество повторений полосы частот в зонах, разнесенных по пространству страны, что возможно при использовании направленных антенн на радиопередателерах.

Третий параметр, K_3 – количество абонентских каналов в одной полосе. Это количество увеличивается при применении узкополосных каналов с низкой скоростью передачи. Это не только возможно, но и желательно по условиям распространения волн.

В целях увеличения K_3 допустимо применение АМ с минимальной шириной спектра.

Четвертый параметр, K_4 характеризует разделение каналов по времени, реализуемое при высокой частотной стабильности как передатчиков, так и приемников-пейджеров. Требуемая стабильность вполне достижима и позволяет осуществить пакетную передачу с синхронизацией приема пейджерами адресуемых им пакетов.

Пятый параметр, K_5 учитывает использование фактора вероятности вызова в условиях реальной потребности в вызове на протяжении суток. Этот параметр учитывает, что имеется много абонентов, вызов которых происходит не ежедневно, а еще большее количество их может получать за сутки лишь от одного до нескольких вызовов. Это уменьшает загрузку каналов во времени и позволяет использовать каждый канал для передачи сообщений многим абонентам с адресным (кодовым) разделением.

Ориентировочные оценки по минимуму позволяют предположить, что значения этих параметров могут быть примерно такими: $K_1 - 5-6$, $K_2 - 8-10$, $K_3 - 50-100$, $K_4 - 20-30$, $K_5 - 30-50$.

Количество абонентов сети, равное произведению этих коэффициентов, может превышать миллион. С учетом существования других средств связи и реальной потребности это число было бы достаточным на несколько десятилетий.

В литературе 1992 г. уже имеются сообщения, что в ФРГ ежегодно вводится до 3000 новых сетей персонального вызова; ежегодно не менее 70 тыс. чел. получают возможность пользоваться миниатюрным приемником на территории предприятия, в больнице, на транспорте и т.п. Новым поколением карманных приемников сеть персонального вызова расширила фирма Филипс. Ее приемники 1992г. обеспечивали более семи видов тональной сигнализации вызова при трех вариантах адреса, что достигалось при простом однокнопочном управлении. При массе 70 г и размерах 82x53x15,5 мм пейджер Филипс сопоставим с колодой игральных карт. Приемник может применяться в диапазонах ОВЧ и УВЧ. Но возможности миниатюризации пейджеров еще не были исчерпаны.

Микроэлектроника сделала возможным внедрение электронных наручных часов с дисплеем на светодиодах или жидких кристаллах, со звуковыми и вибрационными сигнализаторами. При нажатии кнопки можно прочитать на дисплее суточное время, календарные день и дату, вести отсчет секунд. Замена циферблата дисплеем позволила разместить на лицевой стороне часов второй дисплей. Наличие кварцевого генератора и интегральной технологии сделали возможным совмещение часов и пейджера, для которого и потребовался второй дисплей.

Конструкции ручных часов – пейджеров запатентованы рядом зарубежных фирм и свидетельствуют о их детальной промышленной разработке.

Совмещение пейджера с часами имеет смысл не только с точки зрения удобства иметь одно устройство с двумя функциями, к тому же миниатюрное, вместо двух устройств. Вторым аргументом состоит в применении общего опорного генератора для получения секундных импульсов отсчета времени и синхронизации в системе уплотнения во времени каналов сети персонального вызова. Включение пейджера для приема сообщений в отведенные ему интервалы времени и отключение на все остальное время позволяет использовать другие интервалы для передачи сообщений другим абонентам, т. е. служит ресурсом для увеличения емкости сети связи. Кроме того, при этом срок службы батареи питания пейджера растет пропорционально отношению времени выключения к времени включения.

Представляет интерес использование браслета часов-пейджера в качестве элемента комбинированной антенны. Браслет, охватывающий запястье руки, создает контакт входа приемника с телом человека и в совокупности эффективный размер антенны увеличивается. В реальности этого нетрудно убедиться: если взяться пальцами за короткую штыревую антенну карманного радиовещательного приемника, то громкость приема, как правило, заметно возрастает.

Практика телеграфа и электронной почты, разновидностью которой в сущности является пейджерная связь, показывает, что передаваемые сообщения по большей части кратки и не отличаются многообразием. Это с давних пор используется для экономии времени передачи и ресурса применяемых технических средств. Фразы с типовыми текстами могут кодироваться последовательностью нескольких букв или цифр. Этот метод распространен в профессиональной и любительской радиосвязи, в международной и национальной практике и легко реализуется в форме словарей-справочников. Не трудно подсчитать, что набор двухбуквенных кодовых слов позволяет при алфавите из 30 букв построить свыше 400 различных сообщений, трехбуквенных – более 4000, а четырехбуквенных – около 30 тысяч. Кроме того, этим способом можно обеспечивать защиту сообщений от радиоперехвата.

Другой результат кодирования – воспроизведение значительных объемов информации на миниатюрных дисплеях, характерных для пейджеров, хотя и ценой некоторого неудобства чтения переданных текстов с применением справочника. О реальности описанного способа связи свидетельствует опыт почти ста лет,

реализованный в международном словаре [4.8]. Для пояснения приведем два произвольных примера из этого словаря: ЩУХ – «Сообщите мне барометрическое давление на уровне моря в настоящее время»; ЩУС – «Обнаружили ли Вы спасающихся или обломки от кораблекрушения? Если да, то где?». Цитируемый код содержит более 600 типовых сообщений подобного рода. К числу позиций кода, естественно, должны быть отнесены сообщения о тревоге, бедствии, срочности и условиях безопасности. Его словарь для радиостанций конкретного назначения допускает миниатюрное издание и вполне может находиться вместе с пейджером в общем футляре; но перевод «код – текст» допускает и автоматизацию.

В условиях России имеется много зон, в которых пейджерная связь вполне может осуществляться с применением технических средств, подобным зарубежным, но имеются и очень большие территории, на которых необходимо обеспечить прием в диапазоне ВЧ (см. § 4.10). Значительный интерес представляет в качестве возможного прототипа двухчастный пейджер, предложенный в [4.9]. Эта разработка поддержана известной корпорацией Моторола (США), сыгравшей большую роль в создании и глобальном распространении пейджерной радиосвязи. Схема этого устройства показана на рис. 4.16. Сигналы вызывающего абонента передаются к пейджеру-часам на браслете от передатчика ПД через промежуточный трансивер, который может быть укреплен на поясе пользователя, как показано на схеме, либо может носиться в кармане или сумке. Подобная структура может быть положена в основу разработки универсального пейджера для условий России.

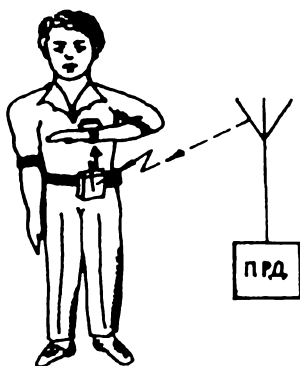


Рис. 4.16

Поскольку для трансивера, носимого на поясе, не требуются столь жесткие габаритные ограничения, как для пейджера на браслете, его можно выполнить двухдиапазонным, причем увеличение размеров и веса будет незначительным. Поясной модуль может иметь и дополнительный дисплей. Процессор поясного приемника будет в соответствии с программой и алгоритмом переключать его на прием либо дальних сигналов в диапазоне ВЧ, либо на прием в местной сотовой микроволновой сети. Пользователь может изменять программу, пользуясь клавиатурой.

Структура вида рис. 4.16 позволяет осуществлять:

- адаптацию пейджера к разным стандартам радиовызова и радиовещательного приема, а также прочим условиям разных территорий;
- совмещение персонального вызова и радиовещательного приема, включая комплексные каналы передачи сообщений на поднесущей по каналам звукового УКВ вещания;
- запись и хранение значительных объемов информации с неограниченной возможностью последующего прочтения.

4.10. Роль и проблемы ВЧ радиосвязи в комплексной системе связи Российской Федерации.

Как уже отмечалось, в ВЧ радиосвязи испытывают заметную нужду государственные структуры и отрасли экономики (метеослужба, геология, речной, авто- и авиатранспорт, сельская связь в малонаселенных или удаленных регионах и др.). В условиях развивающихся рыночных отношений большое значение приобретает обеспечение радиосвязью новых категорий потребителей, таких как коммерческие структуры, фермерские хозяйства и др., способных обеспечить экономическое развитие, но расположенных в регионах, испытывающих острый недостаток в средствах связи. Оснащение этих регионов многоканальными средствами связи с высокой пропускной способностью во многих случаях требует крупных капитальных вложений в течение длительного периода времени. На этот период представляется целесообразным быстро ввести в эксплуатацию недорогие ВЧ системы связи, способные обеспечить эффективную деятельность различных категорий пользователей.

При характерных для России крайней неравномерности распределения населения, многообразии и сложности географических и климатических условий и сохраняющемся во многих регионах недостаточном развитии средств электросвязи КВ радиосвязь не толь-

ко сохраняет свое значение, но требует дальнейшего развития и значительной реконструкции. К сожалению, в концепции развития связи Российской Федерации [4.10] роль и место ВЧ радиосвязи во взаимоувязанной сети связи России практически не отражены.

Виды применения радиосвязи в взаимоувязанной сети связи страны определяются многими условиями, в числе которых как наиболее существенные должны учитываться следующие:

1. Происходящие в последние годы глубокие социально-экономические преобразования вместе с научно-техническим прогрессом и развитием культуры привели к росту массовых перемещений людей и материальных ценностей, что связано с возрастанием потребности в подвижных службах связи для обмена информацией, контроля и управления. Подвижные службы реализуемы практически исключительно средствами радиосвязи (РС).

2. Образующие основу фиксированных служб и электросвязи (ЭС) в целом базовые сети континентального масштаба, обладающие достаточно большой пропускной способностью могут быть обеспечены в ближайшей перспективе развитием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и использованием спутниковых систем, главным образом на геостационарных спутниках (ГСС). Значение многопролетных радиорелейных линий (РРЛ) большой протяженности в перспективе, по-видимому, будет уменьшаться из-за сравнительно высокой стоимости их оборудования и обслуживания а также недостаточной надежности, в особенности в экстремальных ситуациях.

3. Дальние радиолинии фиксированной службы ВЧ радиосвязи, несмотря на их относительно малую пропускную способность, благодаря высокой надежности должны сохранить свое значение в качестве горячего резерва основных фиксированных служб дальней ЭС.

4. Ввиду высокой стоимости капитальных сооружений магистральной ВЧ радиосвязи и их эксплуатации необходимы меры по повышению их экономической эффективности путем расширения их функций, т. е. требуется разработка и реализация их комплексного использования.

5. Потребность в подвижной РС вооруженных сил, органов безопасности, других специальных служб, а также коммерческих организаций и населения по большей части ограничена расстоянием в несколько десятков км. Соответственно она может удовлетворяться средствами РС в диапазонах ОВЧ и УВЧ. Выделение и использование частотных полос, а также обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) в этих диапазонах не связано с непреодолимыми организационными и практическими трудностями, а

возможное количество абонентов в предвидимом будущем можно считать неограниченным. Имеются достаточные основания предполагать, что вероятное количество подвижных абонентов местных сетей ЭС (в густо населенных районах – сотовых сетей) в перспективе примерно на порядок меньше числа абонентов местных телефонных (ТФН) сетей, т. е. примерно соответствует количеству абонентов телексной (ТЛК) и телефаксной (ТФК) сетей; в масштабах нашей страны можно оценить это количество примерно в 10 млн.

6. В соответствии с отмеченными выше специфическими условиями России крайне важной проблемой было, остается и, по-видимому, останется еще в первой четверти будущего века обеспечение средствами связи хозяйства и населения на больших территориях с значительными расстояниями между населенными пунктами, со сравнительно малой плотностью населения и со слабо развитым транспортом. Использование в этих условиях РС через ГСС и низколетящие спутники может решить многие проблемы, но сопряжено со значительными материальными трудностями и, вероятно, потребует много времени. Кроме того, спутниковые системы, сравнительно легко реализуемые в стационарных условиях и в морской службе, значительно труднее использовать для персональной связи в полевых условиях. Более реалистичным и экономически целесообразным представляется применение для этих целей ВЧ радиосвязи. Вероятное количество абонентов, нуждающихся в такого рода связи, можно предположительно оценивать как на порядок меньшее, чем в п. 5, т. е. считать, что оно может составлять около 1 млн. человек.

7 В условиях, указанных в пункте 6, особое значение приобретают специальные сети передачи данных для оперативной информации и сигнализации повышенной важности, срочности и секретности, телеметрии, охранной сигнализации, диспетчерского управления и автоматизации необслуживаемых нефтяных и газовых скважин, в энергосетях и на транспортных магистралях большой протяженности. К службам подобного рода относятся слежение за перемещением грузовых потоков; сбор геофизической и метеорологической информации; наблюдение за вскрытием рек, пожарами, радиологической обстановкой, состоянием почвы и атмосферы; передача прочей неотложной информации об опасностях, бедствиях и т.п.

Источники сообщений и датчики контролируемых величин могут быть связаны с ВЧ радиопередатчиками непосредственно, либо через промежуточное звено в микроволновом диапазоне (СВЧ или УВЧ), а в случае приема информации от подземных или морских подводных объектов – через дополнительные стационар-

ные промежуточные средства, например, по линиям связи в мириаметровом диапазоне или через звено индуктивной связи в диапазоне звуковых частот.

В [4.1] убедительно показана полная возможность и технико-экономическая целесообразность построения таких сетей на основе ВЧ радиосвязи с применением несложной, малогабаритной и дешевой радиоаппаратуры минимальной мощности. Они вполне могут образовывать подсистемы в комплексе средств РС страны.

Как было показано выше, для удовлетворения потребности в средствах электросвязи (военной, хозяйственной и гражданской), желательно использовать ионосферную ВЧ радиосвязь. Надежность и устойчивость ВЧ радиоприема подтверждается многолетним опытом звукового радиовещания по твердому расписанию, которое США, ФРГ и другие страны регулярно ведут на Европейскую часть России через передатчики, расположенные в центре Западной Европы. Следует учитывать, однако, что экономичность и функциональная готовность любых технических средств могут быть обеспечены только в условиях непрерывной эксплуатации.

Если рассматривать ВЧ радиосвязь главным образом как резервную, то полноценная непрерывная эксплуатация ее исключается. При наличии и работоспособности высокоэффективных средств ЭС – кабельных магистралей, спутниковых систем, местных ТФН, ТФК и ТЛК линий и сотовой подвижной службы резервная сеть оказывается в течение длительных интервалов времени практически вовсе без нагрузки. В то же время, как уже отмечалось выше, в нашей стране имеется реальная потребность в постоянно действующей службе ВЧ радиосвязи и ориентировочное количество нуждающихся в ней абонентов, как уже было отмечено выше, может достигать 1 млн. человек.

Проблема может быть решена применением лишь небольшой части (менее десяти) из множества имеющихся в стране коротковолновых магистральных радиоцентров (МРЦ). Мощная передающая радиостанция МРЦ в предлагаемой системе используется в качестве вынесенного ретранслятора для многоканального обмена потоков двоичной информации. Применение вынесенного из обслуживаемой зоны ретранслятора обеспечивает подобной системе связи целый ряд положительных свойств (см. § 4.3).

В системе связи с ВРП, как уже отмечалось выше, зона наиболее благоприятных условий приема может иметь форму кольца, в центре которого находится МРЦ, используемый в качестве ретранслятора. В то время как внутренний радиус кольца составляет 3000 км, внешний радиус соответствует расстоянию, на котором условия приема остаются приемлемыми: порядка 4000 км.

МРЦ, расположенный в области средних широт России, может обслуживать в этом случае две зоны, близкие к меридиональным, шириной по 1 тыс. км (на востоке и западе от радиоцентра), т. е. в сумме территорию около 2000 км.

Из изложенного следует, что 5-6 МРЦ, расположенных приблизительно на одной широте, достаточно для обслуживания территории, протяженной в долготном направлении более чем на 10 тыс. км, т. е. практически большей части территории страны. Поскольку МРЦ связаны друг с другом фиксированными магистралями ЭС, которые целесообразно дополнить средствами связи через ГСС и НС, обеспечивается практически неограниченная возможность связи каждого абонента любой из зон с каждым абонентом из любой другой зоны. Можно предполагать, что основной трафик в такой системе ограничится зоной; требования к объемам межзонового обмена значительно ниже и соответственно легко выполнимы.

При количестве зон 10-12 и допущении примерно равномерного распределения между зонами обслуживаемых абонентов, в каждой зоне их количество при изложенных выше предположениях может достигать до 100 тыс. человек и более.

Пакетная радиосвязь. Относительно малый частотный ресурс, реализуемый средствами РС на коротких волнах, требует выбора способов передачи информации, обеспечивающих его наиболее эффективное использование. С этой точки зрения телефонный канал, требующий для одного коммерческого канала полосу 3-3,5 кГц, следует допускать только в исключительных случаях. Предпочтительным видом связи следует считать телеграф, получающий в последние годы все более широкое распространение во всей системе ЭС. Распространенный телеграфный режим со скоростью обмена 50 бит/с теоретически допускает возможность передачи в полосе менее 50 Гц, что реализуемо и в практических системах. Соответственно один телефонный канал допускает размещение в его полосе не менее 25 телеграфных каналов.

Радиопередатчик, рассчитанный на передачу радиовещательных программ или четырех телефонных сигналов РС с одной боковой полосой (ОБП), имея полосу пропускания порядка 16 кГц, позволяет одновременно передавать сообщения более 300 абонентов. Следует иметь в виду также, что этот вид связи не исключает возможность работы по тем же каналам ТФК и ТЛК с применением устройств памяти. В сущности, речь идет об отказе от использования в рассматриваемых каналах РС от дуплексной ТФН в реальном времени в пользу пакетной передачи. Указанное выше ограничение приводит к существенному снижению хозяйственного и эргономического уровня РС.

Увеличение удельного веса передач дискретной информации по сравнению с прямой (с голоса) передачей речи характерно не только для России. Консультация со специалистами компании Rohde&Schwarz, одной из крупнейших фирм мира в области производства средств РС, свидетельствует, что речевая связь, оставаясь предпочтительной в странах «третьего мира», в развитых странах в значительной мере вытесняется дискретной. Фирма, отмечая интенсивный переход к дискретной связи, начавшийся с 80-х г оценивает итог этого перехода уже в 80%. Сообщается, в частности, что посольства уже почти полностью отказались от голосовой передачи информации на том основании, что передача данных обходится в 10 –15 раз дешевле [4.11].

В сущности речь идет о пакетной РС между передающим абонентом (АПД) и отдельным или несколькими приемными абонентами (АПР) по незакрепленным каналам с использованием между АПД и АПР промежуточных станций – ретрансляторов, на которых кодированные сообщения – пакеты информации (ПИ) – могут вводиться в запоминающее устройство (ЗУ) и подвергаться обработке в интересах надежности, качества и закрытости их передачи.

Наименьший объем ПИ соответствует извещению о факте вызова в предположении, что адрес АПД для последующего подтверждения факта получения вызова известен АПР. Такое сообщение, содержащее только адрес АПР будем квалифицировать как «пакет 1-го уровня» и обозначать ПИ1

При вероятности вызова АПР несколькими АПД с разными адресами ПИ1 реализуется путем последующей связи с базовой станцией, от которой им могут быть получены как адрес АПД, так и сопутствующая информация, если таковая была передана АПД и введена в ЗУ базовой станции. Следующий в порядке увеличения объема информации «пакет 2-го уровня» содержит как адрес АПР, так и адрес АПД; такой пакет условимся обозначать ПИ2. Получив ПИ2, АПР может выяснить цель вызова и получить связанную с ним информацию посредством связи непосредственно с АПД по тем или иным каналам ЭС.

Дальнейшее развитие того же принципа предполагает, что пакет содержит оба указанных выше адреса, и отправляемое со стороны АПД предназначенное для АПР сообщение, которое вводится в ЗУ приемного устройства. Такой «пакет 3-го уровня» условимся соответственно обозначать ПИ3. Помимо собственно информационных пакетов, разумеется, требуется передача специальных служебных сообщений.

Общая схема организации радиосвязи. Изложенные выше принципы определяют генеральную схему средств РС в мас-

штабе России. В несколько упрощенном виде она изображена на рис.4.17 Здесь ЦУ – центр управления сетью. При детальной разработке можно предполагать, что потребуется несколько ЦУ, взаимосвязанных и подчиненных общей логике. ЦУ располагает процессором достаточной информационной мощности и ПЗУ и ОЗУ достаточной емкости, чтобы обеспечивать обработку и учет вызова и прохождения пакетов информации (ПИ) в сети. По-видимому, целесообразно совместить территориально ЦУ с одним из МРЦ в центре страны, тем самым предоставив этому МРЦ роль главного. Естественно, что главный МРЦ может (и, по-видимому, должен) резервироваться. МРЦ связаны друг с другом наземными магистральными линиями и спутниковыми линиями РС через ГСС и НС.

В зонах с ВЧ радиосвязью, обслуживаемых МРЦ, на расстоянии одного скачка (на схеме – пунктирное кольцо) находятся ВЧ абонентские станции (АС) – АС1. Эти АС обеспечивают прием ПИ1 и ПИ2, либо комплексный обмен ПИ3. В последнем случае они содержат трансивер и комплект оконечной аппаратуры, подобный указанному выше для земных станций системы INMARSAT. Миниатюрные АС1 могут содержать дисплей на жидких кристаллах.

В зоне обслуживания МРЦ находятся также узловые центры (УЦ), обслуживающие АС, которые работают в микроволновых диапазонах – АС2. Те же УЦ в отдельных случаях могут служить базовыми станциями сотовой сети РС. При этом ресурс УЦ может быть многократно увеличен подключением их к сети спутниковой РС через ГСС и НС. По-видимому, целесообразно, чтобы УЦ совмещался с МРЦ, как это показано на рисунке.

Каждая АС в принципе может получить связь с любыми другими АС через соответствующий УЦ и МРЦ в пределах всей территории страны. Ответственную роль в решении этой задачи играет система адресных сигналов и ждущего режима АС. Для наглядности в описанной схеме не показаны некоторые службы и устройства: а) служба управления выбором и распределением частот; б) служба времени и синхронизации; в) ионосферная служба (осуществляет периодическое зондирование ионосферных каналов); г) устройства контроля за загрузкой частотных полос и состоянием электромагнитной обстановки; д) устройства служебной связи и др. Некоторые из этих служб («а», «б», «д») охватывают все станции: базовые, абонентские и пункты управления; другие сосредоточены в пунктах управления. Эти службы и устройства обеспечивают автоматическую коррекцию волнового расписания, разделение каналов РС по частоте, времени и пространству, использование помехозащитных устройств и пр.

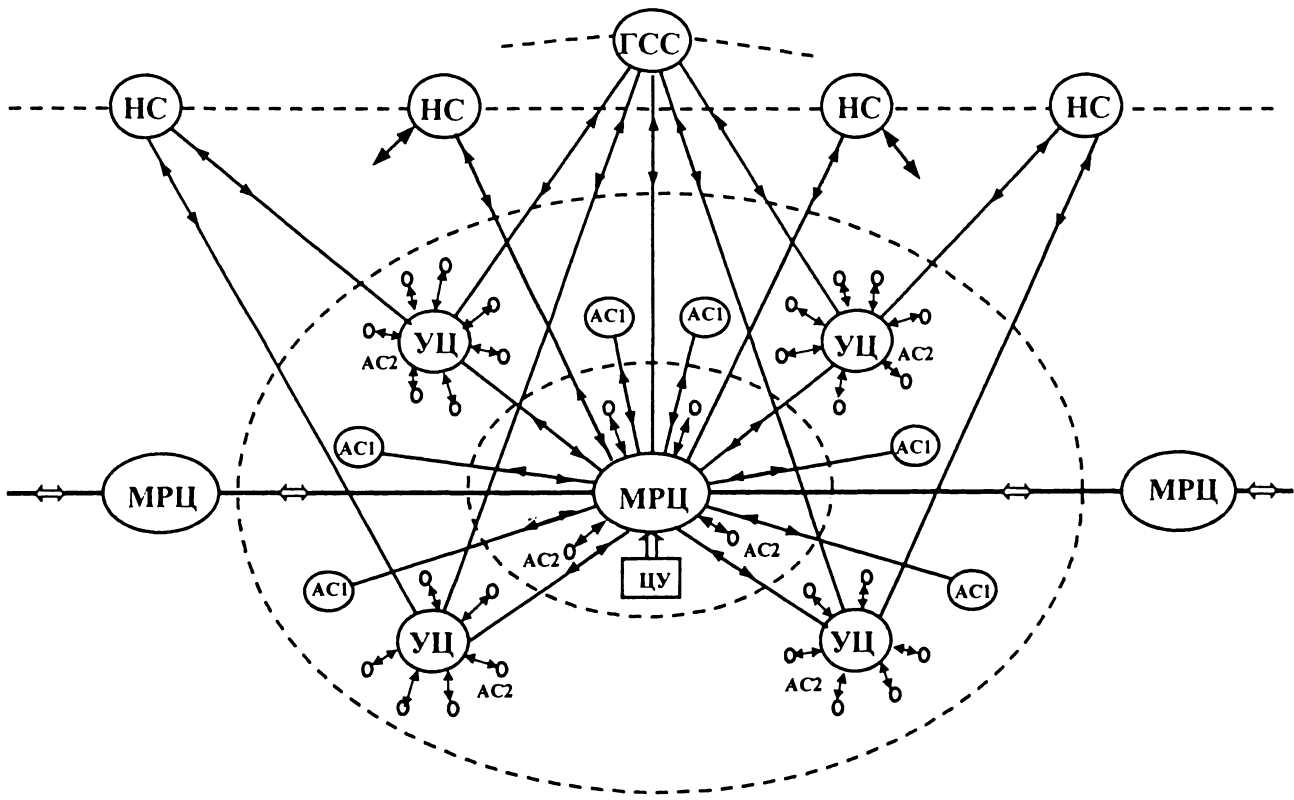


Рис. 4.17

Комплексная автоматизация КВ радиосвязи. Автоматизация оборудования и эксплуатации МРЦ и УЦ – задача давняя и уже нашедшая достаточно успешные решения. Ниже рассматриваются наиболее характерные проблемы комплексной автоматизации радиосвязи в системе в целом.

Основные цели и функции автоматизации РС сводятся к обеспечению:

 доведения вызовов и информации от АПД до места, в котором находится АПР, в форме, позволяющей осуществить прием;

 гарантированного приема и воспроизведения вызова и информации от АПД приемным устройством АПР без необходимости в каких-либо операциях со стороны АПР по управлению и регулированию;

 безотказности, простоты и удобства пользования;

 минимальной стоимости эксплуатации и долговременной функциональной готовности без операций обслуживания, не связанных непосредственно с передачей информации.

Специфика автоматизации РС, особенно в условиях России, состоит в нерегулярном распределении АС на очень большой территории и их взаимной отдаленности при слабом развитии и неоднородности фиксированных средств ЭС между регионами этой территории. В условиях описанной сложной распределенной системы осуществление комплексной автоматизации в значительной мере зависит от системных и аппаратурных решений по трем взаимосвязанным направлениям:

 оптимальные формы и объемы нумерации абонентов и соответствующих кодированных сигналов вызова;

 служебная связь между главным и региональными ЦУ, МРЦ и УЦ;

 согласованный с системой служебной связи ждущий режим АС, обеспечивающий прием вызова независимо от присутствия и внимания пользователя АПР

Классификация абонентских станций. Техническая реализация системы, отвечающей изложенным условиям, требует учета неоднородности абонентской сети, очевидной из генеральной схемы рис.4.17 По ряду признаков АС могут быть разделены на несколько уровней. Классификация уровней может быть построена в порядке возрастающей сложности с учетом трех видов их основных ресурсов: А. функциональных; Б. эксплуатационных; В. частотных.

По функциональным признакам характерны следующие уровни:

А1. Прием вызова с эффективной сигнализацией без сопутствующих сообщений: у абонента имеется только радиоприемник (РПР);

А2. Прием вызова и сообщений с сигнализацией и с воспроизведением принимаемых сообщений (у абонента также РПР);

А3. Передача вызовов и сообщений посредством клавиатуры и прием вызова и сообщений с эффективной сигнализацией и воспроизведением на дисплее. У абонента этого уровня имеются трансивер и дополнительные устройства.

В прессе недавно сообщалось о введении в городах Великобритании телефонных аппаратов «текстофон» с клавиатурой для набора текста передаваемого сообщения и миниатюрным дисплеем для приема ответных сообщений. Очевидно, что этот же дисплей может служить АПД и при наборе передаваемого текста, вводимого для последующей передачи в ОЗУ. Оконечные устройства подобного рода могли бы быть с успехом применены на АС этого уровня.

А4. То же, что в п.А3, а также с автоматическим вводом различных видов информации (цифро-буквенных текстов в одном или нескольких алфавитах, кодированных речевых сообщений через ВКД, изображений и др.) из ЗУ персонального компьютера или других накопителей информации; эффективная сигнализация поступающих вызовов, автоматическая запись кодированных сообщений на дисплее и воспроизведение информации других видов. У абонента этого уровня имеются трансивер и ряд дополнительных устройств (ТЛК, ТФК, ВКД, принтер и др.).

К эксплуатационным различиям вариантов абонентских станций относятся следующие:

Б1. Местонахождение абонента – фиксированное.

Б2. Абонент свободно перемещается в пределах определенного населенного пункта и прилегающей к нему местности на расстояниях до десятков километров.

Б3. Абонент произвольно перемещается на любые расстояния в пределах страны;

Б4. В более отдаленной перспективе, при международном согласовании норм и стандартов, абонент сохраняет возможность передавать и принимать вызовы и сообщения в любое время, находясь в любой части света.

Выбор частотного ресурса зависит от указанных выше эксплуатационных условий и предполагает следующие варианты диапазонов абонентских станций:

В1. Один фиксированный частотный канал в микроволновом диапазоне;

В2. Несколько переключаемых микроволновых каналов;

В3. Ряд каналов в диапазоне КВ;

В4. «Всеволновый» вариант с возможностью настройки станции для передачи и приема или только приема в любом из выделенных каналов в микроволновых диапазонах и КВ.

Уровень А1 характерен, главным образом, для местной и внутривыполнительской связи (например, диспетчерской), когда АПР точно знает, откуда или от кого может или должен последовать вызов. Расширение функций АС этого уровня предполагает возможность для АПР воспользоваться какими-либо другими средствами связи с УЦ, чтобы получить от дежурного оператора или автоответчика дополнительную информацию о содержании сообщения и источнике вызова. Этот вид связи получил некоторое применение в 60-е годы и продолжает встречаться, но сложен и неудобен в эксплуатации; автоматизация в этом случае затруднена и имеет ограниченные перспективы.

К достоинствам этого уровня можно отнести минимальные размеры и энергопотребление АС; последнее делает возможным, в частности, использование в АС солнечной батареи, что упрощает эксплуатацию и обеспечивает высокую степень функциональной готовности к приему вызова.

Более высокий уровень А2 первоначально реализован, как и А1, главным образом, в относительной близости от УЦ (условия Б1 и Б2), но этот вид связи получает развитие также и в вариантах условий Б3 и даже Б4 при использовании соответственно различных частотных ресурсов (В1-В4) и различной конструктивной сложности АС.

Уровни А3 и А4, предполагающие наличие у абонента радиопередатчика или трансивера, возможны для отдельных АС2 и желательны для АС1, включенных в систему ИРС. При этом уровень А4 реален главным образом для стационарных АС.

Служебные каналы в системе автоматизированной радиосвязи. В функции служебной связи входят прежде всего управление передачей вызовов и информации от АПД к АПР. Специфика РС в системе ЭС состоит в ограниченности частотного ресурса, особенно острой в ИРС. В условиях растущей потребности в РС и, соответственно, роста абонентской сети всех уровней, одной из главных задач автоматики и служебной связи оказывается учет частотных каналов, распределение их и предоставление с минимальной задержкой во времени вызывающим и отвечающим абонентам при условии максимальной эффективности их использования и обеспечения ЭМС.

Одно из условий достижения этой цели – учет и хранение в ПЗУ, ППЗУ и ОЗУ адресных номеров обслуживаемых абонентов. При этом в памяти каждого УЦ должны сохраняться номера абонентов, постоянно находящихся в его зоне обслуживания, а в дополнительном ППЗУ или ОЗУ – номера зарегистрированных временно прибывших абонентов, либо абонентов, известивших о возможности прибытия в эту зону. В памяти региональных ЦУ и главного ЦУ должны сохраняться номера всех обслуживаемых абонентов, а также данные о местах их возможного постоянного или временного присутствия.

Если абоненту, передающему вызов, предположительно или достоверно известно, на какой территории находится вызываемый абонент, то вызов может быть передан непосредственно через соответствующий УЦ путем набора его адресного номера перед собственным номером вызываемого абонента. Если зона точно не известна и абонент может с примерно равной вероятностью находиться на территории, охватывающей две или три смежные зоны, то вызов может быть передан через региональные ЦУ. При этом предполагается, как указывалось выше, что в памяти главного ЦУ хранятся адресные номера всех обслуживаемых абонентов, передавших свои данные непосредственно, либо через региональные центры.

Детальная разработка алгоритмов автоматической передачи вызовов в сложных условиях России еще предстоит, однако для дополнительной иллюстрации характера и сложности поставленной задачи ниже описан один из возможных вариантов алгоритма вызова АПР, находящегося в отдаленной местности.

Радиопередатчик местного УЦ или МРЦ передает одну или несколько программируемых команд, которые определяют один или несколько каналов с разделением по частоте или времени, либо по частоте и по времени, в которых РПР той или иной АС должен принимать вызовы при перемещении на другие территории. Эти команды принимаются РПР, когда АС находится в зоне действия радиопередатчика. Они содержат код местности. Соответствующий вызов при его поступлении транслируется далее на отдаленный передатчик и передается им в запрограммированном частотном канале с кодом местности и опознавательным (адресным) кодом АПР в последовательности символов соответственно их возрастающему значению.

В соответствии с предложенной программой передатчик другой (отдаленной) зоны последовательно во времени передает вначале код местности, далее знаки кода АПР в порядке возрастающих значений, а затем собственно вызов и последующее сообщение.

В АС, оказавшейся в этой отдаленной зоне и настроенной на прием в этом канале по частоте устройством электронной настройки, а по времени – таймером, первая цифра каждого переданного сигнала сличается в одном или нескольких каналах, на прием в которых запрограммирован РПР, с находящимся в ОЗУ кодом места. Если совпадает первый знак, переданный с вызовом в одном или более каналах, в которых АС запрограммирована вести прием вызовов, с кодом зоны, то сличаются следующие знаки передаваемого опознавательного кода, следующие за кодом места в порядке возрастающего значения с соответствующими знаками кода адреса, хранящимися в памяти АС. Но тюнер сразу выключается, если обнаруживается несовпадение либо в коде места, либо в одном из знаков (цифр) адресного кода. Если передаваемые и принятые коды места и номера АС совпали с хранимыми в ЗУ, то вызов индицируется сигнальными устройствами и на дисплее. Подобным же образом может решаться задача «сублокального» радиовызова, т. е. связи с абонентом, находящимся на определенном участке значительной зоны или в группе участков, например, в крупном поселке или на производственном участке. В этом случае в код вызова включаются дополнительные данные для сублокального опознавания вызова аналогично порядку, изложенному выше. Если устанавливается совпадение кодовых знаков зоны участка, то продолжается прием последующих знаков адреса, принадлежащих номеру конкретной АС, хранимому в ее ЗУ. При несовпадении одной из цифр в последовательности передаваемого номера РПР выключается. При полном совпадении переданного кода и номера, хранимого в памяти АС, продолжается прием и обработка последующей информации. Таким образом, АС может быть запрограммирована на прием в пределах зоны, либо участка зоны; прием может быть как индивидуальным, так и групповым, для чего в числе адресных номеров АС могут быть и совпадающие.

Из изложенного видно, что система служебной связи позволяет вести передачу информации абонентам с разделением по частоте, по времени и по месту их нахождения, а так же с кодовым (адресным) разделением, что позволяет не только обеспечить селективность передачи, но и многократно увеличить количество обслуживаемых абонентов, а также расширить территорию обслуживания до практически любых пределов.

Функции и проблемы автоматики ждущего режима. Как уже отмечалось выше, одна из основных функций автоматики в системе РС, обслуживающей большую абонентскую сеть (например порядка миллиона абонентов) – обеспечение постоянной

готовности АС к приему информации. Вопрос сводится именно к приему, поскольку календарное и суточное время поступления вызова и автоматического приема переданной информации для АПР является случайным. Для передачи вопрос готовности станции к работе не ставится, поскольку передача инициируется АПД, имеющим возможность непосредственно управлять работоспособностью аппаратуры. Если же АПД отделен от радиопередатчика и делает вызов, например, через телефонную сеть, то радиопередатчик входит в состав оборудования УЦ или МРЦ, для которых автоматизация хорошо разработана и осуществляется традиционными средствами.

Рассмотренная выше классификация АС и логика их эксплуатации учитывают, что количество АПР превышает количество АПД, осуществляющих вызовы непосредственно с АС (уровни А3 и А4). Это подтверждается реальным развитием персонального радиовызова, в котором АС ведет только прием: вероятное количество таких абонентов этих сетей, по-видимому, достигает уже десятков млн. Постоянная готовность их миниатюрных приемников обеспечивается прежде всего длительным сроком службы миниатюрных гальванических батарей питания и минимальным расходом их энергетического ресурса. Сложность решения задачи именно для РПР связана с тем, что, тогда как радиопередатчик включается заведомо на короткое время вызова и передачи сообщения, РПР должен постоянно ожидать вызова, т. е. должен расходовать ресурс батареи практически круглосуточно.

Первая ступень процесса экономии тока реализуется за счет разделения абонентских каналов по времени; как уже было указано, каждый РПР включается на относительно короткое время, отведенное для вызова данного АПР, в остальное же время АС может быть полностью отключена от источника тока. Дальнейшие меры могут быть связаны с рассмотренным выше процессом вызова конкретных абонентов посредством соответствующего кодирования адресов.

В ожидании вызова АС включается не полностью: включают только тюнер и цепи распознавания сигнала, потребляющие очень малый ток, а относительно мощные цепи обработки сигналов и воспроизведения информации остаются отключенными.

Один из возможных вариантов экономичного ждущего режима поясняется ниже на примере, реализуемом в одной из разработок компании Телефайнд (США). Предположим вначале, что на местности, обслуживаемой радиопередатчиком, может находиться 1000 РПР, при чем каждая АС может получать порядка трех вызовов в сутки. В этом случае общее количество вызовов составляет

3000, причем любой из них может адресоваться любому из АПР. Следовательно, каждый РПР должен включаться столько раз, чтобы быть готовым принять адресуемый ему вызов. Если время включения и обнаружения вызова 300 мс, то тюнер РПР в ждущем режиме будет работать 15 мин в сутки. Вариант, о котором идет речь ниже, предполагает иной алгоритм работы.

После первого кодового слова сигнала вызова сразу отключаются 900 корреспондентов, которым этот код не соответствует. После второго слова сигнала вызова отключаются еще 90 из оставшихся ста. После третьего – еще 9 из оставшихся 10 и последующий вызов идет уже только в тот единственный оставшийся включенным РПР, которому он предназначен. При этом те же 1000 вызовов в сутки требуют включения каждого РПР в ждущем режиме только на 1 мин., т. е. расход тока сокращается, а срок службы батареи увеличивается в 15 раз.

Описанный алгоритм продолжает уже рассмотренную последовательность работы процессора и ячеек памяти АС при получении сообщения: определяется присутствие сигнала, далее характер сигнала, соответствие его территории и месту, индивидуальному номеру и пр., после чего включается основной блок обработки и записи информации.

Проблема передачи контрольных сигналов. С учетом назначения и перспектив развития радиосредств в системе электро-связи страны, эти средства рассматриваются как растущая массовая служба. Пределом ее развития может быть обеспечение всех нуждающихся в ней жителей страны, т. е. по масштабам и эргономическим качествам она в перспективе может быть подобна ТФН, ТЛК и ТФК.

Цель автоматизации состоит в функционировании всех средств системы РС и доставке сообщений от АПД и АПР без участия обслуживающего персонала в промежуточных звеньях этой системы. Минимальные действия по введению в действие технических средств системы выполняет АПД – инициатор сеанса связи. Активное участие АПР в сеансе при этом возможно, но не обязательно, поскольку переданная информация может вводиться в ЗУ терминала АПР в его отсутствие и воспроизводиться в любое время по его усмотрению. Для выполнения этих функций и передачи соответствующих команд в принципе не исключается применение отдельных служебных каналов связи, однако более целесообразно использовать для целей автоматизации в первую очередь общие рабочие каналы, поскольку в этом случае функции управления и контроля в передаче информации совмещаются с проверкой этих

каналов и отпадает надобность в целом ряде дополнительных объектов оборудования.

Дополнительным эффективным средством автоматизации массовой РС может служить передача управляющей информации по параллельно действующим каналам другого назначения при обязательном условии, что эти каналы с полной гарантией доводятся до всех обслуживаемых АПР. Очевидно, что этому условию соответствует глобальная система звукового радиовещания.

Автоматическое зондирование. В число компонентов комплекса средств автоматизации РС может (и, по-видимому, должен) входить автоответчик в составе оборудования каждой станции, обслуживающей абонентскую сеть региона, зоны или участка. Автоответчик, подтверждающий по запросу со станции более высокого иерархического уровня работоспособность запрашиваемой станции и относящейся к ней сети, т. е. готовность их к обмену информацией, служит датчиком устройств, подающих сигналы к цепям в направлении получателя. Главный ЦУ, используя автоответчики, периодически проверяет готовность промежуточных центров к обмену информацией и при определенных условиях сигнализирует генеральному диспетчеру. Магистральные и узловые центры (МРЦ и УЦ, ГСС и НС на упомянутой схеме) периодически по фиксированному расписанию опрашивают промежуточные центры связи обслуживаемых зон с учетом их стратегического, хозяйственного или иного значения, либо все АС.

При выявлении отказов и сбоев осуществляется согласно программе ввод в действие резервного оборудования, а при невозможности восстановления табельных средств проверенных объектов – переключение согласно установленному регламенту на обходные направления. Одновременно срабатывает сигнализация ремонтной службы соответствующего уровня. Дежурные операторы ремонтной службы посредством имеющихся в их распоряжении специальных средств проверяют сети и принимают решение о возможности и способах устранения неисправностей.

Универсализация абонентской аппаратуры. В дискуссиях о путях распространения новых систем и технических средств связи нередко высказывается мнение, что не все достижения мировой техники представляют интерес для России, вследствие ее географических и социально-экономических особенностей. Мировой опыт свидетельствует, что в разных частях света и в странах, различающихся климатом и экономикой, технические средства связи в конечном счете развиваются в одинаковых формах и на основе

близких технических средств. Этому в частности способствуют и процессы мировой экономической и культурной интеграции. В соответствии с этим принципиальным положением следует ориентироваться на то, что и Россия будет догонять мировую технику по тем же путям, как это имело место на протяжении всего столетия, прошедшего со времени первых радиотехнических изобретений. Следовательно, при прогнозировании техники и выборе направлений для перспективных разработок надо учитывать все характерные тенденции зарубежной техники.

Наиболее характерными явлениями мировой техники связи за короткое время, прошедшее после создания спутниковых систем, стали персональный радиовывоз, бесшнуровой телефон, сотовая телефонная радиосвязь и расширение функций звукового и телевизионного радиовещания.

В прогнозе техники РС следует учитывать, что по мере преодоления перманентного отставания России от мирового уровня в общем развитии материальной культуры и, в частности, развитии фиксированной сети массовой связи для прогресса имеется в конечном счете естественный предел: вряд ли потребуются иметь более двух квартирных телефонов в каждой семье. По достижении этого предела РС в опорной общегосударственной сети сохранит преимущество в варианте многоканальных спутниковых магистралей; ионосферные КВ линии останутся в этой сети вспомогательным и резервным средством, хотя и крайне важным. Основной областью применения РС останутся подвижные службы, где радиосредства не имеют конкурентоспособной замены.

В условиях разномощения средств, претендующих на массовое применение, неизбежно возникает проблема их интеграции, без которой их размещение и эксплуатация могут стать слишком громоздкими. При выборе направлений новых исследований и новых разработок в области РС целесообразно предвидеть это обстоятельство, делающее желательным функциональное объединение некоторых видов аппаратуры, если для этого удастся найти пути и возможности.

Массовое распространение радио как средства передачи информации индивидуального назначения дает основание считать реальным и рассматривать возможную целесообразность совмещения изначально массовых РПР звукового вещания со становящимися массовыми устройствами персональной связи. До последнего времени решение этой задачи потребовало бы существенного усложнения бытовой приемной аппаратуры, однако ситуация изменяется по мере внедрения передачи в радиовещательных каналах одновременно с вещательными программами дополнительной

и специальной информации. Речь идет о получающей большое распространение в США и ряде других стран «Системе радиоданных» RDS – “Radio Data System”

Ниже перечисляются некоторые из типичных функций системы передачи радиоданных (см. например патенты США b4.969.209 от 29 июня 1988г b5.152.012 от 29 сентября 1992 г. и многие др.):

- передача абоненту наряду с радиовещательными программами больших объемов полезной для него информации;
- автоматический ввод передаваемых данных в ЗУ приемника с возможностью отображения их на дисплее и параллельного приема звуковых программ;
- автоматическая поисковая перестройка РПР в полосах частот РВ с селективной остановкой поиска на станциях с заранее заданными абонентом признаками. Передача АПР информации об имеющихся в наличии видах программ РВ с возможностью выбора и автоматической настройки на желательную программу;
- возможность ввода в ЗУ, имеющегося в РПР компьютера, нескольких признаков желательных станций или программ в стране или регионе (титулы, языки передачи и т.п.) с поиском, распознаванием и автоматической настройкой РПР;
- смена волн, поиск станций и настройка при перемещении РПР в соседние географические районы;
- при приеме на движущихся объектах – перестройка с автоматическим вводом данных соответственно направлению и дальности перемещения с использованием имеющейся базы данных, содержащей алфавитные данные о странах, регионах и городах; на транспортных магистралях – прием локальной дорожной информации (о «пробках», рекомендуемых объездных маршрутах, предполагаемых изменениях метеословесий и т.п.).

Выполнение этих и подобных функций обеспечивается благодаря введению в приемную аппаратуру декодеров, микропроцессоров, ПЗУ, ОЗУ, дисплея и клавиатуры управления.

В условиях массового развития персональной радиосвязи ресурсы радиовещательного приемника вполне могут быть дополнены некоторыми дополнительными функциями. Возможны два направления исследований, а при положительном результате – и разработка соответствующих устройств:

- 1) дополнение функций перечисленных информационно-управляющих устройств перспективных радиовещательных приемников выделением и обработкой данных для управления приемниками персональной РС с целью упрощения их конструкций,

улучшения их эргономических качеств или расширения их функциональных возможностей;

2) конструктивное объединение приемника звукового вещания и АПР персональной связи.

Реализация этого подхода, по-видимому, не только сделала бы терминал РС более удобным, компактным и дешевым, но и способствовала бы более рациональному построению передающих станций и центров управления.

Перспективы зонных сетей ионосферной связи. Как уже отмечалось выше, общие требования к средствам связи, как к существующим, так и к создаваемым вновь, предполагают возможность передачи информации в любое время, по первому требованию и с гарантией получения ее определенным адресатом. Эргономическое требование незамедлительного приема адресной информации (АИ) от АПД для последующей передачи ее к АПР легко реализуется техническими средствами: на АС в любое время ПИ вводится в ОЗУ, передача же затем осуществляется автоматически по командам от устройства управления.

Типовой средний объем ПИ, как правило, не превышает 150 знаков, т. е. примерно 1000 бит. При передаче одним АПД одного ПИ за один час необходимая скорость передачи без ожидания предоставления канала составляет не более 0,5 бит/с, следовательно, реальная скорость передачи a_n порядка 50 бит/с представляется совершенно достаточной. При скоростях этого порядка свойственные ИРС такие негативные эффекты, как многолучевое распространение волн, межсимвольная интерференция и доплеровские сдвиги частот почти не влияют на качество РС. Минимально необходимая полоса частот для передачи ПИ может быть принята примерно равной скорости a_n .

Если ширина части диапазона радиочастот, выделенная для РС в данной зоне, равна B , а полоса, занимаемая одним передатчиком, расположенным на МРЦ – $B_{нд}$, то количество передатчиков, занимающих полосу B составит:

$$N_{нд} = B/B_{нд}$$

Число абонентских каналов в полосе B

$$N_a = B_{нд} / a_n$$

Время передачи $T_{нд}$ одного ПИ при указанных выше скоростях составляет 20 сек.

Если принять допустимое время задержки автоматической передачи ПИ равным T_3 , то количество абонентов, обслуживаемых за это время

$$N_p = T_3 / T_{пи}$$

Например, при вполне приемлемом $T_3=10$ мин имеем $N_p=10\dots 20$.

В России с ее большими расстояниями имеются возможности для повторения рабочих частот в зонах, далеких по широте и долготе. Предположительно коэффициент повторения K_4 может иметь порядок не менее 4.

При изложенных допущениях общее количество абонентов в ИРС может достигать

$$N_0 = N_{нд} * N_a * N_p * K_4$$

При вполне реальном значении B порядка 200 кГц (в действительности этот ресурс может быть и больше), $V_{нд}$ порядка 20 кГц и $a_n = 50$ бит/с имеем $N_{нд} = 30$ и $N_a = 400$. Соответственно N_0 достигает 0,5 млн. Эта цифра получена в допущении, что каждый абонент имеет возможность передавать по одному ПИ через каждые 10 мин. В реальных ситуациях время T_3 , несомненно, может быть увеличено в несколько раз, что позволяет довести число абонентов до нескольких миллионов. Поскольку речь идет об абонентах только ИРС, можно считать их количество практически неограниченным.

Рассмотренные принципы построения сети радиосвязи и подходы к организации ее эксплуатации не претендуют на полноту решения задачи, но только намечают некоторые направления дальнейших исследований и разработок. Изложенные оценки показывают, что КВ радиосвязь, до сих пор остающаяся в значительной мере самостоятельной, крайне неоднородной и малоэффективной системой, должна рассматриваться как часть интегральной сети радиосвязи, органически связанная с системой средств электросвязи в целом.

5. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ

5.1. Принципы радиорелейной связи

Темпы увеличения потребности в электросвязи и соответственно темпы реализации этой потребности в технических системах непрерывно увеличивались на всем протяжении заканчивающегося XX в. и продолжают нарастать. Непрерывный и быстрый рост потоков информации между людьми, учреждениями, населенными пунктами и странами – один из наиболее характерных процессов в развитии современной культуры.

Благодаря очевидным достоинствам связи без проводов именно радиосвязь развивалась особенно быстро, как по объемам, так и по количеству и уровню новых открытий, изобретений, конструкций, и по масштабам внедрения в жизнь. Это развитие привело к обострению проблемы электромагнитной совместимости радиотехнических устройств, так как открытое распространение радиоволн делает неизбежные взаимные помехи работе этих устройств, действующих в общем пространстве.

Государственное и международное регулирование радиосвязи и радиовещания помогает в некоторой степени преодолевать возникающие трудности. В частности концентрированное, направленное и ограниченное по дальности излучение волн позволяет за счет усложнения антенных устройств и уменьшения мощности радиопередатчиков ослабить в некоторой мере межстанционные помехи, если излучения передатчиков разных корреспондентов распространяются на разных, неперекрывающихся территориях. Однако на практике ресурс пространственного разграничения корреспондентов в сетях радиосвязи ограничен.

Другой ресурс – разделение по времени. В этом случае для включения передатчика каждого корреспондента выделяются определенные, четко ограниченные интервалы времени. Передатчики разных корреспондентов, даже в пределах общей территории, работая «по очереди», не мешают один другому. Однако и этот путь сопряжен с существенными организационными и техническими сложностями; кроме того, он сопряжен с ограничением объемов передаваемой информации.

Более эффективно частотное разделение, при котором для излучения в каждой линии радиосвязи выделяется определенная длина волны и разрешенная для занятия полоса частот, в которой

на данной территории практически отсутствуют излучения других корреспондентов.

Ширина частотного спектра телефонного сигнала составляет, как известно, несколько килогерц. При частотном разделении полос частот, выделяемых для разных линий телефонной радиосвязи, суммарная полоса частот на данной территории и на данном направлении пропорциональна числу использующих эту полосу корреспондентов. Если это число составляет, например, десятки тысяч, то и необходимая полоса частот составляет, по меньшей мере, десятки мегагерц. Это условие делает нереальным в описанных условиях использование диапазона НЧ, ширина которого составляет менее 300 кГц, диапазона СЧ шириной около 3 МГц и даже диапазона ВЧ, полная ширина которого менее 30 МГц. Нереальность широкомасштабного развития радиосвязи в этих диапазонах тем более очевидна, что их значительные участки выделены и служат для звукового радиовещания на обширных территориях большей части стран мира.

Тем более очевидна невозможность применения в широких масштабах радиосвязи в перечисленных диапазонах для обмена программами между центрами телевизионного радиовещания, так как частотный спектр излучения каждого передатчика этого назначения занимает полосу в несколько мегагерц.

Передача телевизионных сигналов в диапазоне ВЧ невозможна по той причине, что условия распространения радиоволн на значительные расстояния очень сильно различаются в разных частях этого диапазона; из-за этого передача была бы невозможна не только вследствие его ограниченности, но и из-за неизбежных неустраняемых искажений передаваемого изображения.

Изложенные причины привели к внедрению радиосвязи в широких диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ.

Как уже указывалось в § 3.4, дальность распространения радиоволн микроволновых диапазонов вдоль земной поверхности, как и дальность световой сигнализации, ограничена пределами геометрической видимости между пунктами расположения передающей и приемной антенн (рис. 3.5 а и б); дифракция лишь немного увеличивает эту дальность. Поскольку, как выяснено выше, именно и только в этих диапазонах возможна передача больших потоков информации с шириной частотных спектров в мегагерцы и десятки мегагерц, получили развитие системы радиосвязи с последовательными ретрансляциями передаваемых сигналов – РАДИОРЕЛЕЙНОЙ связи. Радиосигналы, принятые в пределах геометрической видимости каждой из станций, например S_1 , на рис. 5.1, усиливаются, а при необходимости проходят и иную дополни-

тельную обработку и передаются к станции C_2 , от которой затем они передаются к C_3 и т. д. Одновременно идут и сигналы с противоположного направления.

Ограничение дальности распространения волн можно считать недостатком микроволновых диапазонов, так как усложняет систему радиосвязи на больших расстояниях; но с другой точки зрения оно оказывается достоинством, так как позволяет применять одни и те же частоты на пространственно разнесенных участках территории, где благодаря относительной взаимной удаленности этих участков взаимные помехи не проявляются.

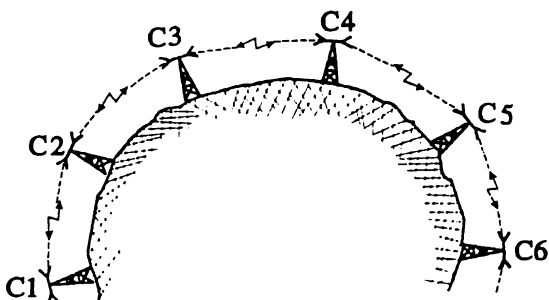


Рис.5.1

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

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

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

Очевидный недостаток РРЛ по сравнению с кабелями, как и недостаток радиосвязи вообще, – открытое распространение волн в окружающем пространстве и открытое расположение всех техни-

ческих сооружений. Это обстоятельство может увеличивать возможность повреждения технических средств в некоторых ситуациях, а также снижает защищенность передаваемой информации от перехвата.

5.2. Состав оборудования РРЛ

Типичная структурная схема радиорелейной связи изображена в упрощенном виде на рис.5.2; здесь М и N – оконечные пункты, между которыми устанавливается многоканальная связь через промежуточные станции ПС. Сигналы на ПС принимаются приемниками ПР и передаются далее через передатчики ПД; А – передающие и приемные антенны. На схеме показаны только три промежуточные станции ПС1-ПС3, тогда как на действующих РРЛ их число может составлять 10...20 и более. На отдельных станциях, обычно называемых узловыми, возможно выделение и ответвление части каналов связи, как это на рис.5.2 показано для станции ПС3; соответственно в состав оборудования этих станций вводится аппаратура выделения каналов АВ. Эта аппаратура позволяет также вводить новые каналы, которые могут быть направлены в обе стороны от ПС3. В частности выделение телевизионного канала позволяет осуществлять затем телевизионную передачу через передатчик, расположенный в населенном пункте на трассе радиорелейной линии.

ОС1 и ОС2 – оконечные станции. В состав этих станций помимо передатчика ПД и приемника ПР входят интерфейсы ИФ, связывающие их с внешними средствами связи; в данном случае – через АТС с телефонными сетями ТС, а также с телецентрами ТЦ.

В интерфейсе групповые сигналы телефонных абонентов и спектры телевизионных программ в рассматриваемом примере уплотняются в единый многоканальный спектр, т. е. ИФ представляет собой аппаратуру уплотнения (АУ).

Передатчик ПД оконечной станции ОС1 излучает через антенну А модулированный сигнал со средней частотой f_1 . На промежуточной станции ПС1 этот сигнал принимается приемником ПР, усиливается, преобразуется и излучается через антенну передатчика ПД с другой частотой f_2 . Различие частот устраняет возможность вредного воздействия мощного сигнала передатчика на приемник той же станции. На следующей промежуточной станции ПС2 приемник ПР настраивается на частоту f_2 , а передатчик может излучать сигнал с частотой f_1 , поскольку действие передатчика станции ОС1 в районе действия ПС2 и передатчика ПС2 в районе действия ПС1 уже не проявляется.

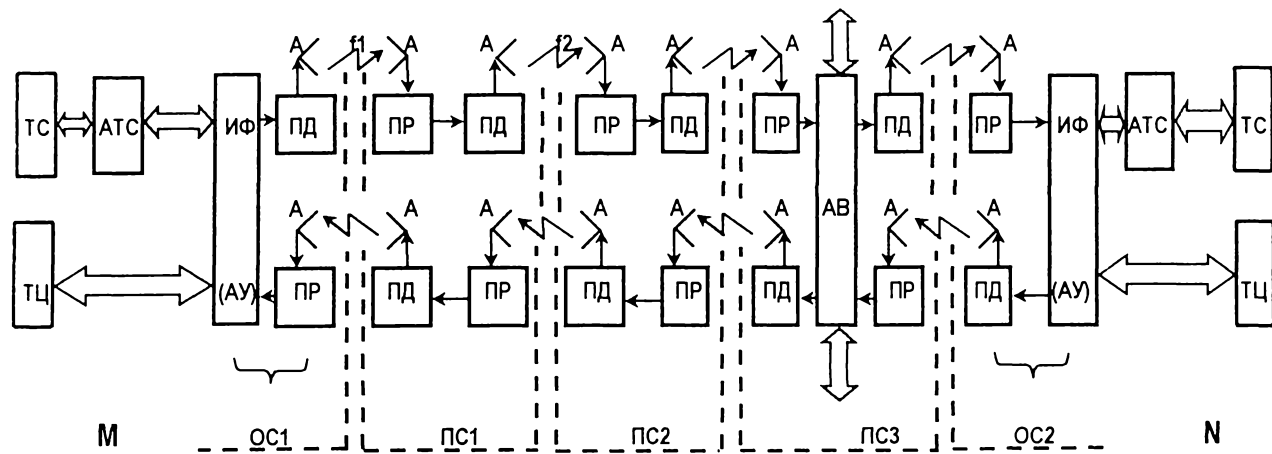


Рис. 5.2.

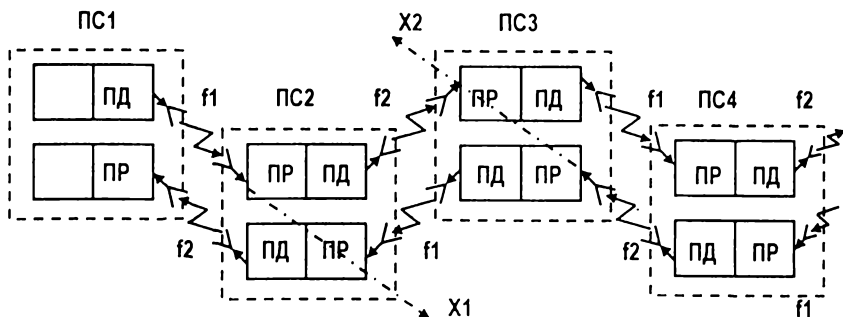


Рис. 5.3

В отдельных случаях волны могут распространяться не только на расстояние прямой видимости, но и на большее расстояние. Это приводит к нежелательным последствиям, если станция будет принимать сигнал одинаковой частоты не только со стороны смежного участка, но и от передатчика одной из более отдаленных станций. Интерференция сигналов в таких случаях может приводить к искажениям принимаемых сообщений. Чтобы избежать помех этого рода прибегают к зигзагообразному расположению участков линий подобно тому, как это показано на рис.5.3. Излучение от передатчика станции ПС1 на частоте f_1 минует станцию ПС4 и уйдет в направлении X_1 , излучение от передатчика станции ПС4 на частоте f_2 уйдет в направлении X_2 и минует станцию ПС1 и т.д.

Для передачи в одном направлении двух или более телевизионных программ и больших потоков другой информации на каждой станции устанавливается по несколько передающих и приемных комплектов аппаратуры, работающих в разных частотных каналах. Совокупность оборудования, обеспечивающего связь в каждом направлении по одному радиочастотному каналу, называется стволom РРЛ.

Аппаратура станций РРЛ размещается в общих помещениях (например, в башнях, на вершине которых монтируется антенна), и обеспечивается общим электрооборудованием, поэтому система из нескольких стволom дешевле, чем несколько отдельных РРЛ. Значительную экономию средств дает также использование единой общей антенны для нескольких стволom. Это возможно потому, что ширина пропускаемого частотного спектра – полоса пропускания антенны – значительно шире полосы пропускания аппаратуры одного стволa.

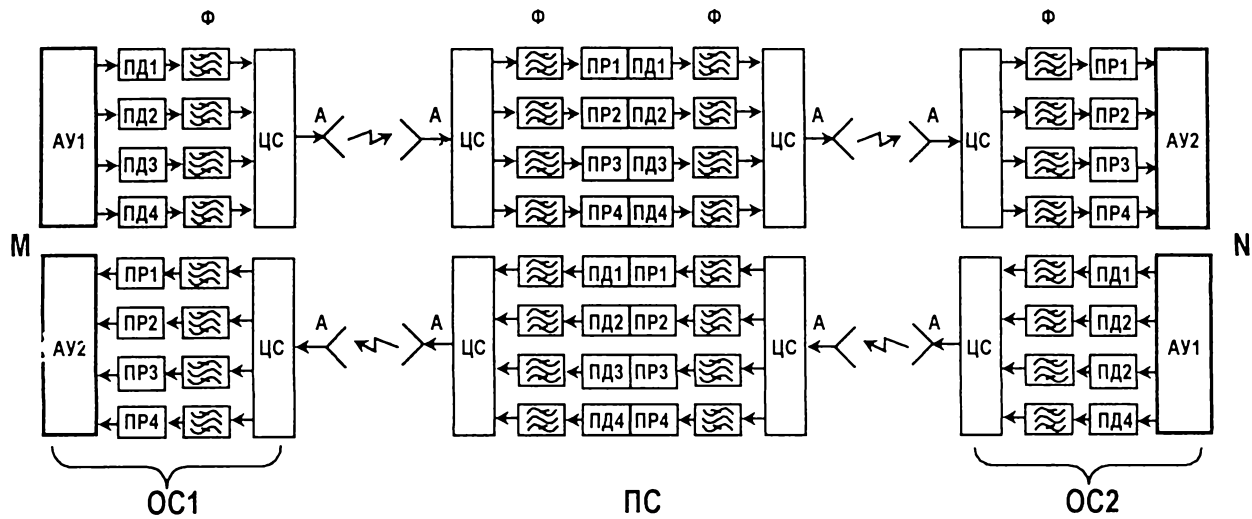


Рис. 5.4

Схема оборудования магистрали с четырьмя стволами (их число может быть больше) показана на рис.5.4. Здесь ПР1–ПР3 – приемники 1–4 стволов, ПД1–ПД4 – соответственно передатчики. Частотные спектры отдельных стволов разделяются с помощью фильтров Φ в волноводах, связывающих аппаратуру с антеннами А через цепи связи ЦС.

На оконечных станциях ОС1 и ОС2 расположенных в пунктах М и N, АУ1 и АУ2 – аппаратура уплотнения в составе соответственно передающего и приемного оборудования.

На станциях РРЛ имеется резервное оборудование, на которое переключается нагрузка (проходящие потоки сигналов) при неисправности какого либо из стволов. Кроме того, имеется комплект аппаратуры служебной связи для дистанционного управления, автоматического контроля, разного рода сигнализации, оперативных переговоров обслуживающего персонала и т.п.

5.3. Размещение станций

Расстояние между станциями зависит от высоты, на которой располагаются антенны. Для случая РРЛ, сооружаемой на ровной поверхности, расстояние можно определить из рис.5.5, где R – средний радиус Земли ($R = 6370$ км), h_1 и h_2 – высота расположения антенн A_1 и A_2 на мачтах или башнях. Предполагается, что прямая линия, изображающая траекторию волн и состоящая из отрезков d_1 и d_2 , почти касается земли.

Если антенны сблизить, то зазор между лучом и землей увеличится, если же разнести их на большее расстояние, то при той же высоте антенн волны проходить не смогут, как видно из рис. 3.5, а.

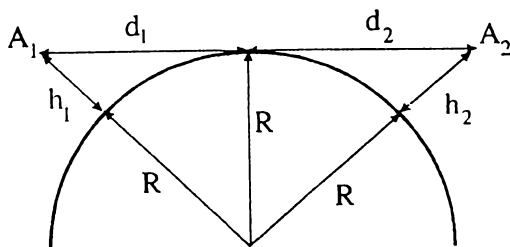


Рис.5.5

Применяя теорему Пифагора и учитывая, что высоты h_1 и h_2 малы в сравнении с радиусом земли R , нетрудно определить расстояние D между антеннами A_1 и A_2 , равное сумме $d_1 + d_2$:

$$D = \sqrt{2R}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

При этом $\sqrt{2R} \approx 3500$ км. С учетом небольшого огибания волнами земной поверхности принимают

$$D \approx 4(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Здесь D измеряется в километрах, h_1 и h_2 – в метрах. Например, при $h_1 = h_2 = 25$ м получается $D = 40$ км. Значительное увеличение высоты башен резко увеличивает их стоимость, поэтому обычно $D = 40 \dots 60$ км.

Если между станциями РРЛ имеются возвышенности или горы, на которых размещение станций почему-либо затруднительно, либо водные или иные преграды, то их можно обойти, применяя «пассивные ретрансляторы» – металлические отражатели волн в виде щитов площадью $30 \dots 40$ м². Примеры трасс с одним и двумя отражателями между станциями C_1 и C_2 представлены на рис.5.6.

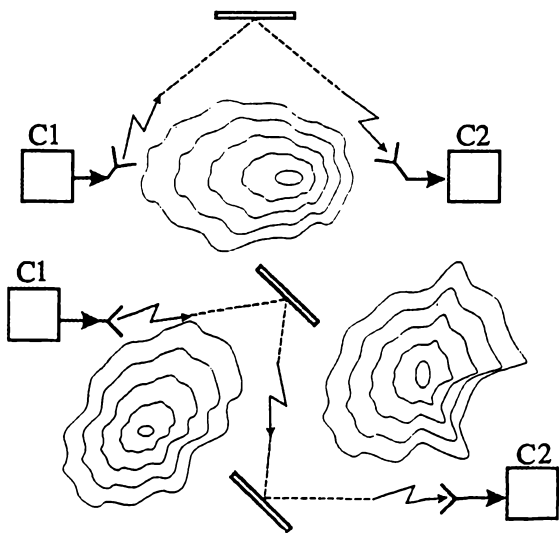


Рис. 5.6

Увеличение расстояний между отдельными станциями РРЛ может в ряде случаев достигаться путем размещения их на высоких сооружениях, а также на холмах и горных вершинах. В качестве одного из путей увеличения расстояний, несколько десятилетий тому назад предлагалось применение аэростатных ретрансляторов: станция располагалась на высоте нескольких километров на аэростате. Электропитание аппаратуры подавалось по кабелю, совмещенному с тросом, на котором удерживался аэростат. Этот путь не получил практического развития. Фундаментальным решением проблемы связи в микроволновых диапазонах на любых расстояниях стало применение спутниковых ретрансляторов.

5.4. Выбор и чередование частот в радиорелейной связи

Для РРЛ применяется главным образом диапазон СВЧ – сантиметровые волны. Как уже указывалось выше, для этого вида радиосвязи вполне применимы и диапазоны УВЧ и ОВЧ, однако первый из них на порядок, а второй – на два порядка уже, поэтому резко сокращается частотный ресурс. Напротив, применение более коротких волн позволило бы занять более широкие полосы частот и соответственно увеличить пропускную способность РРЛ; это позволило бы также уменьшить размеры и стоимость антенн при сохранении острой направленности их действия. Но на волнах короче 5 см усиливается поглощение волн в атмосфере, особенно при осадках. Поэтому линии значительной протяженности работают чаще всего в диапазоне СВЧ; в частности широко используются полосы частот, средние частоты которых – 4 и 6 ГГц.

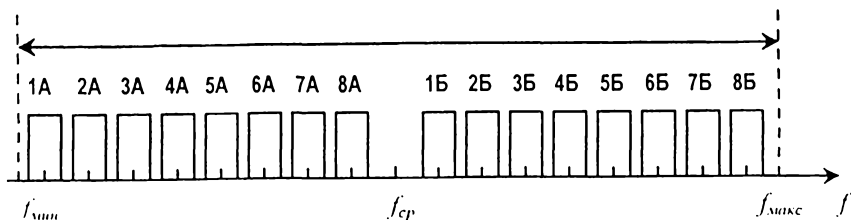


Рис. 5.7

Для каждой РРЛ выделяется полоса частот, от ширины которой зависит пропускная способность линии. Так, например, существуют системы, для которых в диапазоне 6 ГГц отведена полоса частот шириной в 500 МГц; в этой полосе образуются 16 каналов: в одном направлении восемь и восемь в противоположном, т. е. действуют восемь стволов. Схема распределения частот между каналами для этого примера показана на рис.5.7

Одно из важных свойств антенн СВЧ, соединяемых с радиоаппаратурой посредством волноводов с прямоугольным поперечным сечением, состоит в способности излучать и принимать волны с определенной поляризацией: если волновод, связанный с приемной антенной, пропускает волны, которые во внешнем пространстве имеют вертикальную поляризацию, то волны с горизонтальной поляризацией через этот волновод не пройдут; аналогично волновод, пропускающий волны с горизонтальной поляризацией, не пропустит к приемнику вертикально поляризованные волны. Соответственно и волны от радиопередатчика излучаются через антенну с поляризацией, зависящей от той, с которой они подводятся к антенне через волновод.

Волны можно подводить к антенне по двум волноводам с взаимно перпендикулярной поляризацией. Волны от передатчика, питающего один волновод, при этом излучаются с горизонтальной поляризацией, а от второго передатчика – с вертикальной. При приеме соответственно горизонтально поляризованные волны направляются в один волновод, а вертикально поляризованные – в другой. Для уменьшения взаимных помех между соседними по частоте каналами рекомендуется чередовать поляризацию волн каналов. Например, при распределении каналов по схеме рис.5.7 целесообразно чтобы в полосах частот 1А, 3А, 5А, 7А, 2Б, 4Б, 6Б и 8Б волны имели горизонтальную поляризацию, а в полосах 2А, 4А, 6А, 8А, 1Б, 3Б, 5Б и 7Б – вертикальную (или наоборот). В этом случае, например, сигнал ствола 5А не будет подвергаться помехам со стороны соседних отводов 4А и 6А не только потому, что их средние частоты сильно отличаются (примерно на 30 МГц в диапазоне 6 ГГц), но и потому, что их волны не пройдут в волновод ствола 5А.

Выше уже упоминалось в составе ресурса многоканальных систем радиосвязи разделение каналов по частоте, пространству и времени. Возможность разделения сигналов по поляризации в устройствах СВЧ также расширяет этот ресурс.

Для избежания мешающего воздействия передатчиков на приемники той же станции применяется по возможности большое взаимное разнесение частот передачи и приема каждого ствола.

Если, например, в полосе 1А ведется прием, то передачу сигналов того же ствола осуществляют в полосе 1Б; для приема и передачи во втором стволе используют полосы 2А и 2Б и т.д.

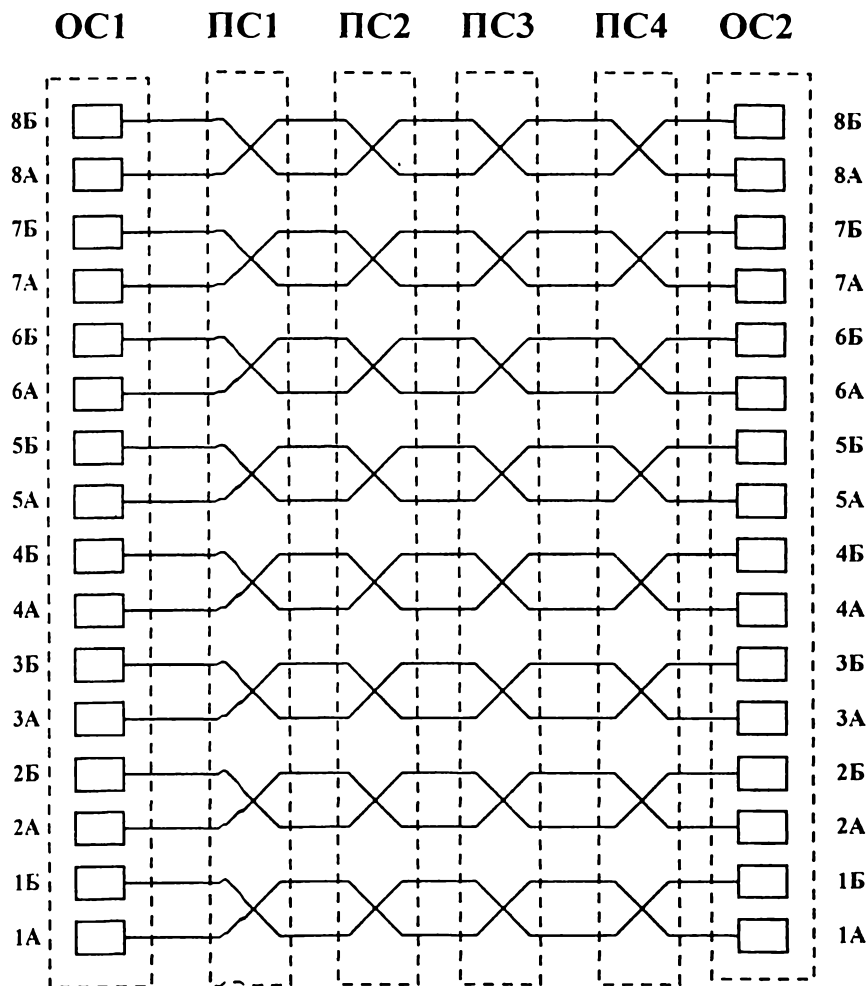


Рис. 5.8

На промежуточных станциях РРЛ частоты целесообразно чередовать в соответствии с рис.5.8. Если со стороны ОС1 передача в стволе 1 идет в полосе 1А, то сигналы, принятые в этой полосе на промежуточной станции ПС1 передаются в направлении станции ПС2 в полосе 1Б. Со станции ПС2 к станции ПС3 они

опять передаются в полосе 1А и т.д. Следовательно, частоты приема и передачи чередуются как на схеме рис.5.3. На каждой станции в каждой полосе работают либо только приемники, либо только передатчики и притом в противоположных направлениях.

Возможность разделения волн по поляризации позволяет использовать единую антенну, как для приема, так и для передачи. В таких РРЛ на каждой промежуточной станции имеются только две антенны: по одной для каждого направления. Такое упрощение на практике делается только при небольшом количестве стволов, позволяющем увеличить разнос частот между ними. Пример станции с четырьмя стволами и двумя антеннами А1 и А2 приведен на рис.5.9.

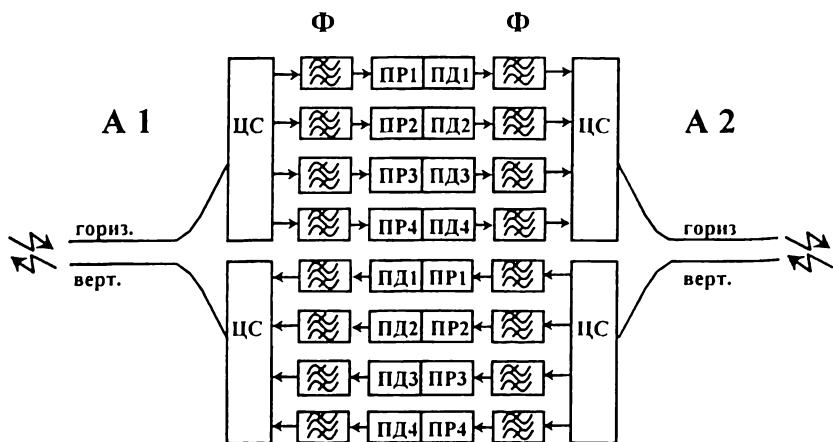


Рис. 5.9

6. ПОДВИЖНАЯ РАДИОСВЯЗЬ

6. 1. Этапы развития подвижной радиосвязи

На всех этапах развития культуры росли требования к объемам и темпам обмена информацией, а следовательно и к средствам связи. Современный человек нуждается в активной связи с множеством людей: родственников, друзей, сотрудников, руководителей и подчиненных. В не столь уж далеком прошлом процессы сигнализации и обмена сообщениями оставались трудоемкими и ограниченными. Динамичность современного общества вместе с новейшими техническими средствами потребовала и сделала возможным относительно быстрый прогресс этой отрасли.

Примерно двести лет назад в итоге научных поисков, открытий и изобретений в мире зародилась и с нарастающим ускорением начала развиваться техника связи, электросвязь по проводам.

Около ста лет назад оказалось, что можно обходиться и без проводов, передавая сигналы при помощи электромагнитных волн, непосредственно через пространство, "по радио". В канун третьего тысячелетия текущей эры сохраняются и совершенствуются оба вида электросвязи. Естественно спросить: должна ли сохраняться эта двойственность техники связи в будущем?

Необходимые в первом случае проводные линии всех видов, включая подземные и подводные кабели и волноводы на всем расстоянии от пункта передачи каждого сообщения до пункта его получения адресатом, образуют вместе со многими типами вспомогательного и промежуточного оборудования очень сложный и дорогостоящий комплекс сооружений; особенно при расстояниях в сотни и тысячи километров. Непосредственная беспроводная передача во втором случае может при поверхностном рассмотрении представляться настолько весомым преимуществом, что возникает вопрос о целесообразности полного перехода от проводной электросвязи к радио.

Дополнительным и крайне важным аргументом в пользу полного перехода к радиосвязи может быть то обстоятельство, что с исключением проводных линий и относящегося к ним сложного стационарного оборудования отпадает и требование неподвижности пунктов передачи и приема; связь между источником и получателем сообщений оказывается принципиально возможной в любом месте, причем не только в покое, но и в движении.

С созданием телеграфа максимальное время передачи и доставки текстовых сообщений от человека к человеку на любом расстоянии сократилось до нескольких часов. Телефон открыл возможность почти мгновенной речевой связи. Изобретение этих технических средств стало самым ярким достижением XIX столетия. Единственным, но существенным ограничением осталась необходимость для каждого из переговаривающихся абонентов находиться около аппаратов, соединенных проводной телефонной сетью. Принципиальная возможность преодолеть это ограничение появилась только с созданием радиосвязи, которая была реализована первоначально на флоте в начале XX в. Корабли получили возможность связываться через береговые радиостанции с любыми населенными пунктами на континентах, а в чрезвычайных ситуациях передавать сигнал бедствия. Имеется немало и других подобных и столь же очевидных аргументов в пользу преимущественного перехода к беспроводной связи, к радио.

В действительности, как проводная связь, так и радиосвязь, обладают присущими им особенностями, которые делают выбор одного из этих средств далеко не простым и не однозначным.

Несомненно, что исключение направляющих проводных линий при использовании радиоволн может радикально упростить и удешевить технические средства. Однако это сопряжено с тем, что волны распространяются без ограничений не только к желательному пункту приема, но и в любые участки более или менее значительной территории, на которую эти волны попадают. Следовательно, и прием передаваемых сообщений становится возможным на всей этой территории.

Такая возможность дает весьма важное преимущество, когда эти сообщения предназначаются не конкретному получателю, а адресуются всем желающим и нуждающимся; это – область радиовещания. Но такая возможность оборачивается совершенно недопустимым недостатком при радиосвязи между двумя определенными пунктами или пользователями потому, что делает возможным несанкционированный прием ("радиоперехват") передаваемых сообщений посторонними лицами.

Некоторое уменьшение вероятности радиоперехвата, хотя и не предотвращение его, возможно при узкой концентрации излучения радиоволн в направлении желательного получателя, но при этом требуется значительное усложнение конструкции, а следовательно, и стоимости, излучающих устройств – антенн.

В числе эффективных путей защиты радиосвязи от перехвата применяется "засекречивание" сообщений посредством кодиро-

вания, что также сопряжено с усложнением как оборудования, так и процесса связи в целом.

Еще одна из наиболее важных особенностей радиосвязи, неизбежно ограничивающих возможности ее применения, вытекает из основного принципа различения радиосигналов, передаваемых и принимаемых многими взаимонезависимыми пользователями.

Каждый знает, что радиоприемник может принимать передачи разных станций благодаря тому, что эти станции излучают волны разной длины. Настраивая приемник на определенную длину волны, мы получаем возможность принимать сигналы желательной радиостанции. В то же время эти длины волн не должны быть слишком близки друг к другу, иначе приему сигналов одной радиостанции будут мешать сигналы других ("соседних" по длине волны) станций. При достаточной разности длин волн, а соответственно и частот излучаемых радиосигналов, приемник способен их различать, осуществляя то, что называется частотной или, что по сути то же самое, волновой селекцией.

Из сказанного следует, что частота или длина волны, при которых могут передаваться сообщения от одного пользователя к другому, оказывается по сути путем для осуществления связи, подобно соединительной линии в проводной электросвязи; иначе говоря, выделенная и используемая для радиосвязи между конкретными пользователями частота радиоволн и соответствующая длина волны может с достаточным основанием называться частотным или волновым каналом радиосвязи.

Если в проводной связи число каналов, в конечном счете, сводится к числу проложенных от места передачи к месту приема проводных линий, то в радиосвязи оно определяется числом выделенных для связи частотных и соответствующих волновых каналов.

Отмеченное различие сопряжено с существенной особенностью развития этих двух видов связи. Количество проводных линий, которые можно, например, закопать глубоко в землю, представляется практически сколь угодно большим. В то же время число каналов радиосвязи ограничено.

Хотя в номенклатуре диапазонов радиоволн широко пользуются такими терминами, как километровые, метровые, сантиметровые волны и т. п., при оценке диапазона как ресурса радиосвязи чаще пользуются частотами. Причины этого в том, что электрические сигналы, несущие передаваемые сообщения, характеризуются именно этим признаком. Известно, что частотный спектр телефонного сигнала, получаемого посредством микрофона, состоит из колебаний с частотами от десятков герц до нескольких килогерц. Соответственно в диапазоне шириной 100 кГц можно было бы

в принципе передавать и разделять без взаимных помех одновременно не более двух-трех десятков телефонных сообщений, отводя каждому отдельную часть частного спектра шириной около 3 кГц; в диапазоне шириной 100 ГГц – миллионы и десятки миллионов. К подобным же выводам привело бы рассмотрение передачи иных видов сигналов, например, телеграфных или при передаче неподвижных изображений – фототелеграфных, факсимильных. Для простоты и наглядности мы здесь не будем касаться того факта, что существуют виды сигналов, которые требуют во много раз более широких частотных каналов, чем предложенные выше; известный пример – каналы телевидения.

Проведенные рассуждения могли бы привести к выводу, что при равных прочих условиях решающее преимущество имеют диапазоны самых высоких частот и соответственно самых коротких волн, потому что в этих диапазонах можно было бы разместить наибольшее число каналов радиосвязи. Этот вывод был бы справедлив именно и только "при равных прочих условиях", которые в действительности вовсе не равны. Дело в том, что радиоволны разных диапазонов вовсе не равноценны по условиям их распространения над поверхностью земли.

Из физики известно, что радиоволнам, как и световым волнам, свойственно явление дифракции, т. е. огибания препятствий, встречающихся на пути распространения (см. гл. 3). Это свойство радиоволн проявляется в тем большей мере, чем длиннее волны и соответственно чем ниже используемые радиочастоты.

Волны длиной в километры и сотни метров, огибая многие естественные препятствия, могут распространяться на значительные расстояния, но число частотных каналов в этих диапазонах сравнительно мало.

Волны длиной в десятки метров способны распространяться на очень большие расстояния, если они излучаются под углом к поверхности земли. Они отражаются верхними слоями атмосферы, возвращаются к земле и могут приниматься на расстоянии в тысячи километров от места передачи, но радиосвязь на близких расстояниях оказывается на этих волнах недостаточно надежной. К тому же и в этих диапазонах количество каналов радиосвязи много меньше имеющейся потребности.

Волны длиной в несколько метров и более короткие ("емкость" которых, как было отмечено выше, может составлять миллионы каналов), распространяются прямолинейно, подобно свету: они не огибают не только встречающиеся на их пути препятствия, но даже поверхность земли. Иначе говоря, прием радиосигналов на этих волнах возможен при условии, что место приема

находится в пределах прямой ("геометрической") видимости из пункта передачи. В результате дальность устойчивой радиосвязи на этих волнах не превышает десятки километров. Если требуется увеличить это расстояние, то передающие и приемные антенны приходится располагать либо на возвышенностях, либо на крышах высоких зданий, либо на специальных мачтах и башнях.

Из изложенного следует, что диапазон волн, которые позволяют обслуживать наибольшее количество пользователей, пригодны для радиосвязи только на сравнительно небольших расстояниях. На первый взгляд, это – очень большой недостаток этих диапазонов. Но, как часто бывает, при подходе с другой стороны этот недостаток оборачивается достоинством.

Как известно, большинство людей пользуются телефоном в пределах своего города и его ближайших окрестностей. Междугородные и, тем более, международные звонки в десятки раз более редки, чем местные. С этой точки зрения относительно малая дальность связи не препятствует обслуживанию подавляющего большинства абонентов. С другой стороны, следует учитывать, что именно благодаря ограниченности радиуса действия появляется возможность использовать одни и те же частотные каналы на многих территориях, если они отстоят друг от друга на расстояния, превосходящие этот радиус действия. В итоге частотный ресурс радиосвязи, который, как мы видели, сам по себе очень значителен, фактически становится почти безграничным.

Следует иметь в виду, что те же частотные каналы можно использовать для радиосвязи на расстояниях в тысячи километров между странами и континентами, через океаны. Эта цель достигается применением спутниковых ретрансляторов.

В то время как дальность передачи сигналов вдоль поверхности земли ограничена расстоянием геометрической видимости, при излучении вверх под углом к земной поверхности волны уходят свободно за пределы атмосферы. Будучи направлены к спутнику, радиосигналы принимаются на нем, усиливаются и передаются обратно к земле (ретранслируются) в нужный участок поверхности планеты, находящийся, если требуется, в сотнях и тысячах километров от места передачи.

Условия подвижной радиосвязи. В соответствии с термином "подвижная радиосвязь" речь идет о связи либо между подвижными, либо между подвижными и фиксированными объектами. Для оценки значения этого вида радиосвязи следует учитывать, как уже отмечалось выше, что обмен информацией между абонентами сухопутных сетей связи, длительно находящихся в опреде-

ленных и неподвижных пунктах, может быть осуществлен не только посредством радиоволн; для этой цели служат преимущественно подземные кабели и абонентские проводные линии. В то же время электросвязь с неограниченной возможностью перемещения одного или обоих связываемых абонентов без применения радиоволн практически неосуществима.

Для обширной области применений подвижной радиосвязи типичны транспорт – воздушный, морской, речной, железнодорожный, автомобильный и др. а также обслуживание произвольно перемещающихся индивидуальных абонентов, не использующих транспортные средства. В последнем случае, квалифицируемом как персональная радиосвязь, речь идет о портативной или карманной радиоаппаратуре.

Условия подвижной радиосвязи по сравнению с фиксированной отличаются непостоянством и относительной сложностью по ряду причин, к которым относятся главным образом следующие:

в зависимости от местных условий распространения радиоволн, передвижение принимающего абонента сопряжено с изменением уровня принимаемого сигнала, причем пределы этих изменений могут быть очень широки;

при перемещениях принимающей станции в условиях города, пересеченной местности и т.п. на антенну этой станции, помимо волн, поступающих непосредственно от передающей станции, могут действовать волны от этой же станции после их отражений от различных зданий и иных объектов. Поскольку расстояния, пробегаемые этими волнами, неодинаковы, наблюдается так называемая многолучевость: один и тот же радиосигнал принимается неоднократно с различными сдвигами во времени. Возникающая при этом интерференция волн усиливает непостоянство уровня результирующего сигнала: при совпадении по фазе волны складываются и уровень сигнала возрастает; при противоположности по фазе они взаимно вычитаются и радиосигнал ослабляется. Кроме того, интерференция неблагоприятно влияет на структуру и форму сигнала, несущего сообщение (модулированного сигнала), что приводит к искажениям передаваемых сообщений;

при перемещениях приемника, в особенности непредвиденных, он может оказаться в условиях, когда на него действуют волны постороннего происхождения – радиопомехи от разных источников и с соответственно различными свойствами, т. е. непостоянна "помеховая обстановка". Нестабильность интенсивности и структуры радиопомех может иметь широкие пределы, что затрудняет приспособление (адаптацию) приема к помеховой об-

становке и приводит к ухудшению качества приема передаваемой информации;

в условиях перемещения связывающихся радиостанций затруднена взаимная ориентация их антенн, необходимая для создания оптимальных условий для приема и передачи информации. Если регулирование направленности антенн возможно, то, как правило, при подвижной связи оно сопряжено со значительным усложнением конструкции оборудования. В то же время при радиосвязи между фиксированными объектами применение на радиостанциях антенн, направленных желательным образом, широко применяется и не представляет существенных трудностей;

на крупных движущихся объектах и тем более в персональной радиосвязи на конструкцию радиоаппаратуры накладываются жесткие ограничения по габаритным размерам и массе; как правило, сильно ограничивается также мощность, потребляемая аппаратурой от питающих ее источников тока, иначе говоря, вынужденно уменьшается энергетический ресурс;

в условиях постоянного перемещения абонентской радиоаппаратуры возрастает вероятность ее повреждения, а также влияние климатических и метеорологических условий. Это должно учитываться при конструировании аппаратуры и ее эксплуатации;

при размещении радиооборудования в подвижных средствах более вероятны, чем в стационарных условиях, аварии и разного рода чрезвычайные ситуации. Обычно в подобных условиях требуется безотлагательная и особо надежная сигнализация, что также налагает на конструкцию аппаратуры дополнительные требования, которые учитываются при ее разработке.

Для неотложной передачи сигналов бедствия специально выделяются на международной основе определенные полосы частот, которые запрещается использовать для иных целей.

Идеальной системой подвижной радиосвязи была бы такая, которая позволила бы любому человеку осуществлять обмен информацией с любым другим человеком на Земле без ограничений как во времени и пространстве, так и в объеме передаваемых сообщений. Эта же система должна была бы обеспечивать автоматическую передачу службам безопасности информации о техническом состоянии движущихся объектов и о состоянии окружающей среды. При существующем уровне развития техники эти цели в полном объеме еще не достигаются, но к этому по сути стремятся исследователи, изобретатели и конструкторы.

Подвижная радиосвязь как часть комплексной сети. Потребность в регулярном применении средств электросвязи инди-

видуальными абонентами по большей части реализуется в местных сетях, преимущественно в телефонных. Как уже отмечалось, количество передаваемых междугородных сообщений и тем более международных, т. е. передаваемых в другие страны, во много раз меньше. Это проявляется в полной мере как в фиксированных, так и в подвижных службах связи. По этой причине доминируют сети подвижной радиосвязи с охватом сравнительно небольших территорий.

Наряду с регулярными сетями подвижной радиосвязи, сохраняются связи эпизодические. К ним относится уже упомянутая выше передача сигналов бедствия, которой служат специальное оборудование и специально выделенные частотные каналы. К этому же классу относятся сеансы связи между радиолюбителями и некоторые другие.

К экстраординарным относятся также такие важные, но сравнительно редкие случаи, как исследовательские экспедиции в полярные области и в иные труднодоступные участки земной поверхности. Обеспечение связи в подобных условиях представляет в каждом случае специальную задачу, обычно решаемую с учетом конкретных обстоятельств и ресурсов на международной основе.

В регионах с развитой фиксированной сетью электросвязи обслуживание подвижных абонентов в полной мере обеспечивается предоставлением им выхода в телефонные сети местных населенных пунктов. Наилучшая форма организации такого обслуживания – сотовая радиосвязь, подробно рассматриваемая в данной главе.

Другая форма связи в подобных условиях – персональный радиовызов с передачей вызываемому абоненту кратких буквенно-цифровых сообщений, отображаемых на дисплее приемного аппарата. При необходимости последующего двухстороннего обмена сообщениями большего объема вызываемый подвижный абонент останавливается в населенном пункте, где имеются аппараты фиксированной сети электросвязи общего пользования и использует эту связь согласно инструкциям, полученным от источника вызова. Подробно этот вид персональной связи рассматривается в гл. 7

В общем случае связь между подвижными абонентами обеспечивается не через линию радиосвязи, соединяющую их непосредственно. В большинстве случаев каждый подвижный абонент обслуживается ближайшей к нему узловой (базовой) фиксированной радиостанцией, которая подобно городской телефонной станции может устанавливать связь со многими абонентами, образующими местную сеть.

Узловые станции располагаются в регионе или стране с расчетом на охват всей обслуживаемой территории. Вызовы и потоки

информации от множества подвижных радиостанций передаются между зонами связываемых абонентов по существующим многоканальным линиям региональной или общегосударственной сети – кабельным, спутниковым или радиорелейным.

Если оба абонента находятся в зоне, обслуживаемой одной узловой радиостанцией, то они получают связь друг с другом через нее непосредственно. При нахождении в разных зонах связь между ними обеспечивается через ближайшие к ним узловые станции и по каналам линий связи, соединяющих эти станции. В итоге территориальная или общегосударственная сеть подвижной радиосвязи оказывается комплексной, образуя часть общей единой сети.

В рамках описанной комплексной сети при необходимости возможна организация одновременной циркулярной связи: передачи сообщений от одного абонента нескольким или многим абонентам, находящимся в зоне обслуживания общей для них узловой станции, либо в разных зонах.

Используемый термин "абонент" предполагает обычно участие в сеансе связи человека, что имеет место в подавляющем большинстве случаев. Однако комплексная сеть подвижной радиосвязи, как и любая сеть электросвязи, может включать автоматические устройства как в одном, так и в обоих пунктах, между которыми осуществляется обмен информацией. Источниками передаваемых сообщений в таких сетях могут служить приборы контроля метеорологической или иной обстановки, сигнализаторы аномальных и аварийных ситуаций, аппаратура точного времени и т. п. Прием сигналов подобного характера тоже может осуществляться автоматически с применением регистрирующих, запоминающих или сигнальных устройств, а также компьютеров. Передача сообщений, как речевых, так и цифровых, также может происходить автоматически по заданной программе и в требуемое время с соответствующих аппаратов, в которых заблаговременно записаны эти сообщения и программы их передачи.

Один из видов подвижной радиосвязи, рассчитанный на групповой прием передаваемых сообщений и уже получивший значительное распространение – система передачи данных и инструкций для автомобильного транспорта. Передача сведений о перегрузках отдельных участков автомагистралей, рекомендуемых направлениях объезда препятствий и т.п. ведется через радиостанции звукового радиовещания, в спектр излучений которых для этой цели вводится специальный частотный канал. При отсутствии срочной информации этот канал не препятствует приему программы радиовещания через обычно включенный в пути радиоприемник. При появлении срочных сообщений для водителей

автотранспорта приемник автоматически переключается на прием этих сообщений и воспроизводит их с достаточной громкостью, предупреждая о ситуации. Очевидно, что принципы описанной системы допускают развитие применительно к иным условиям и видам транспорта.

Изложенные общие принципы подвижной радиосвязи и ее применений более детально обсуждаются, уточняются и развиваются в последующих параграфах данного раздела.

Свойства спутниковых систем подвижной радиосвязи.

Диапазон частот в спутниковых системах подвижной радиосвязи от 200 МГц до 10 ГГц. На частотах свыше 10 ГГц в большой степени проявляются потери в молекулах атмосферы; однако в этом диапазоне имеются частоты, доступные для радиосвязи, например 125...150 ГГц, 210...280 ГГц. На частотах ниже 200 МГц радиосвязь затруднена из-за относительного уменьшения геометрических размеров антенны (влияет отношение длины, используемой волны, к эффективному поперечнику антенны), а также невозможности получения приемлемых коэффициентов усиления антенн, т.е. их диаграмм направленности.

Благодаря развитию космических технологий появилась возможность создания на орбите мощных ретрансляторов с большими площадями передающих и принимающих антенн с управляемыми диаграммами направленности. Это позволяет использовать малогабаритные носимые наземные радиостанции, габариты антенн которых не превышают сумку-«дипломат», что крайне важно для подвижной радиосвязи. Поскольку связь осуществляется при малых мощностях сигналов (пороговое отношение сигнал-шум составляет 8...12 дБ), обработку получаемых сообщений целесообразно осуществлять на борту спутника перед ретрансляцией их абоненту. Это позволяет также реализовать пакетную передачу с маршрутизацией потоков, что особенно эффективно в массовых сетях с произвольным (асинхронным) доступом к каналу связи. Многостанционный доступ реализуется одним из трёх способов: с частотным, временным и кодовым разделением. Характерная особенность спутниковой подвижной связи – это противоречие между желанием получить большие коэффициенты усиления и узкие диаграммы направленности антенн и необходимостью охвата относительно больших зон обслуживания. Обычно применяют многолучевые антенны с остронаправленными управляемыми диаграммами направленности. Как и в любых других спутниковых системах связи в спутниковой подвижной радиосвязи существуют строгие ограничения на максимально допустимую плотность пото-

ка мощности, излучаемого передатчиком спутника. К примеру, в диапазоне 8...10 ГГц допустимая плотность потока мощности составляет примерно (-150) дБВт/м². Подробно подвижная спутниковая радиосвязь с описанием примеров существующих российских и международных спутниковых систем рассматривается в § 8.17.

6.2. Термины, классификация и особенности сетей подвижной радиосвязи

Термины, классификация. Системы передачи информации служат для обмена сообщениями между абонентами. Сообщения могут быть представлены в дискретной и непрерывной форме. Дискретные сообщения являются последовательностью различных символов, причем число символов конечно. Чаще всего дискретное сообщение состоит из символов 0 и 1. Примерами дискретных сообщений могут служить телеграфные сообщения. Непрерывные сообщения, представляющие собой непрерывную функцию времени, могут быть представлены в виде дискретных путем дискретизации по времени и квантования по амплитуде.

Каналом радиосвязи, как отмечалось в § 1.4, называют совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сообщения, и среды распространения любых сигналов от источника к получателю с помощью радиосигналов. Системой передачи информации называется канал связи вместе с источником информации и её получателем при заданных методах преобразования сообщения в сигнал и восстановления сообщения по сигналу. Системы, предназначенные для передачи дискретных сообщений, называются дискретными, или цифровыми, а предназначенные для передачи непрерывных сообщений – аналоговыми. Соответственно и каналы, в которых передаются сообщения, называются цифровыми и аналоговыми.

Основной задачей систем радиосвязи, в том числе систем подвижной радиосвязи, является одновременная передача сообщения от многих источников информации к абонентам, которым данная информация предназначена.

Взаимосвязанные каналы связи образуют сеть связи. Каналы и сеть связи, основой которой служит радиосвязь, соответственно образуют сеть радиосвязи. Подвижная радиосвязь и соответственно подвижная служба подвижной радиосвязи – радиосвязь и служба радиосвязи между подвижными или между подвижными и неподвижными (фиксированными) станциями. Подвижной станцией является станция, предназначенная для работы во время движения или во время остановок в неопределенных

пунктах. Сухопутной подвижной службой называется служба, в которой все входящие в нее станции располагаются на суше. Морская или воздушная служба – служба, в которой хотя бы одна из станций может находиться на море или в воздухе. Если в подвижной радиосвязи используется хотя бы одна космическая станция, то такая служба называется космической. Базовой станцией называется сухопутная станция, работающая с подвижными станциями и обеспечивающая связь между ними.

Сети подвижной радиосвязи различаются по следующим признакам:

а) по местонахождению связывающихся или базовых станций: сухопутные, морские, воздушные, спутниковые, смешанные;

б) по виду используемых сигналов и соответствующей аппаратуре: аналоговые, цифровые и смешанные (аналого-цифровые).

Первые системы подвижной радиосвязи, как и в других областях электроники и радиотехники, реализовывались аналоговыми методами. В результате развития цифровой техники, прежде всего появления интегральных технологий, обеспечивающих высокое быстродействие, а также вследствие особенностей аналоговых систем связи – несовместимости стандартов, трудности достижения высокого качества связи и защищенности информации, проявляется тенденция к постепенной замене аналоговых сетей цифровыми. Одним из важных преимуществ цифровых сетей связи является возможность пакетной передачи данных и маршрутизации пакетов, что способствует повышению пропускной способности канала и повышению верности передачи. Примерно с 1994 г стоимость цифровых радиостанций стала, как правило, меньше стоимости аналоговых, что наряду с другими преимуществами цифровых сетей (большие надежность и помехоустойчивость, возможность шифрования и аутентификации пользователя, возможность большей унифицированности и стандартизации) является фактором, приводящим к вытеснению аналоговых сетей цифровыми.

в) по предоставляемым пользователю услугам: сети передачи данных, речи, персонального вызова, "локационные" (с определением местоположения абонента), радиотелефоны (удлинители телефонных линий) и др.,

г) по степени автономности: сети, имеющие выход в другие сети и автономные, т.е. изолированные от других сетей. В настоящее время все большее влияние на развитие сухопутной подвижной радиосвязи, являющейся наиболее существенной частью всего блока систем подвижной радиосвязи, оказывает стремление к их унификации. Это делается для обеспечения взаимной совместимости как существующих, так и вновь разрабатываемых систем.

Национальные стандарты уступают место региональным; так, в настоящее время имеются три распространенных стандарта – европейский (GSM), североамериканский (ADC) и японский (JDC), которые предполагается объединить на основе единых принципов сотовых сетей связи;

д) по категориям пользователей: системы общего доступа и специализированные (например, аварийно-спасательные).

Развитие сухопутных сетей подвижной радиосвязи идет по двум направлениям: создаются ведомственные сети, все большее развитие получают сети связи с подвижными объектами общего пользования. Ведомственные сети связи создаются отдельными организациями и позволяют осуществлять радиосвязь группам абонентов, выполняющих отдельные производственные функции. Они объединяют средства, различные по диапазонам используемых радиочастот, техническим характеристикам, техническим возможностям, количеству обслуживаемых абонентов и виду передаваемой информации. В результате локализации и разобщенности ведомственных сетей, неэффективного использования спектра частот, отсутствия унификации аппаратуры и элементной базы, а также частых нарушений электромагнитной совместимости с другими радиотехническими системами их построение и применение на данном этапе не является оптимальным.

Сети общего пользования позволяют устранить недостатки, присущие ведомственным сетям. Эти сети предоставляют абонентам большой комплекс услуг – от диспетчерских и технологических функций в отдельных учреждениях, работающих на своего ведомственного диспетчера, до автоматического выхода на абонентов городских телефонных сетей, а по междугородным и международным линиям – и на абонентов других городов и стран. Важным преимуществом сетей общего пользования, по сравнению с ведомственными, является более высокая эффективность использования выделяемого для них спектра частот, за счет того, что большой круг обслуживаемых абонентов имеет свободный доступ ко всем частотным каналам в этом спектре.

Сети подвижной радиосвязи можно разделить по назначению на шесть групп: радиотелефонные сети общего пользования; диспетчерские радиотелефонные сети; автономные радиотелефонные сети; сети персонального радиовызова (как общего пользования, так и ведомственные); сети аварийной радиосвязи; сети бесшнуровых телефонов общего пользования.

Радиотелефонные сети общего пользования (РТСОП) обеспечивают соединение с телефонной сетью общего пользования. При этом абонент не должен замечать разницы в организации свя-

зи и ведении переговоров, если он осуществляет связь с другим абонентом фиксированной телефонной сети или с радиоабонентом, находящимся в подвижном объекте.

Радиотелефонные сети общего пользования строятся по следующим принципам: радиальному, когда одна базовая радиостанция обслуживает подвижные объекты на территории радиусом 30...50 км; территориальному, когда обслуживаемая территория разбивается на зоны радиусом 1,5...5 км, в каждой из которых устанавливается базовая радиостанция данной зоны, обслуживающая абонентов, находящихся в этой зоне; линейному, когда базовые радиостанции устанавливаются вдоль магистралей – каждые 5...10 км (шоссе, железных дорог) и обслуживают находящихся на этих магистралях абонентов. Именно последние два вида РТСОП называют сотовыми сетями подвижной радиосвязи. Именно они играют наиболее существенную роль среди всех других систем подвижной радиосвязи по количеству пользователей, объёму и совокупной стоимости выпускаемого оборудования, а также по темпам развития. В данной главе рассматриваются только сотовые системы радиосвязи.

Радиальные сети предполагают использование одной центральной радиостанции, антенна которой располагается в наиболее высокой точке предполагаемой области обслуживания на максимально возможной высоте. Для этого используются телевизионные вышки, высокие здания или устанавливаются специальные мачты.

Мощность передатчика центральной (базовой) радиостанции выбирается такой, чтобы создать заданную напряженность поля в максимально удаленных точках обслуживаемой территории. При расчете зоны обслуживания необходимо учитывать, что из-за многолучевости распространения радиоволн, обусловленной отражениями от зданий и других объектов в городских условиях, возможны замирания сигналов глубиной до 40 дБ и более от среднего уровня, причем соседние минимумы этих замираний могут быть расположены примерно через полуволну несущей (на частоте 300 МГц через 0,5 м). При движущемся автомобиле это может приводить к значительным искажениям сигнала на предельных дальностях связи.

Сотовые сети имеют ряд преимуществ перед радиальными:

- 1) они обеспечивают более высокие надежность и качество связи во всей рабочей зоне. Это связано с тем, что на территории сравнительно малых ячеек удается обеспечить высокое качество связи даже с помощью базовых станций небольшой мощности. При этом улучшается электромагнитная обстановка благодаря

уменьшению размеров ячеек (сот), что также ведет к уменьшению габаритов, электропотребления и стоимости радиостанций;

2) в сотовых системах возможно более эффективное использование частотных ресурсов путем многократного задействования одних и тех же частот при пространственном разнесении базовых станций, что значительно увеличивает емкость сети.

Недостатком сотовых сетей подвижной радиосвязи, по сравнению с радиальными сетями, является значительно большая сложность реализации, в частности большое число проводных каналов, используемых обычно для связи базовой станции с центральной станцией сети, сложность осуществления перехода из одной ячейки в другую по мере перемещения, усложнение процедуры вызова абонента и др. Поэтому при относительно небольшом числе подвижных абонентов и ограниченном числе проводных каналов предпочтение целесообразно отдать радиальным сетям. Например, более чем в 40 городах России эксплуатируется радиальная сеть с частотным разделением каналов типа «Алтай-3М», работающая в диапазоне 300 МГц, которая будет подробнее рассмотрена далее.

Аппаратура систем подвижной радиосвязи классифицируется по следующим признакам: по мощности передатчика; по используемому спектру частот; по виду используемой модуляции (амплитудная, однополосная и угловая модуляция; в аппаратуре, работающей в диапазоне частот 30 МГц и ниже используется однополосная модуляция; на более высоких частотах применяется угловая модуляция); по подвижности (стационарная, возимая, носимая); по количеству каналов (одно- и многоканальные); по виду работы (симплексная, дуплексная и полудуплексная).

Симплексная передача – радиосвязь, при которой передача возможна перемененно в каждом из двух направлений. Двухчастотный симплекс осуществляет ретрансляцию сообщения в прямом и обратном направлениях с использованием разных частот. Дуплекс – работа радиостанции одновременно на прием и на передачу.

Частоты и виды модуляции радиоканалов. Диапазон радиочастот от 10 кГц до 275 ГГц, используемый для радиосвязи, распределен между разными службами. Присвоение конкретных частот и контроль за их использованием осуществляют соответствующие службы. Распределение и присвоение частот постоянно находятся в поле зрения соответствующих международных и отечественных организаций.

В настоящее время в сетях подвижной радиосвязи используются участки диапазонов частот до и даже выше 1000 МГц, что

объясняется особенностями технической реализации радиосредств, используемых на подвижных объектах.

Условно по диапазону частот системы целесообразно разделить на работающие на частотах ниже и выше 30 МГц. Такое деление связано с условиями распространения радиоволн и со спецификой аппаратуры, используемой для радиосвязи. Участки в диапазоне частот 1,605...30 МГц используются в радиостанциях, предназначенных для связи на достаточно большие расстояния без ретрансляторов (см. гл. 4). В России используются участки диапазонов 40; 160; 330 МГц. Диапазоны 450; 900 МГц используются в США, Японии и других странах.

В подвижной радиосвязи используются в основном однополосная (ОМ) на частотах ниже 30 МГц и угловая (УМ) модуляция – частотная (ЧМ) или фазовая (ФМ) на частотах выше 30 МГц. На частотах ниже 30 МГц иногда используется и амплитудная модуляция (АМ), например, в индуктивных системах персонального вызова, а также узкополосная частотная модуляция – на железных дорогах. При АМ абонентские радиостанции имеют сравнительно простую конструкцию, но помехоустойчивость радиосвязи значительно хуже по сравнению с ОМ и УМ.

Особенности распространения радиоволн. При связи с подвижными объектами существуют следующие особенности распространения радиоволн:

а) многолучевое распространение, заключающееся в том, что сигнал от передатчика к приемнику может идти многими путями. В этом случае возможна интерференция, ведущая к появлению в пространственном распределении интенсивности поля глубоких провалов. Часто на приеме присутствуют лишь переотражённые сигналы, так как прямая видимость между приёмником и передатчиком, особенно в городских условиях, может отсутствовать. Пример: на частоте 900 МГц длина волны составляет около 30 см, следовательно, два сигнала, пришедших со сдвигом во времени на 0.5 нс, что соответствует разнице в пути в 15 см, будут складываться в противофазе. Поэтому при перемещении подвижного объекта на расстояния порядка половины длины волны (в примере на 15 см) можно ожидать больших перепадов мощности сигнала;

б) если подвижная станция находится в движении в момент осуществления связи, возможно проявление эффекта Доплера, приводящего к паразитной модуляции частоты сигнала и изменению ширины спектра. Например, на частоте 900 МГц при радиаль-

ной скорости подвижного объекта 250 км/ч сдвиг частоты составляет примерно 200 Гц;

в) в городских условиях транспорт, проходящий мимо станции, вызывает изменения уровня сигнала на входе приемника – эффект замираний. Действие этого эффекта сходно с эффектом, наблюдаемым при многолучевом распространении;

г) более быстрое, чем в условиях свободного пространства (обратно пропорционально расстоянию) снижение уровня сигнала с увеличением расстояния.

6.3. Варианты сетей наземной сотовой подвижной радиосвязи

Сотовые сети занимают значительное место среди прочих систем подвижной радиосвязи. Основной предпосылкой их преимущественного развития явилась, как уже отмечалось, возможность более эффективного использования выделенного частотного ресурса путем многократного использования одних и тех же радиочастот при пространственном разнесении базовых станций. При этом увеличивается емкость сети, улучшается электромагнитная обстановка благодаря уменьшению размеров зон, обслуживаемых базовой радиостанцией (сот), что, кроме того, ведет к уменьшению габаритных размеров, электропотребления и стоимости радиостанции.

В сотовых сетях зона обслуживания абонентов разделяется на ячейки – соты. В каждой соте устанавливается один приемопередатчик с относительно небольшой мощностью (базовая станция БС). Разделение пространства на зоны, как правило, бывает регулярным без специального учета особенности местности. Определение размеров и конфигурации сот (квадраты, треугольники, шестиугольники), мощности передатчиков и т.п. делается с учетом обеспечения необходимой вероятности связи и допустимого влияния соседних передатчиков друг на друга. Одинаковые частоты могут использоваться в ячейках, расстояние между которыми определяется условием распространения радиоволн, допустимым уровнем помех и числом радиостанций, расположенных вокруг данной соты. При сотах в форме шестиугольника антенна с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости обеспечивает «засветку» всей соты с небольшими перекрытиями между сотами.

Широко применяется повтор частот в шестиугольной структуре с интервалом через две ячейки, согласно рис. 6.1 На этом рисунке, как и на рис. 6.2 и 6.3, одинаковые цифры означают оди-

наковые частотные каналы. Для полного перекрытия всей зоны обслуживания достаточно всего семи частот. Размер соты зависит от интенсивности вызовов в каждой соте, с увеличением интенсивности вызовов размер соты необходимо уменьшать (как правило, это выполняется в центральной части сети). Необходимо учитывать, что от размеров сот зависит мощность передатчиков базовых станций, при этом приходится применять различные приемопередающие комплексы, либо средства адаптации уровня излучаемых сигналов. Желание унифицировать аппаратуру обосновывает использование на практике адаптивных по мощности передатчиков, как на базовых, так и на подвижных станциях.

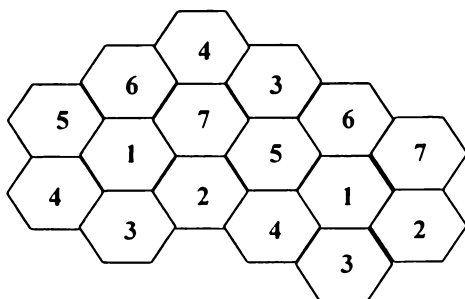


Рис. 6.1

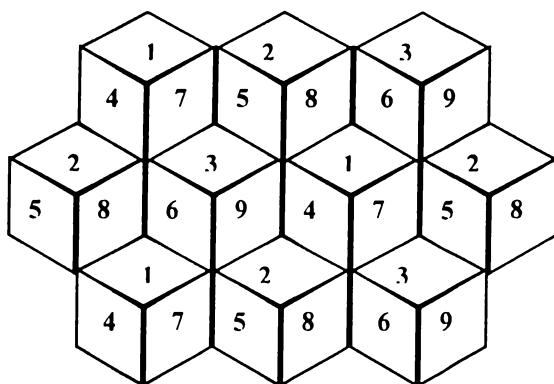


Рис. 6.2

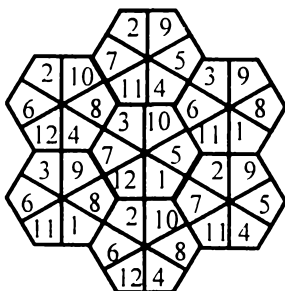


Рис. 6.3

Однако в шестиугольных ячейках ненаправленное излучение радиопередатчиков базовых станций является для подвижного объекта помехой, принимаемой со всех направлений. Снизить эти помехи можно с помощью секторных антенн [6.1]. Секторизация сот позволяет более часто применять одни и те же частоты при одновременном снижении уровня помех (и увеличении числа базовых станций). В этом случае в каждой соте задействуются три 120-градусные секторные антенны с формированием девяти групп частот (согласно рис.6.2). Другой способ секторизации, обеспечивающий самую высокую эффективность использования полосы частот, показан на рис.6.3. Он заключается в том, что каждая частота используется дважды в пределах группы из четырех сот. Каждая из этих четырех сот использует шесть частот из общего числа частот, равного 12; ширина лепестков в каждом секторе составляет $360/6 = 60^\circ$. Применение секторного разделения сот позволяет увеличить емкость сети примерно на 40% при той же помехоустойчивости. Характерный размер сот в "диаметре" – несколько километров при числе пользователей несколько сотен. Число пользователей на одну соту, которые могут быть одновременно обслуживаемыми, определяется числом частотных каналов, выделенных базовой станции.

Путем увеличения емкости сетей является либо расширение частотного диапазона ("экстенсивный" метод), либо снижение уровня соканальных помех; из-за дефицита свободных частот предпочтительнее второй способ. Снижение соканальных помех, т.е. помех со стороны станций, работающих на тех же частотах, возможно путем применения, помимо секторных антенн в сотах, адаптивного распределения каналов по сотам с учетом текущей нагрузки, автоматической регулировки уровня излучения передатчиков (адаптация по уровню) и пространственного разнесения на приеме.

Перспективным направлением организации сотовых систем является микросотовая структура, когда радиус зон составляет несколько сотен метров. Микросоты целесообразно создавать для обслуживания отдельных участков улиц, магазинов, аэропортов и т. п. Маломощный передатчик микросоты можно рассматривать как развитие оборудования макросотовой базовой станции, с управлением единым контроллером и с взаимным соединением проводными линиями. В связи с радиальным уменьшением зон обслуживания использование микросот возможно лишь в случае их простоты и дешевизны. В микросотах отсутствуют частотное планирование и эстафетная передача, что отличает их от обычных сотовых систем. Частотное планирование нецелесообразно ввиду трудностей прогнозирования условий распространения радиоволн и уровня канальных помех. Фиксированное распределение частот также неэффективно, поэтому используется процедура автоматического адаптивного распределения каналов (европейский стандарт бесшнуровых телефонов DECT). Частота переключений базовых передатчиков в микросотах существенно возрастает, что требует быстросрабатывающих алгоритмов переключения, поэтому используется управление со стороны подвижного объекта: функции измерения уровня сигнала для принятия решения о переключении возложены на абонентов, при этом базовые станции и центр коммутации не перегружаются, а лишь ставятся в известность о необходимости переключения между базовыми станциями. Помимо микросот возможно применение «пикосот»-ячеек, обслуживающих внутренние помещения зданий. Их линейные размеры могут быть в пределах нескольких десятков метров.

Упрощенная функциональная схема системы сотовой связи показана на рис.6.4. В центре соты расположена базовая станция (БС), связанная радиоканалами со всеми подвижными (абонентскими) станциями (ПС). Число радиоканалов БС обычно кратно 8, по одному из каналов, который называется управляющим, обычно передается сигнал вызова от абонента на установление связи.

Соты, образуя группы, связаны соединительными проводными или радиорелейными линиями с центром коммутации. Если центров коммутации несколько, то они также соединены между собой. Центр коммутации обеспечивает управление вызовами и маршрутизацию потоков, а также эстафетную передачу абонента между сотами при его передвижении из одной соты в другую и автоматическую смену канала в случае появления в нем помех или неисправностей. С этой целью центр коммутации осуществляет непрерывное слежение за подвижной станцией в процессе её перемещения в зоне его ответственности.

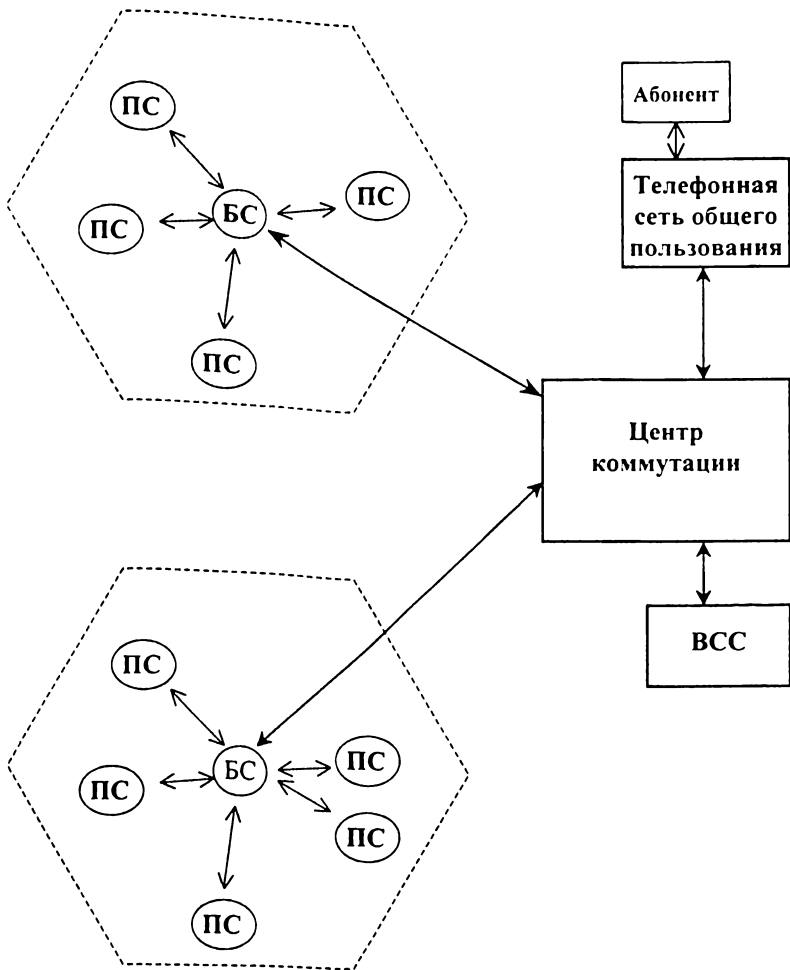


Рис. 6.4

Ещё одной функцией коммутационного центра является сопряжение сотовой сети с другими службами связи (телефонной сетью общего пользования, взаимоувязанной сетью связи России ВСС, базами данных, другими подвижными службами) при помощи стандартизированных промежуточных устройств – интерфейсов. Вызов подвижного абонента осуществляется одновременно всеми базовыми станциями, в области действия которых предполагается нахождение абонента. Подвижная станция, приняв вызов, содержащий характерные для неё опознавательные признаки, отвечает

сигналом подтверждения на ответной частоте сигнала вызова. После этого коммутационный центр определяет в соответствии с алгоритмом данной сети частоту и передаёт канал связи и управление той базовой станции, с которой связался абонент. Работой нескольких коммутационных центров руководит центр управления и обслуживания.

В сотовых сетях применяют три принципа распределения частотных каналов связи (частотных или временных) между сотами: фиксированное, динамическое и смешанное (гибридное) распределение.

При фиксированном распределении частотных каналов выделенное их подмножество постоянно закрепляется за ячейками, определенным образом разделенными между собой в пространстве. Для обслуживания вызова, поступившего от абонента из данной ячейки, могут быть использованы только каналы из этого подмножества. Если все каналы из закрепленного за ячейкой подмножества заняты, то абонент получит отказ, даже если в соседней зоне имеются свободные каналы. Сети, в которых возможен выбор любого канала из закреплённого подмножества, называются сетями с равнодоступными каналами.

Критерием качества сотовых сетей при их проектировании может являться минимум средней (по всем ячейкам) вероятности отказа. При нестационарном трафике в различных ячейках и интенсивном передвижении абонентов из одной ячейки в другую принцип фиксированного закрепления каналов и постоянного радиуса ячеек может не обеспечить выполнение указанного требования. Поэтому лучшие результаты могут быть получены при использовании динамического распределения.

При динамическом распределении частотные каналы распределяются с учетом загруженности всех ячеек: для выделения радиоканала определенной ячейке осуществляется поиск свободного канала путем перебора каналов сети.

При смешанном распределении каналов каждой базовой станции выделяется как фиксированный набор каналов, так и некоторое число динамически распределяемых каналов (общих для разных ячеек). При этом вероятность отказа зависит как от удельной нагрузки, так и от соотношения между числом фиксированных и динамически распределяемых каналов.

6.4. Аналоговые и цифровые стандарты сотовых сетей

Первые сети подвижной радиосвязи реализовывались аналоговыми методами. Известны девять основных стандартов аналоговых ССПР: AMPS (США, 1981) – в диапазоне 800 МГц; HCMTS (Япония, 1979, 1988 – новая) – 900 МГц; NMT-450 (Скандинавские страны, 1981) – 450 МГц; NMT-900 (Скандинавские страны, 1986) – 900 МГц; C-450 (Германия, 1985) – 450 МГц; TACS (Англия, 1985) – 900 МГц; ETACS (Англия, Лондон, 1987) – 900 МГц; RTMS-101H (Италия, 1985) – 450 МГц; Radiocom-2000 (Франция, 1985) – 200; 400 МГц. В России NMT-450 принят в качестве федерального стандарта, а AMPS в качестве регионального.

Однако развернутые в прошлые годы аналоговые сотовые сети уже не соответствуют современному уровню развития информационных технологий из-за несовместимости стандартов, недостаточно высокого качества связи, отсутствия засекречивания передаваемых сообщений и взаимодействия с цифровыми сетями с интеграцией служб (ISDN) и пакетной передачи данных (PDN) и т.д. [6.1]. По этой причине в 80-х годах в Европе, США и Японии приступили к интенсивному изучению принципов построения перспективных цифровых сотовых сетей. В настоящее время широкое распространение нашли три стандарта таких систем с макросотовой топологией сетей и радиусом сот, до 35 км: общеевропейский стандарт GSM, американский стандарт ADC (D-AMPS) и японский стандарт JDC.

Стандарт GSM предусматривает создание сотовых сетей в диапазоне 900 МГц и является основой стандарта DCS-1800 (диапазон 1800 МГц) с микросотовой структурой, принятого в настоящее время для реализации персональной связи в Европе. В июне 1992 года стандарт GSM принят в России в качестве федерального стандарта на цифровые системы сотовой связи.

Американский стандарт ADC (D-AMPS) разрабатывался для сотовых сетей, работающих в диапазоне частот 800 МГц, с возможностью работать в общей с существующей аналоговой сетью связи AMPS полосе частот. Это потребовало сохранения для цифровой сотовой сети частотного разноса каналов 30 кГц, используемого в AMPS, а также обеспечения одновременной работы абонентских радиостанций как в аналоговом, так и в цифровом режимах.

Японский стандарт JDC во многом совпадает со стандартом ADC; однако используются другие диапазоны частот (800, 950 и 1500 МГц), разнос полос частот приёма и передачи и разнос каналов.

Все стандарты цифровых сотовых сетей обеспечивают взаимодействие с ISDN и PDN, гарантируют высокое качество передаваемых сообщений в режимах открытой или засекреченной передачи.

Далее несколько подробнее рассмотрим аналоговые и цифровые стандарты. Для сравнения обратимся вначале к существующей Российской радиотелефонной аналоговой системе «Алтай-3М», строящейся по радиальному принципу.

6.5. Радиотелефонная сеть общего пользования "Алтай-3М"

Сеть "Алтай-3М" разрабатывалась не для общего пользования с прямым выходом на городские АТС, а для объединения ряда ведомственных сетей служебной связи. Эта сеть (рис.6.5) состоит из центральной станции (ЦС); ведомственных диспетчерских пунктов (ВДП) и абонентских станций (АС). Связь АС-ЦС осуществляется в диапазоне частот 301,1375...305,8125 МГц, а ЦС-АС в диапазоне 337,1375...341,8125 МГц в дуплексном режиме с разносом частот 36 МГц. Диапазон частот разбит на 22 участка (ствола) по восемь радиоканалов в каждом. Разнос частот между радиоканалами составляет 25 кГц.

Центральная станция включает центральную радиостанцию (ЦРС), состоящую из приемопередающего оборудования (ППО) и антенно-фидерного устройство (АФУ), пункт управления (ПУ), в состав которого входят: комплект коммутационного оборудования (ККО), система генераторного оборудования (СГО), пульт центрального диспетчера (ПЦД), пульт сигнализации дежурного техника (ПСТ) и аппаратура опознавания номера (АОН). К пульту управления может быть подключено до 18 ВДП с непосредственным подключением к ПУ, либо с подключением к КПУ ВДП, который, в свою очередь, соединяется с производственной или учрежденческой АТС; либо подключением к ВДП нескольких прямых абонентов и т.д. Пункт управления связан с городской АТС.

Радиоканалы ствола равнодоступны и объединены средствами автоматического поиска свободного и вызывного каналов. Это позволяет использовать для связи любой из свободных в данный момент радиоканалов, что значительно увеличивает пропускную способность сети. Каждый подвижный абонент ствола имеет индивидуальный избирательный вызов. Число избирательных вызовов в стволе 989, циркулярных 10, избирательных номеров ведомственных диспетчеров 18. Каждый ствол автономен и имеет свою нумерацию абонентов, ВДП и циркулярных вызовов.

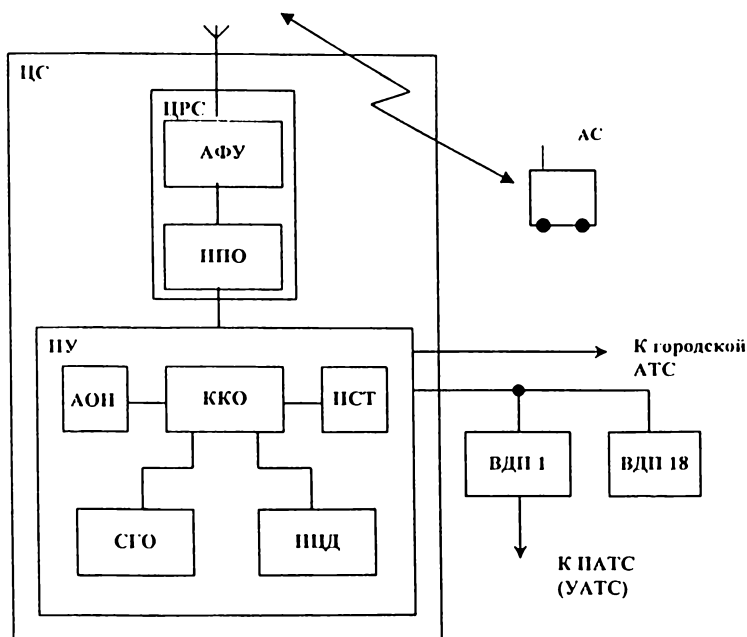


Рис. 6.5

Вызовы на участке радиотракта – тональные, с использованием 42 частот в диапазоне 1003...2397 Гц с разносом 34 Гц. Сигнал избирательного вызова абонентских станций состоит из комбинации трех частот, передаваемых одновременно. Число абонентов, которое без ущерба для качества обслуживания можно включить в один ствол, может составлять до 300.

В каждом стволе центральной станции обеспечиваются следующие виды связи:

1) подвижного радиоабонента с ВДП и с центральным диспетчерским пунктом при автоматическом соединении – набором двухзначного номера 11-19 и 21–29; центральный диспетчер вызывается набором цифры 0;

2) подвижного радиоабонента с любым абонентом городской или ведомственной телефонной сети при автоматическом соединении – набором номера индекса 8 и после получения второго тона набором полного номера абонента телефонной сети;

3) ведомственного и центрального диспетчерских пунктов избирательно с подвижным радиоабонентом – набором трехзначного номера этого абонента или циркулярно с группой радиоабонентов – набором трехзначного циркулярного номера;

4) любого абонента городской или ведомственной телефонной сети с подвижным радиоабонентом при автоматическом соединении – набором номера АТС, закрепленного за этим радиоабонентом. Количество таких абонентов в одном стволе – не более 100;

5) двух подвижных радиоабонентов одного ствола между собой при автоматическом соединении – набором однозначного индекса 9 и трехзначного индивидуального номера вызываемого радиоабонента;

6) подвижного радиоабонента с абонентами городской АТС и междугородной телефонной станции, с прямыми абонентами и другими подвижными радиоабонентами через ведомственный или центральный диспетчерский пункт при ручном установлении соединения;

7) между центральным и ведомственным диспетчерским пунктами с автоматическим получением соединения – набором трехзначного индекса 000 центрального диспетчера или двухзначного номера ведомственного диспетчера.

Абонентская радиостанция состоит из антенны, приемопередатчика, усилителя звуковой частоты с громкоговорителем и переходного устройства для подключения к аккумуляторной батарее автомобиля. Радиостанция предназначена для использования в одном из частотных стволов, на определенных вызывных частотах, соответствующих избирательному (индивидуальному) и циркулярному (групповому) номерам. Устройства абонентской радиостанции обеспечивают следующие виды работы: в режиме дежурного приёма – поочерёдное автоматическое опробование восьми каналов связи и определение свободного канала сети; автоматическое вхождение в связь при приёме радиостанцией избирательного (индивидуального) или циркулярного (группового) вызовов; автоматическое вхождение в связь абонента радиостанции с абонентом центральной станции (ведомственным, центральным диспетчером, абонентом городской АТС) на свободном канале.

Основные электрические параметры абонентской радиостанции: число рабочих каналов 8, фиксированных через 25 кГц; частоты приёма 337,1375...341,8125 МГц; частоты передачи 301,1375...305,8125 МГц; диапазон модулирующих частот 300...3400 Гц; мощность несущей передатчика 6...10 Вт; чувствительность модуляционного входа передатчика (для получения девиации 3 кГц) 50 мВ; чувствительность приёмника по уровню входного сигнала не более 1 мкВ; выходная мощность приёмника в телефоне микротелефонной трубки не менее 1 мВт, а в громкоговорителе не менее 1 Вт; потребляемая мощность при работе на приём не более 3,8 Вт, а при работе на передачу не более 44 Вт

6.6. Сотовая система связи стандарта NMT-450

Характеристика системы связи. Система связи стандарта NMT-450 [6.11, 7 10] является примером аналоговых сотовых систем первого поколения. Между подвижной и базовой станциями используются частоты в диапазоне 453...457,5 МГц. В системе 180 каналов связи шириной по 25 кГц каждый, многократное использование частот позволяет повысить число каналов связи до 5568. Увеличение абонентской ёмкости системы достигается организацией малых зон связи. На каждую базовую станцию в среднем выделяется 30 каналов. Пять скандинавских стран, для которых была разработана рассматриваемая система связи, покрывались сотами с размерами от 5 до 25 км.

Для стандарта NMT-450 характерна полная совместимость всех подвижных станций с базовыми станциями всех входящих в систему стран. Система стандарта NMT-450, а также более новая система стандарта NMT-900 (диапазон частот для связи подвижной станции с базовой 935...960 МГц, а для связи базовой с подвижной 890...915 МГц) применяются в настоящее время более чем в 40 странах мира, включая и Россию. В системе связи стандарта NMT-900, по сравнению с системой стандарта NMT-450, используются радиотелефоны меньших габаритных размеров, к тому же спектр услуг связи и управления более широкий. Число каналов в системе NMT-900 – 999, дуплексный разнос каналов приёма и передачи 45 МГц, мощность передатчика базовой станции до 25 Вт, подвижной станции от 0,1 до 6 Вт, радиус соты от 2 до 20 км.

Система связи обеспечивает входение в связь и регистрацию стоимости в автоматическом режиме, организацию связи между подвижной станцией и любым абонентом телефонной сети общего назначения или с любой другой подвижной станцией данной системы связи; автоматический поиск требуемой подвижной станции независимо от ее местонахождения в пределах действия данной системы связи. Рассматриваемая система в основном обеспечивает связь между наземными подвижными абонентами, однако возможна связь между морскими подвижными службами вблизи берега.

Структура сети NMT Структурная схема сети сотовой подвижной связи стандарта NMT-450 практически совпадает с общей схемой рис.6.4. В её состав входят: подвижные станции ПС (обычные, с приоритетом, портативные, подвижные станции – таксофоны), базовые станции БС, центр коммутации, обеспечивающий управление системой и являющийся интерфейсом между ПС и телефонной сетью общего назначения. На каждой БС предусмотре-

ны разговорные каналы и каналы вызова. По каналу вызова передается специальный маркирующий сигнал опознания. По свободным разговорным каналам передается специальный сигнал, подтверждающий готовность канала к ведению переговоров. Все ПС в зоне действия данной БС постоянно работают на канале вызова в режиме приёма. Если все разговорные каналы на БС заняты, то возможно использование канала вызова для ведения переговоров.

Помимо сигналов, маркирующих каналы вызова и разговорные каналы, предусматриваются сигналы для определения зоны обслуживания, страны в которой находится ПС, а также сигналы, обозначающие номер канала. Все служебные сигналы – цифровые, они передаются со скоростью 1200/1800 бит/с с помощью быстрой частотной модуляции [6.11, 7 10].

Структура полного рабочего кадра стандарта NMT показана на рис.6.6. Служебная информация передается в 64-разрядном пакете, который включает в себя: номер канала N1 N2 N3, по которому передается данное сообщение; префикс P, характеризующий тип кадра; номер района обслуживания Y1 Y2, где расположена БС с номером канала 1–3; номер подвижной станции X1–X7; информацию [7 10].

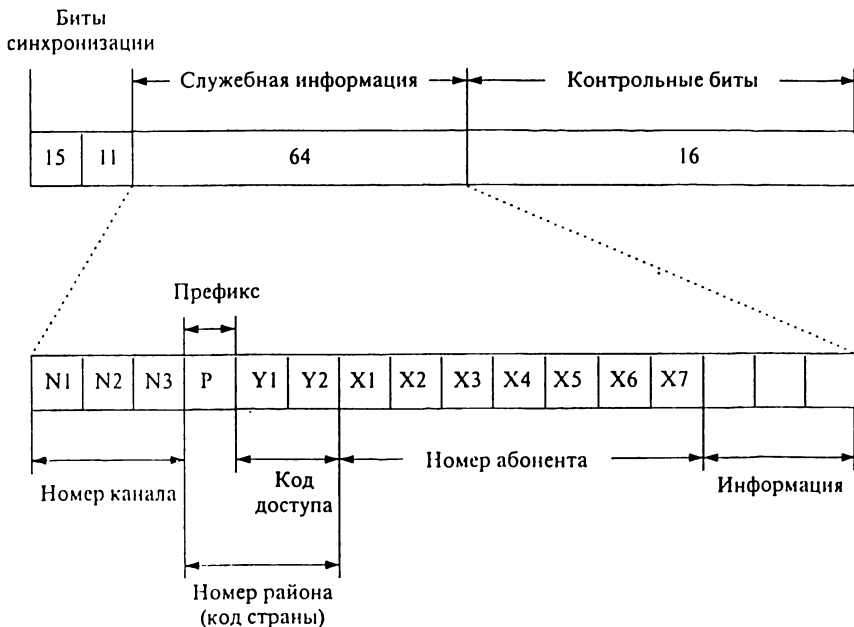


Рис. 6.6

При передаче от центра коммутации к ПС информация 12-битовая, от ПС к центру коммутации не передаётся номер района обслуживания Y1 Y2, при этом информация 20-битовая.

Организация соединений в системе связи. В рассматриваемой системе вызов требуемой ПС поступает от центра коммутации через все БС, находящиеся в зоне связи, одновременно всем ПС. Та ПС, для которой вызов содержит её сигнал опознавания (номер радиотелефона), отвечает на соответствующей частоте канала управления сигналом подтверждения. После этого центр коммутации предоставляет канал связи той БС, в зоне которой находится вызываемый абонент [6.11, 7 10].

При вызове подвижная станция в исходном состоянии настроена на частоту канала управления с максимальным уровнем сигнала. При поступлении вызова от центра коммутации БС начинает излучать ПС контрольный сигнал (тональный сигнал частотой около 4 кГц), который после приёма его ПС ретранслируется по каналу управления обратно на БС. Базовая станция принимает ретранслированный сигнал, детектирует его и оценивает качество принятого сигнала по отношению сигнал/шум, усреднённое за определённый промежуток времени, и передаёт информацию о качестве сигнала на центр коммутации. Если качество сигнала находится в пределах допустимой нормы, то для установления соединения центром коммутации выделяется радиоканал для связи, номер которого сообщается по каналу управления на ПС, после чего канал управления освобождается. Если качество сигнала ниже нормы, центр коммутации принимает решение о подключении другой БС или о прекращении разговора.

Далее центр коммутации запрашивает ПС о принятом ранее номере радиоканала и идентифицирует его. При подтверждении правильности номера радиоканала, принятого ПС, центр коммутации передаёт исполнительную команду вызова «включить звонок». При этом происходит завершающее переключение на разговорный канал и включение на соответствующей БС тонального сигнала для непрерывного контроля качества связи.

При вызове от абонента подвижная станция автоматически находит свободный разговорный канал, по которому передаёт сигнал «канал занят». Центр коммутаций принимает этот сигнал и после получения от ПС подтверждения передаёт на подвижную станцию сигнал готовности к приёму номера вызываемого абонента, который транслируется по разговорному каналу из запоминающего устройства ПС. После подтверждения приема номера центр коммутации осуществляет соединение проводной телефонной пары с радиоканалом. При ответе вызываемого абонента формиру-

ется разговорный тракт и на БС включается тональный сигнал для контроля качества передачи.

Для организации всех соединений в системе связи стандарта NMT используется схема адресации, которая позволяет вызываемому абоненту информировать телефонную сеть о номере вызываемой ПС, передать информацию в телефонную сеть, отвечать ПС на вызов центра коммутации, опознать в центре коммутации вызывающую ПС.

Во всех странах, где используется система сотовой связи стандарта NMT, подвижные абоненты идентифицируются номером Z X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7, который присутствует во всех передачах между центрами коммутации, центром коммутации и БС, центром коммутации и ПС. Цифра Z используется только внутри самой системы связи и не набирается вызывающим абонентом [7 10]. При вызове ПС цифра Z добавляется к номеру абонента радиотелефонным коммутатором, находящимся в зоне его обслуживания. При передаче от абонента цифра Z автоматически добавляется к его ПС.

Помимо цифры Z формируется и код доступа, включающий префикс Pn (0 или 9) и две цифры M1 M2, а при международном вызове вместо кода доступа – код страны. После этого служебная информация посылается в эфир.

Для вызова абонента, перемещающегося из одной зоны в другую, в центре коммутации предусмотрен регистр положения абонентов для контроля пути их передвижения. При перемещении ПС из одной зоны в другую она автоматически посылает на центр коммутации, под контролем которого находится новая зона связи, сигнал об изменении своего местоположения. Эта информация новым центром коммутации передаётся по телефонной сети или по сети передачи данных тому центру коммутации, где была ранее зарегистрирована ПС. При этом в регистре прежнего центра коммутации делается поправка, и все вызовы этой ПС переадресовываются в зону действия нового центра коммутации.

6.7. Сотовая система связи стандарта GSM

Характеристики стандарта GSM-900. В стандарте GSM-900 используется кодек преобразования речи с регулярным импульсным возбуждением (долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием). При этом общая скорость преобразования речевого сигнала составляет 13 кбит/с, скорость передачи сообщения в радиоканале – 270,833 кбит/с. Метод разнесения каналов – перемежение и скачки по частоте, о чём

подробнее будет сказано ниже. Эквивалентная полоса частот, выделяемая на речевой канал, 25 кГц. Требуемое отношение несущая/интерференция 9 дБ. Максимальное число каналов, организуемых в базовой станции, 16–20. Ширина полосы предмодуляционного гауссовского фильтра 81,2 кГц. Число скачков по частоте в секунду 217. Временное разнесение в интервалах кадра (передача/приём) для подвижной станции – 2. Радиус соты 0,5... 35 км.

Стандарт GSM использует полосу частот 890...915 МГц – для передатчиков подвижных и приёмников базовых станций, а 935...960 МГц – для передатчиков базовых и приёмников подвижных станций. Ширина полосы канала связи составляет 200 кГц, что позволяет организовать в сетях GSM 124 частотных канала. Частоты, выделенные для передачи сообщений подвижной станции на базовую и в обратном направлении, группируются парами, образуя дуплексный канал с разносом 45 МГц. Эти пары частот сохраняются и при перескоках частоты. Каждая сота характеризуется фиксированным присвоением определённого количества пар частот.

Каждая из 124-х несущих содержит восемь временных позиций многостанционного доступа с временным разделением каналов (Time Division Multiply Access – TDMA), размещённых в восьми временных окнах в пределах кадра и в последовательности кадров. Каждый физический канал использует одно и то же временное окно в каждом временном кадре.

До формирования физического канала сообщение и данные, представленные в цифровой форме, группируются и объединяются в логические каналы двух типов: каналы связи – для передачи кодированной речи или данных (КС); каналы управления – для передачи сигналов управления и сигнализации (КУ). Более чем один тип логического канала может быть размещён на одном и том же физическом канале, но только при соответствующей комбинации.

В стандарте GSM применяется гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK), при которой последовательность информационных бит до модулятора проходит через фильтр нижних частот с гауссовской характеристикой, что приводит к существенному уменьшению полосы частот излучаемого радиосигнала. В радиосигнале с GMSK-модуляцией на интервале одного информационного бита фаза несущей изменяется на 90°. Индекс манипуляции составляет 0,3.

Квадратурный GMSK-модулятор состоит из двух умножителей и одного сумматора. Один умножитель изменяет амплитуду синусоидального, а второй косинусоидального колебания. Входной сигнал до умножителя разбивается на две квадратурные составляющие. Для модуляции GMSK характерны: постоянная по уровню

огибающая, которая позволяет использовать эффективные передающие устройства с усилителями мощности в режиме класса С, компактный спектр с низким уровнем внеполосного излучения на выходе усилителя мощности передатчика, высокая помехоустойчивость канала связи.

Структура сети GSM. Структурная схема сети (рис.6.7) состоит из системы управления и системы обеспечения радиосвязи, включающей оборудование базовых станций и подсистему коммутации [6.5].

При передаче информации начальным (и конечным) пунктом системы связи GSM, как и любой другой сотовой системы, является абонентский терминал – подвижная станция (ПС) (либо абонент в телефонной сети общего пользования). В ней речевой сигнал обрабатывается по определённому алгоритму и после модуляции передаётся на оборудование базовой станции (БС). В БС входят ряд приёмо-передающих станций (ППС), где принятый сигнал демодулируется и попадает на контроллер базовой станции (КБС), управляющий работой приёмо-передающих станций, обрабатывающий сигналы и распределяющий каналы. После КБС сигнал поступает на транскодирующее устройство (ТКУ), которое осуществляет кодирование и декодирование информации при обмене между ППС и центром коммутации подвижной связи (ЦКС), передачу управляющей информации и согласование различных скоростей в сети GSM. Устройства ППС, КБС и ТКУ образуют оборудование базовой станции, которая, в свою очередь, вместе с ПС образует радиосистему.

Центр коммутации подвижной связи ЦКС совместно с регистром положения РПл, регистром перемещения РПр, центром аутентификации ЦА и регистром идентификации оборудования РИО образуют подсистему коммутации СК. Сигнал, поступая в ЦКС, коммутируется на проводные, оптоволоконные или спутниковые системы передачи (проводную телефонную сеть общего пользования (ТСОП), сеть пакетной передачи данных (СПД), цифровую сеть с интеграцией служб (ЦСИС) и т.д.).

Центр ЦКС работает с группой сот. Он аналогичен ЦСИС-коммутационной станции и служит интерфейсом, связывающим сеть подвижной связи с остальными сетями. Центр маршрутизирует вызовы, осуществляет «эстафетную передачу» и переключение рабочих каналов в соте при неисправной связи. В качестве ЦКС могут использоваться цифровые системы коммутации типа АХЕ или EWSD [6.11]. Максимальная ёмкость ЦКС ограничивается возможностями системы коммутации и обычно составляет 60 тыс. абонентов. Каждый абонент прикрепляется к одному ЦКС.

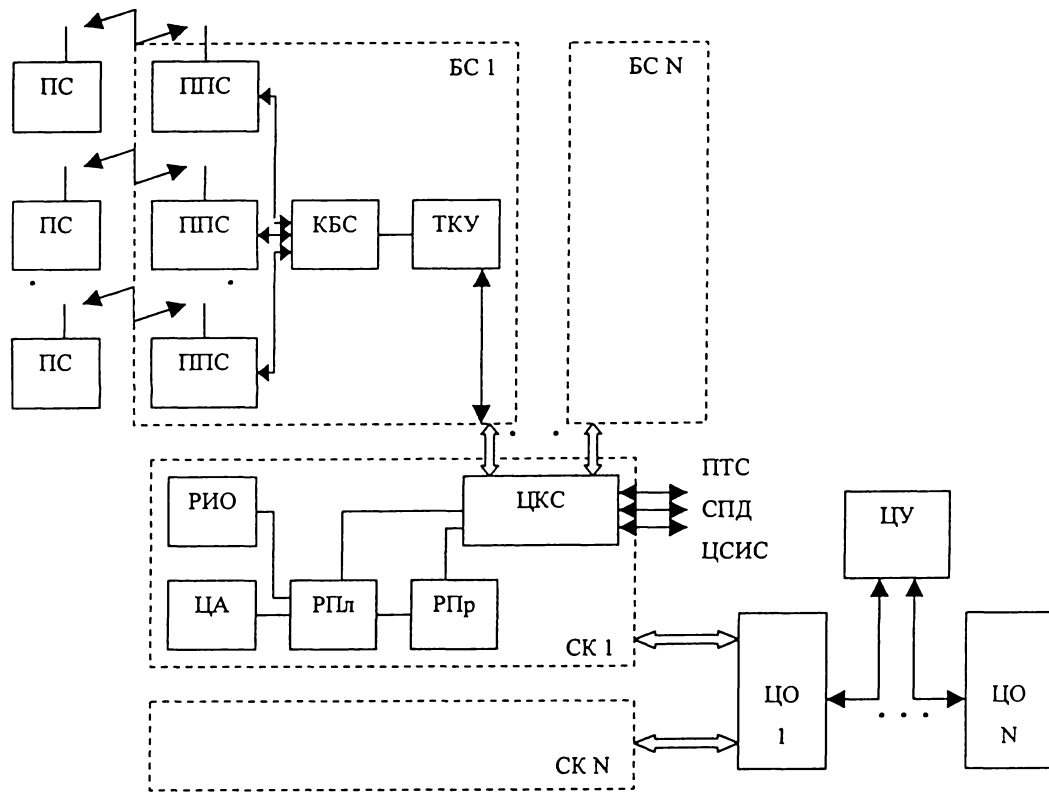


Рис. 6.7

Регистр РПл, установленный на ЦКС, является основной базой данных для абонентов. В нём хранится информация о местоположении подвижных станций, используемая для доставки вызова станции, и международный идентификационный номер, который используется для опознавания абонентов в центре аутентификации ЦА. Регистр РПл обеспечивает безопасность связи путём взаимодействия с ЦА, регистрацию местоположения совместно с РПр, фиксацию окончания разговора совместно с ЦКС и РПр, а также хранение информации по абонентам совместно с ЦА.

Центр аутентификации ЦА формирует ключи и алгоритмы аутентификации, а также обеспечивает проверку полномочий абонента (т.е. удостоверяет подлинность абонента). В РПр хранится информация о номере области связи, в которой находится подвижная станция. Регистр РИО проверяет, авторизовано (соответствует стандартам связи данного региона и является зарегистрированным в данной сети) или нет оборудование, с которого осуществляется вызов.

Таким образом, абонент, подключившийся к центру коммутации, может быть соединён только при условии того, что у него авторизовано оборудование и он идентифицирован как клиент данной сети. Управление оборудованием сети происходит из центра обслуживания (ЦО), который обеспечивает контроль и управление другими компонентами сети и контроль качества её работы. Центр управления связью (ЦУ) обеспечивает рациональное управление сетью: контролирует трафик всей сети и обеспечивает диспетчерское управление сетью при сложных аварийных ситуациях.

Интерфейсы. Взаимодействие элементов сети связи GSM происходит посредством интерфейсов. В стандарте GSM используются интерфейсы трёх видов: для соединения с внешними сетями, между оборудованием сетей GSM (внутренние) и между сетью GSM и внешним оборудованием [6.3].

Интерфейсы с внешними сетями обеспечивают соединение: с проводной телефонной сетью общего пользования (ТСОП) через ЦКС по линии связи 2 Мбит/с, с сетями ЦСИС с помощью четырёх линий связи 2 Мбит/с, с международными сетями GSM на основе протоколов систем сигнализации (SCCP) и межсетевой коммутации подвижной связи (GMSC).

К внутренним относятся ряд интерфейсов сети GSM. Так, для взаимодействия подвижной и базовой станций служит так называемый эфирный интерфейс (Air(Um)-интерфейс), который включает в себя набор физических каналов, доступных в режимах частотного и временного разделения. Каждый физический канал поддерживает ряд логических каналов, зарезервированных для

абонентской нагрузки и сигнализации. По этому интерфейсу передаётся информация, относящаяся к процессу установления соединения и управлению оборудованием. A-bis интерфейс обеспечивает процессы установления соединений и управления оборудованием между КБС и ППС.

Управление базовой станцией с центра коммутации подвижной связи, передача вызова и управление передвижением подвижной станции происходит посредством A-интерфейса, который объединяет каналы связи и линии сигнализации.

При определении местоположения подвижной станции ЦКС посылает запрос к РПр. Если станция проявляет инициативу по определению местоположения с ЦКС, он информирует свой РПр, который заносит при каждом переходе ПС из одной области местоположения в другую всю изменяющуюся информацию в свои регистры. Если абонент изменяет некоторые свои данные или запрашивает специальные дополнительные услуги, ЦКС также информирует об этом РПр, который регистрирует все изменения и передаёт их на РПл. При всех этих действиях обмен информацией между ЦКС и РПр происходит посредством В-интерфейса. Кроме регистрации местоположения, В-интерфейс используется при установлении исходящих и входящих соединений, а также при передаче информации по аутентификации абонента.

В конце сеанса связи ЦКС может послать сообщение регистру положения для тарификации и оплаты абонентом разговора. Если фиксированная телефонная сеть не способна осуществить процедуру маршрутизации для подвижного абонента, ЦКС может послать запрос о местоположении абонента РПл. В этих случаях задействуется С-интерфейс.

Все данные о местоположении подвижной станции для пополнения регистра положения из регистра перемещения при передвижении ПС, а также некоторые команды управления связью передаются посредством D-интерфейса. При переходе абонента из одной зоны связи чёткое взаимодействие ЦКС обеспечивается с помощью E-интерфейса. Для связи КБС с центром управления и обслуживания предназначен O-интерфейс. Сетевой управляющий интерфейс между ЦО и элементами сети является аналогом интерфейса Q.3 [6.1]. Стандартные интерфейсы обеспечивают взаимодействие элементов сети связи через сети передачи данных (СПД) или локальные сети связи.

Структура TDMA кадров и формирование радиосигнала в стандарте GSM поясняются с помощью рис.6.8 [6.1, 6.2]. Для организации каналов связи и управления в стандарте GSM используются два вида мультикадров: 26- и 51-позиционные кадры с вре-

менным разделением каналов. Суперкадр может содержать 51 мультикадр I первого типа (для реализации каналов связи) или 26 мультикадров II второго типа (для реализации каналов управления). Каналы связи делятся на каналы передачи речи и каналы передачи данных. Каналы управления могут быть четырех видов и обеспечивают передачу сигналов управления и синхронизации.

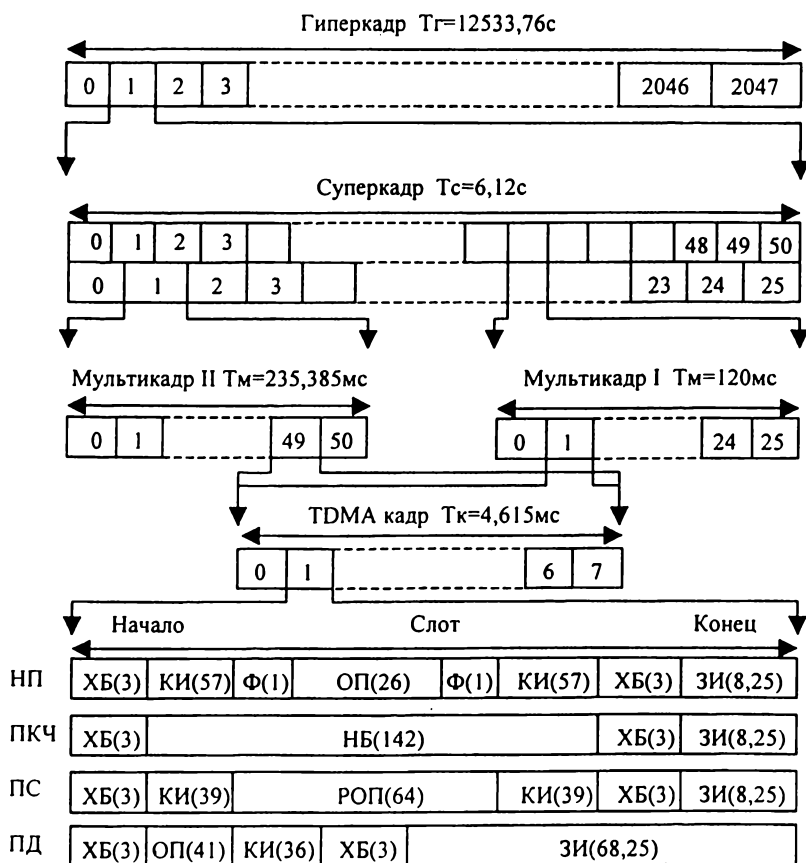


Рис. 6.8

Однако, как для каналов связи, так и для каналов управления TDMA кадр состоит из восьми слотов (пачек), имеющих разную структуру и информационное содержание в зависимости от их назначения. Пачки бывают пяти видов: нормальные, коррекции частоты, синхронизации, доступа и установки.

Нормальная пачка (НП) допускает передачу 114 бит кодированной информации (КИ). Информационный блок состоит из двух блоков по 57 бит в каждом, разделённых между собой 26-битовой обучающей последовательностью (ОП), используемой для подстройки приёмника в соответствии с характеристиками канала связи в момент передачи по нему информации. Двухбитовая флаговая комбинация (Ф) определяет начало и конец передачи информации. Перед первым и в конце второго блоков идут хвостовые биты (ХБ) или концевая комбинация. Завершает пачку защитный интервал (ЗИ) в 8,25 бит.

Пачка коррекции частоты (ПКЧ) используется для синхронизации по частоте мобильной станции с базовой; 142 бита, образующие установочный блок, являются нулевыми (НБ), что соответствует передаче немодулированной несущей. Повторяющиеся ПКЧ образуют канал установки частоты.

Пачка временной синхронизации (ПС) несёт в себе расширенную обучающую синхропоследовательность (РОП) в 64 бита, характеризующую номер TDMA кадра и идентификационный код базовой станции. Повторяющиеся ПС образуют канал синхронизации.

Пачка доступа (ПД) используется для установления связи между мобильной станцией и новой базовой станцией. Такая пачка содержит большой защитный интервал. Пачка установки (ПУ) устанавливает связь и тестирует канал связи.

Для обеспечения частотного разнесения в радиоканалах с многолучевым распространением радиоволн в процессе сеанса связи в сети GSM используются медленные скачки по частоте [6.11]. При этом сообщение, передаваемое абоненту в выделенном временном интервале информационного кадра, в каждом последующем кадре передаётся на новой несущей частоте (рис.6.9).

Применение медленных скачков по частоте позволяет уменьшить вероятность групповых ошибок в передаваемом сигнале за счёт уменьшения замираний. Так как рэлеевские замирания являются частотно селективными, то при переходе с одной частоты, на которой имело место замирание, на другую частоту, не обязательно слишком удалённую от первой, замирания с большой вероятностью не будет. Таким образом, снижается вероятность замираний, а значит и групповых ошибок.

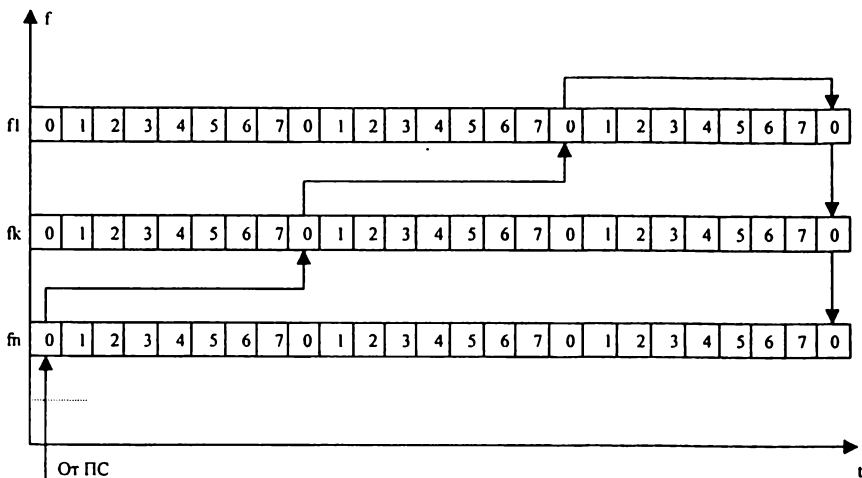


Рис. 6.9

В процессе скачков по частоте постоянно сохраняется дуплексный разнос частот 45 МГц между каналами приёма и передачи. Каждому активному абоненту ставится в соответствие определённая ортогональная формирующая последовательность, что исключает взаимные помехи между абонентами в соте. Параметры последовательности передаются мобильной станции от базовой в процессе установления канала. В смежных сотах используются разные последовательности.

Структура логических каналов управления. Каналы управления обеспечивают передачу сигналов управления и синхронизации [6.11]. Различают четыре вида каналов управления: передачи сигналов управления, общие, индивидуальные и совмещённые.

Каналы передачи сигналов управления используются от базовой на все подвижные станции. Они несут информацию, необходимую подвижным станциям для работы в системе связи. Различают три вида таких каналов: канал подстройки частоты для передачи немодулированной несущей с фиксированным частотным сдвигом относительно номинального значения частоты канала связи, канал временной синхронизации и канал управления передачей.

Общие каналы управления включают: канал вызова от базовой станции к подвижной для её вызова, канал параллельного доступа от подвижной станции к базовой для запроса о назначении индивидуального канала управления и канал разрешённого доступа для передачи с базовой станции на подвижную.

Индивидуальные каналы управления, используемые в двух направлениях для связи между базовой и подвижной станциями, состоят либо из четырёх, либо из восьми подканалов. По этим каналам обеспечивается запрос подвижной станции о требуемом виде обслуживания, контроль правильного ответа базовой станции и выделение, если это возможно, свободного канала связи.

Совмещённые каналы управления также используются между базовой и подвижной станциями. Они передают команду управления от БС к ПС и информацию от ПС к БС о статусе подвижной станции. Быстрый совмещённый канал управления обеспечивает передачу команд при передвижении ПС из одной соты в другую, а медленный – установку выходной мощности передатчика ПС. Совмещённые каналы управления всегда объединяются либо с каналами связи, либо с индивидуальными каналами управления [6.10]. При этом различают шесть видов объединённых каналов управления.

Организация физических каналов. Для передачи информации каналов связи, а также быстрых либо медленных совмещённых каналов управления используется 26-кадровый мультикадр [6.10]. В полноскоростном канале связи в каждом 13-м временном кадре мультикадра передаётся пакет информации медленного совмещённого канала управления. При этом каждый 26-й временной кадр мультикадра свободен. В полускоростном канале связи пакет информации быстрого совмещённого канала управления передаётся в каждом 13-м и 26-м временных кадрах мультикадра.

Для одного физического канала в каждом TDMA кадре используется 114 бит. Поскольку в мультикадре для передачи информации канала связи используется 24 временных кадра из 26-ти, а длительность мультикадра составляет 120 мс, общая скорость передачи информационных сообщений по каналу связи составляет 22,8 кбит/с. Медленный совмещённый канал управления занимает в полноскоростном канале связи только один кадр (114 бит). Тогда скорость передачи по этому каналу составит 950 бит/с. Полная скорость передачи в двух этих объединённых каналах с учётом пустого 26-го временного кадра составит 24,7 кбит/с.

За время 26-ти кадрового мультикадра (в одном физическом канале) может передаваться информация двух полускоростных каналов связи, каждый по 12 TDMA кадров. Пустой 26-й кадр в полноскоростном канале связи отводится для медленного совмещённого канала управления во втором полускоростном канале связи. Для каждого полускоростного канала связи скорость передачи составляет 11,4 кбит/с; полная скорость передачи в объединённом полускоростном канале связи и медленном совмещённом

канале управления остаётся прежней – 24,7 кбит/с. Информация быстрого совмещённого канала управления передаётся половиной информационных бит временного интервала кадра в канале связи, с которым он совмещается в восьми последовательных кадрах. Для передачи информации каналов управления, за исключением совмещённых, используется 51-кадровый мультикадр.

6.8. Развитие в России систем подвижной связи третьего поколения

В настоящее время заканчивается работа по созданию систем мобильной связи третьего поколения, получившей название IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000). К отличительным особенностям этой системы можно отнести [6.13, 6.14]:

- 1) обеспечение глобальной связи;
- 2) совместимость с действующими системами связи второго поколения;
- 3) значительное расширение ассортимента услуг, включая как высококачественную речевую низкоскоростную связь, так и высокоскоростные услуги мультимедиа и беспроводной доступ в Internet; при этом тарифы на предоставление всех этих услуг должны быть значительно снижены;
- 4) адаптацию к различным условиям и сценариям связи;
- 5) практически мгновенный доступ к услугам;
- 6) эффективное использование радиоресурсов.

Европейская система подвижной связи третьего поколения (система UMTS) является результатом дальнейшего развития систем второго поколения, таких как ISDN и GSM. Конечная цель разработки систем семейства IMT-2000/UMTS – это создание универсальной системы связи, объединяющей все виды сетей подвижной и стационарной связи, включая как спутниковые, так и наземные сотовые и пейджерные системы.

Проведенные научно-исследовательские работы позволили сформулировать основные принципы внедрения подвижной связи третьего поколения в России [6.13, 6.14]: постепенный переход от систем подвижной связи второго к системам третьего поколения; преемственное лицензирование услуг связи систем третьего поколения, с поддержкой операторов стандарта GSM; порядок сертификации оборудования должен быть взаимоувязан с европейской системой стандартизации; государственное регулирование операторской деятельности и рыночных механизмов в выделении необ-

ходимого частотного ресурса; обеспечение национальной и информационной безопасности.

Реализация услуг систем связи третьего поколения требует выбора ряда технических решений. К ним относятся разработка нового радиointерфейса для передачи сообщений со скоростью до 2048 кбит/с. В настоящее время согласованы пять вариантов радиointерфейсов третьего поколения, состав и краткие технические характеристики которых приведены в [6.14]. Поскольку с увеличением скорости передачи сообщений расширяется полоса частот радиоканала, в условиях возрастающего дефицита частотного ресурса приобретает актуальность проблема с распределением спектра частот и выбор эффективных методов манипуляции и радиодоступа для систем связи ИМТ-2000.

Снижение тарифов на предоставление услуг связи приводит к необходимости повышать пропускную способность подвижной сети связи без значительных дополнительных затрат на развитие существующих физических каналов связи. Это возможно за счет применения коммутации пакетов вместо коммутации каналов, как это реализовывалось в подвижных системах связи второго поколения.

Таким образом, в результате проводимых работ определяются условия выделения полос частот для подвижной связи третьего поколения, решаются проблемы электромагнитной совместимости радиосредств систем связи третьего поколения с радиосредствами, действующими в настоящее время в полосе 2 ГГц; выполняются работы по созданию сетей пакетной коммутации для подвижной связи и т.д.

В завершение отметим, что работы, которые ведутся в направлении развития стандартов и сетей второго поколения, позволяют констатировать, что в ближайшие 1-2 года системы связи стандартов GSM (900/1800/1900) и TDMA (IS-136) будут предоставлять своим абонентам практически полный пакет услуг систем связи третьего поколения при развитых инфраструктуре сетей, международном роуминге и рынке радиотелефонов [6.14].

7. СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНОГО РАДИОВЫЗОВА

7.1. Назначение и принципы построения систем персонального вызова

Известно, что связь – это основа управления: руководителю необходимо иметь возможность оперативной связи с подчиненными. Еще более важна оперативная связь для различных аварийных служб, для врачей и органов правопорядка. Для повышения эффективности всех видов человеческой жизнедеятельности необходимо расширять ресурсы оперативного извещения каждого отдельного человека о происходящих событиях, актуальных для него изменениях обстановки, т. е. необходимо обеспечить непрерывную связь с каждым человеком и между людьми.

Единственным способом связи с человеком, находящемся в производных местах и тем более в движении, является радиосвязь. Ее целесообразность и необходимость подтверждает тот факт, что в последние два десятилетия возникла и интенсивно развивается глобальная связь, охватывающая практически всю планету – персональный радиовывоз. Система персонального радиовывоза (СПВ) позволяет передать вызов и необходимый минимум информации человеку или группе людей, независимо от места их нахождения. При этом в большинстве случаев нет необходимости в двухсторонней связи, а достаточно передать краткую информацию. По сравнению с двухсторонней телефонной радиосвязью СПВ требует существенно меньших затрат на ее организацию; более эффективно использует радиочастотный спектр, поскольку один радиоканал может обслуживать большее количество абонентов; характеризуется меньшим энергопотреблением, большей экологичностью и возможностью охвата сколь угодно больших территорий.

Первоначально СПВ функционировали с радиусом действия, ограниченным территорией предприятия или помещениями внутри здания, охваченными многовитковой проводной петлей. Одна из первых систем этого типа – “Мультитон” была разработана в 1956 г. подобные системы с индуктивной связью, использующие магнитное поле с низкими частотами несущих колебаний, находят применение и в настоящее время. Система персонального радиовывоза этого типа используются, например, для обслуживания участников различного рода совещаний и массовых мероприятий, для срочного вызова участника совещания к телефонному аппарату, для пе-

редачи сигналов срочного вызова дежурным врачам в больницах, оперативным работникам различных служб, пожарным командам; для обеспечения персональной связи с шахтерами при экстремальных ситуациях и т.д. [7 1, 7.2].

Для значительных территорий СПВ строятся на основе радиосвязи на метровых и дециметровых волнах. В различных системах подобного класса обычно используются полосы частот, прилегающие к: 30, 80, 160, 300 и 450 МГц. Зона уверенного приема сигналов в диапазоне 450 МГц меньше, чем в диапазоне 160 МГц, что обусловлено менее благоприятными условиями распространения радиоволн этого диапазона, а также более заметным влиянием метеорологических условий, рельефа местности и т.д. Диапазоны 450 и 900 МГц предпочтительны в городах с плотной застройкой из железобетонных зданий, так как радиоволны этих диапазонов обладают хорошей проникающей способностью; к тому же на этих частотах сравнительно слабо проявляется влияние атмосферных и промышленных помех.

Абонент СПВ использует малогабаритный вызывной приемник (пейджер), имеющий индивидуальный номер (адрес). В простейшем случае вызов передается по телефонной сети на центральную станцию, преобразуется в кодированный радиосигнал и передается на выделенной для СПВ частоте в то место, где находится абонент.

Если радиус действия для одного передатчика центральной станции не позволяет обслужить всю территорию, то она разбивается на отдельные зоны, в каждой из которых имеется свой передатчик. Сигнал вызова длительностью 1...2 с передается всем пейджерам, однако сработает только тот из них, который настроен на определенную частоту и имеет соответствующий адрес. Получив вызов, абонент по телефонному аппарату по заранее известному номеру принимает адресованное ему сообщение, либо получает соединение для телефонного разговора, либо, что характерно для современных СПВ, сигнал вызова совмещается в пейджера с визуальным отображением сообщения небольшого объема на дисплее. Сигнал вызова может подаваться не только одному, но и группе абонентов, если им присвоен единый адрес. Вызов может подаваться абонентам с повтором, с автоматической проверкой и корректировкой правильности принятого сообщения.

На первых порах применялся метод многочастотного комбинационного кодирования (МЧКК). В этом случае последовательно или параллельно передавалась комбинация из некоторого набора фиксированных, заранее известных частот, например 2 из 38 (США, конец 50-х годов). В этой системе при приеме кодовой ком-

бинации данного абонента дешифратор включал низкочастотную часть приемника и вызываемый слышал речевое сообщение, передаваемое ему диспетчером. В системе использовалась частотная модуляция несущего колебания.

Впоследствии, при увеличении числа абонентов в системах СПВ начал применяться метод двоично-цифрового кодирования (ДЦК) вызова. В этом случае адрес кодируется последовательной комбинацией двоичных символов (логические нули и единицы). Это уже цифровая система персонального вызова.

В первых цифровых СПВ кроме адреса абонента передавался небольшой объем дополнительной информации, обычно не более 10 сигналов, которые либо отображались на индикаторе в виде цифр, либо включали различные типы сигнализации, например, звуковой сигнал различной тональности.

Обычно в цифровых системах применяется частотная манипуляция, если же для вызова используются вещательные передатчики с ЧМ (например, шведская система MBS), то применяется относительная фазовая модуляция (ОФМ), так как в этом случае удастся избежать взаимных помех между сигналами персонального вызова и стереофонического вещания.

Для двоичной передачи адреса и дополнительной информации в различных системах используются различные методы кодирования: разновидности кодов БЧХ (Боуза-Чоудхури-Хогвингема), кодов Грея или двоично-десятичной безызбыточный код с повторением кодовой комбинации (в сетях Multiton).

В итоге развития СПВ позволили передавать дополнительную цифровую информацию, на пример, номер вызывающего абонента. С середины 80-х годов СПВ позволяют передавать буквенно-цифровое сообщение фиксированной длины, до нескольких десятков символов, либо сообщение типа бегущая строка. Некоторые конструкции приемников позволяют запоминать несколько последних сообщений и время их получения, а также просматривать эти сообщения в дальнейшем. С 1994 года появилась возможность организовать обратную связь пейджера с СПВ. В развитых странах в настоящее время СПВ стали самым распространенным и дешевым видом мобильной связи. Пейджерной связью уже пользуются десятки миллионов людей, и, тем не менее, ежегодно число абонентов СПВ увеличивается примерно на 20%. В России, к сожалению, сеть СПВ находится в зачаточном состоянии, однако уже наблюдается быстрый рост числа абонентов.

7.2. Структурная схема СПВ

На рис.7 1. показана обобщённая структурная схема СПВ, состоящая из пяти основных блоков: системы сбора информации ССИ, пейджерного терминала ПТ, передатчика, антенны и пейджера. В общем случае ССИ может включать в себя различные службы подготовки сообщений. Как правило, обязательной и основной является подготовка сообщений при помощи операторов. Для отправки сообщения абонент звонит оператору пейджерной компании, который принимает сообщение и подготавливает его к последующей передаче. В крупных СПВ используется не один оператор, а создаётся сеть рабочих мест операторов, которая обеспечивает всем операторам возможность взаимно независимой и одновременной передачи сообщений. Имеется также служба удалённого доступа, которая включает в себя службу вынесенных рабочих мест операторов и службу передачи сообщений, поступающих по компьютерным сетям связи. Служба вынесенных рабочих мест операторов позволяет предоставить удалённый доступ в СПВ различным предприятиям. На них пейджерная компания устанавливает вынесенное рабочее место оператора или сеть рабочих мест с компьютерами; при этом сотрудники могут передавать свои сообщения операторам, находящимся непосредственно на предприятии. Служба компьютерной рассылки сообщений обеспечивает отправку сообщений по существующим компьютерным сетям, а также позволяет совместить услуги электронной почты с услугой передачи сообщения о поступлении письма.

Отправку цифрового сообщения абоненту самостоятельно без участия оператора осуществляет служба автоматической отправки цифровых сообщений; при этом отправляющий сообщение звонит в пейджерную компанию по телефону с набором DTMF. Развитием этой службы является служба, позволяющая передавать без участия оператора стандартные текстовые сообщения, каждому из которых присваивается свой цифровой код. Для передачи звуковых посланий служит служба голосовой почты: текст сообщения надиктовывается компьютеру, который преобразует его в цифровую форму. Затем это сообщение передаётся по компьютерным сетям, снова преобразуется в приёмном компьютере в звуковое послание, которое и прослушивает абонент.

Основным блоком СПВ является пейджерный терминал, управляющий передатчиком и осуществляющий непосредственную отправку сообщений абонентам. Пейджерный терминал (ПТ) формирует в соответствии с используемым протоколом низкочастотный модулирующий сигнал для передатчика, а также управляет

передатчиком или их рядом по каналам связи. От пейджерного терминала зависят основные возможности СПВ: количество абонентов, используемый протокол, скорость передачи, число передатчиков и т.д. Пейджерный терминал представляет собой специальную плату в компьютере. Со стороны компьютера и программного обеспечения терминала – это обычный последовательный порт. Терминал получает сообщение от программного обеспечения пейджерного сервера и делит их поток на пакеты для формирования модулирующего сигнала передатчика. К пейджерному серверу подключается локальная сеть операторских мест, и он соединяется кабелем управления с передатчиком. Если имеются другие, дополнительные серверы, они также подключаются к этой локальной сети. Пейджерный сервер поддерживает всю базу данных абонентов и операторов, только на сервере администратор СПВ может создать новых абонентов и операторов или отключить их.

Пейджерный терминал может выполняться в автономном и неавтономном исполнении. Автономные ПТ включают в себя базу данных об абонентах, которая используется при формировании модулирующего сигнала для передатчика (рис.7.2,а). Обычно автономный ПТ выполняется в виде специализированной микро-ЭВМ. С увеличением числа абонентов базу данных экономически целесообразно вынести из ПТ и поместить в ПЭВМ; такие ПТ называют неавтономными (рис.7.2,б). Персональный компьютер, работающий совместно с неавтономным ПТ называют пейджерным сервером.

В системе СПВ предусматривается служба роуминга (расылки сообщений), позволяющая передать сообщение в другие СПВ или в федеральную сеть. Эта служба даёт возможность передать сообщение абоненту, который находится в данный момент вне зоны действия данной СПВ. Служба роуминга позволяет использовать пейджер во всех городах, пейджерные компании которых работают в одной и той же полосе частот и связаны соглашением о создании единой сети.

Функция передатчика – сформировать радиочастотный сигнал, модулированный низкочастотным сигналом от ПТ. Управляются передатчики либо непосредственно, либо дистанционно по линии, либо по радиоканалу. Применение находят как цифровые, так и аналоговые передающие устройства. Ширина обслуживаемой передатчиком зоны зависит от его мощности и высоты антенн. Поскольку потоки информации передаются в цифровой форме, антенны должны обладать достаточно широкой полосой пропускания.

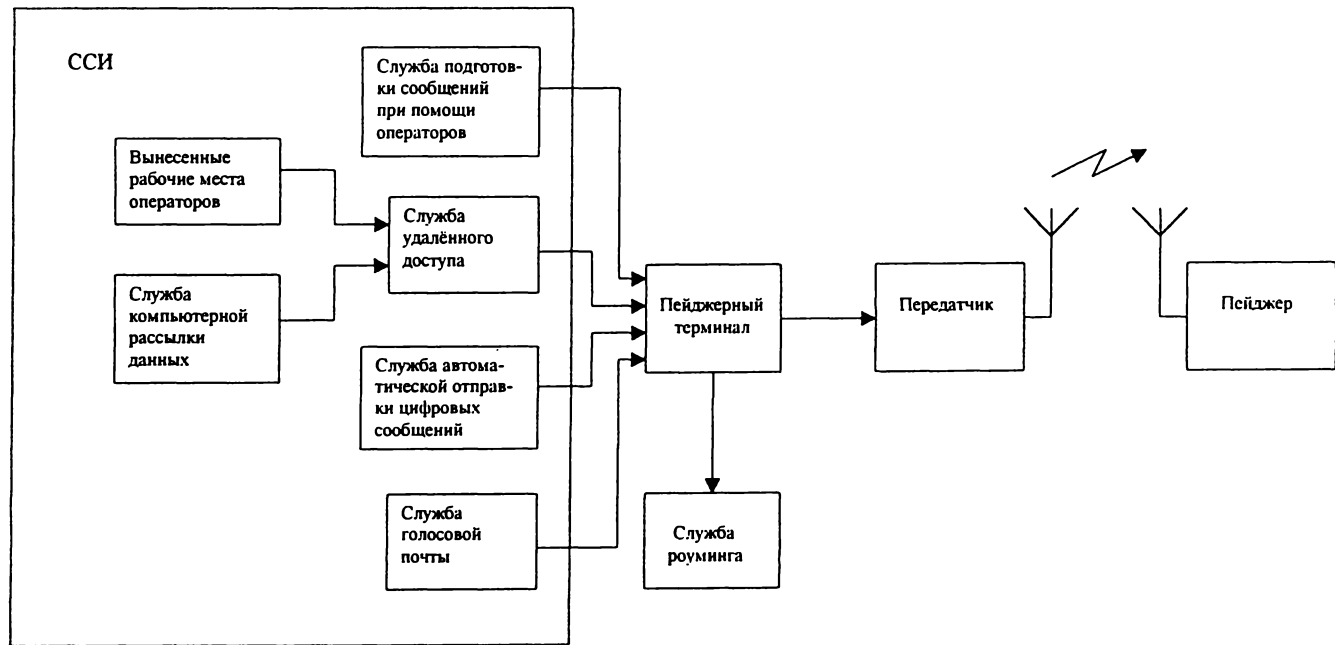


Рис. 7.1

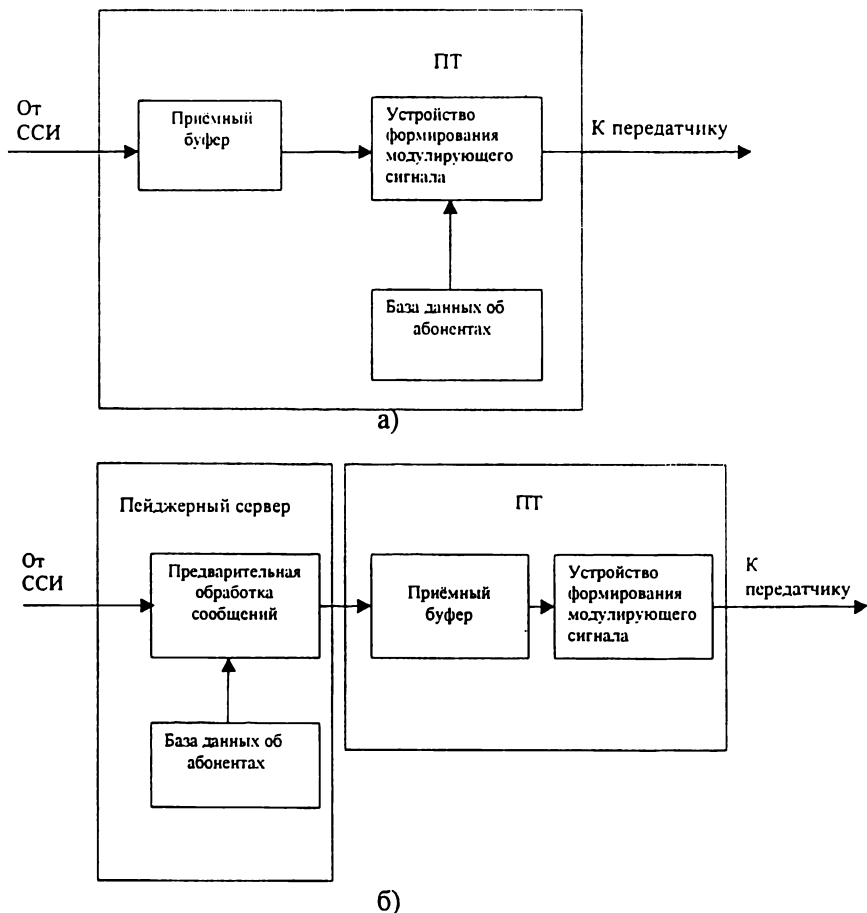


Рис. 7.2

Типовой состав оборудования СПВ и выполняемые им функции рассмотрим по структурной схеме (рис.7.3). Как уже отмечалось, пейджерный терминал получает сообщения от системы сбора информации. Как правило, основой этой системы является локальная сеть рабочих мест для операторов, предназначенных для приёма сообщений, поступающих по телефонным линиям. Желая отправить сообщение звонит по городскому телефону оператору, называет ему номер абонента и диктует сообщение. Оператор вводит это сообщение в СПВ для передачи абоненту.

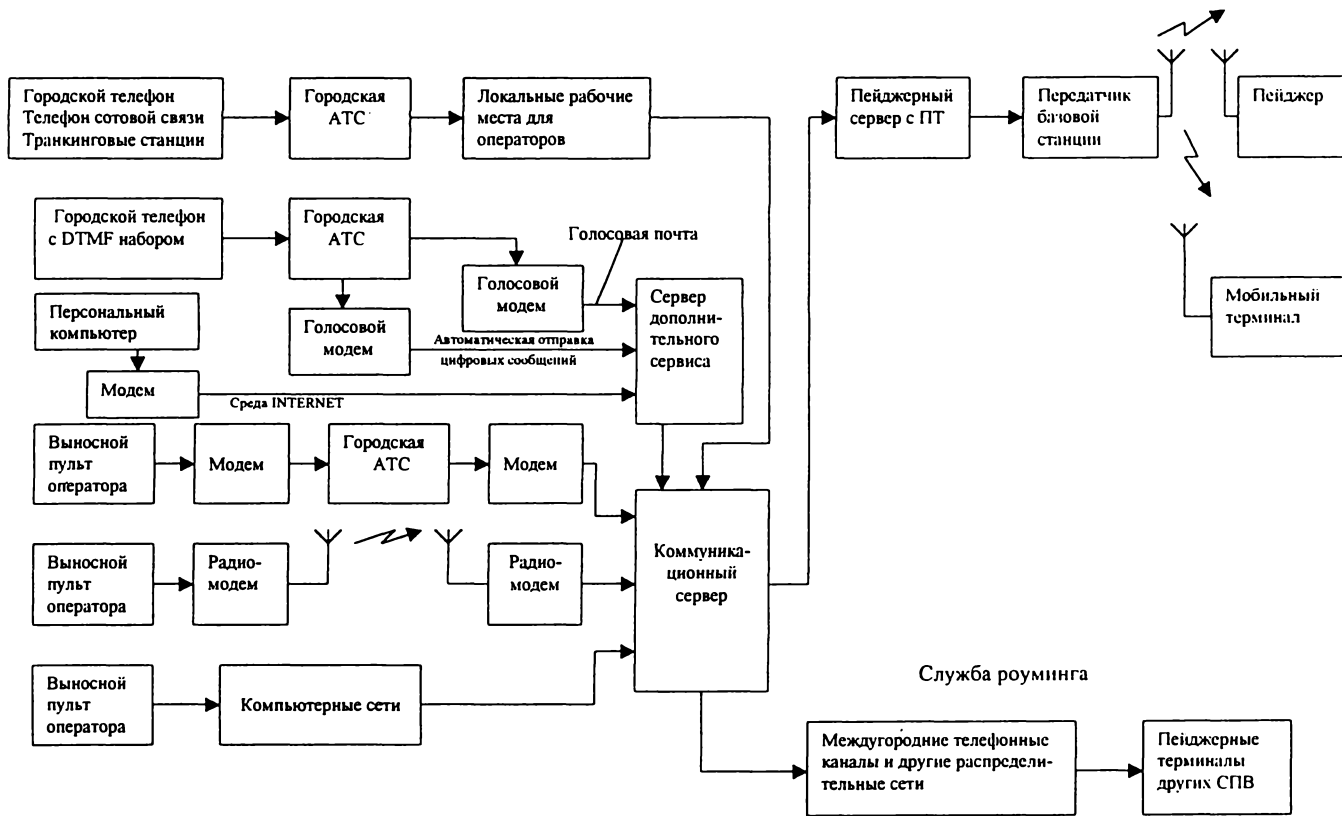


Рис. 7.3

Сервер дополнительного сервиса позволяет обеспечить автоматическую отставку цифровых и формализованных сообщений, а также возможность взаимодействия со средой INTERNET или другой локальной сетью, к которой подключен отправитель сообщения и оператор, предоставляющий услуги пейджерной связи. После вызова пейджерной станции на телефоне с DTMF набирается номер абонента и необходимое для него цифровое или формализованное сообщение и оно, минуя оператора, непосредственно проходит к передатчику СПВ и далее к абоненту. Модем с голосовыми функциями необходим для воспроизведения передаваемого сообщения в привычной для человека звуковой форме. Помимо передачи цифровых сообщений сервер обеспечивает взаимодействие с голосовой почтой. Если отправитель сообщения имеет персональный компьютер, подключенный к глобальной сети INTERNET или локальной сети, к которой также подключен оператор, то имеется возможность отправки сообщения, минуя оператора. Для этого необходимо загрузить страницу оператора, выбрать номер абонента и написать в диалоговом окне текст сообщения.

Вынесенные рабочие места для операторов позволяют обеспечить доступ в СПВ операторам, удаленным от пейджерного терминала. Вынесенный пульт оператора – это компьютер с модемом и программным обеспечением удалённого доступа, соединённый с пейджерным терминалом каналом связи. В качестве канала связи может использоваться либо обычная телефонная сеть с соответствующими модемами, либо радиоканал с использованием радиомодема. На вынесенном пульте оператор набирает номер абонента и передаваемое сообщение, которое автоматически передается по линии связи на пейджерный терминал. Возможна организация локальной сети из нескольких вынесенных пультов операторов, которая соединяется с пейджерным терминалом каналом связи с использованием высокоскоростных модемов.

Для взаимодействия пейджерного терминала с вынесенными рабочими местами операторов предусматривается коммуникационный сервер – персональный компьютер со специальным программным обеспечением, который также обеспечивает взаимодействие с другими СПВ (служба роуминга) и компьютерными сетями передачи данных. Мобильный терминал устанавливается в транспорте и позволяет передавать и принимать текстовые сообщения. Сообщения на пейджеры могут передаваться либо непосредственно, либо с ретрансляцией сигналов через базовые станции СПВ.

В зависимости от состава оборудования и его технического оснащения СПВ можно подразделить на: локальные, городские и региональные. Локальные СПВ организуют связь внутри зданий и

на прилегающих к ним территориях. Они отличаются сравнительно дешёвой, небольшим числом обслуживаемых абонентов, малой мощностью передатчика (до 5 Вт). Городские СПВ по сравнению с локальными имеют сравнительно большой радиус действия (десятки километров) и значительно большее число абонентов (несколько тысяч); выходная мощность передатчика в них достигает 150...300 Вт. Как правило, антенны этих систем – с большой высотой подвеса. Региональные системы обслуживают существенно большую территорию, чем СПВ рассмотренные выше. Обычно, это многозоновые системы, при чем в каждой зоне необходимо установить дополнительный передатчик.

Если зоны расположены достаточно близко, то возникает интерференция сигналов соседних передатчиков. Для борьбы с этим явлением используется либо синхронная передача, либо временное разделение. При синхронной работе передатчиков пейджеры не воспринимают их взаимного влияния. Однако такие системы весьма дороги. При временном разделении, каждый передатчик работает в течение определённого временного интервала. Эти интервалы для различных передатчиков не перекрываются, поэтому пейджер в зоне действия нескольких передатчиков в каждый момент времени принимает сигнал только от одного передатчика. Естественно при этом число обслуживаемых СПВ абонентов снижается.

Возможно также построение региональных СПВ с применением пейджерных регистраторов. При этом варианте построения каждая базовая станция СПВ помимо передатчика, имеет приёмник, принимающий сообщения, которые передаются соседними станциями. Эти принятые сообщения накапливаются в специальном буфере, и передаются данной базовой станцией в выделенный для нее интервал времени.

По топологии можно выделить три варианта организации СПВ: радиальный, сотовый и гибридный. При радиальной организации используется один передатчик, антенна которого имеет максимальную высоту подвеса. При сотовой организации СПВ устанавливается несколько передатчиков в разных местах обслуживаемой территории, причем практически исключаются "мертвые зоны", где приём сообщений невозможен. При гибридной структуре используются как один передатчик с высоко поднятой антенной для передачи сообщений на большую территорию, так и ряд передатчиков – ретрансляторов с низкими антеннами. Эти передатчики служат как для расширения зоны обслуживания, так и для устранения "мёртвых зон"

По технологии организации связи можно выделить: трансляцию с использованием ретрансляторов, работающих в режиме эхо-

репитера, по сотовой технологии и технологии "simulcast", а также с использованием нескольких базовых станций, работающих в режиме "simulcast"

При эхо-репитерах базовая станция передает сообщения на реальных скоростях работы пейджеров на основной частоте, которые принимаются как пейджерами в зоне радиоприема базовой станции, так и ретрансляторами (эхо-репитерами), находящимися на значительном расстоянии от базовой станции в пределах ее радиовидимости. После передачи пакета сообщений базовая станция не излучает в течение времени передачи этого пакета, в это время ретрансляторы дублируют передачу полученных сообщений в своей рабочей зоне.

При сотовой технологии расширение рабочей зоны приема сообщений обеспечивается за счет использования компьютеризованных ретрансляторов, размещаемых в соседних или удаленных зонах. Обмен информацией между базовым передатчиком и ретрансляторами осуществляется, как правило, по радиоканалу на максимально допустимой скорости, что только на 10...15% "догружает" трафик СПВ. При этом появляется возможность дистанционного программирования и диагностирования работоспособности ретрансляторов, контроля полноты и достоверности передачи сообщений в другие зоны, адресной для каждого ретранслятора (каждой рабочей зоны) доставки пейджерного сообщения.

Технология "simulcast" – одновременное синхронное излучение сигнала группой передатчиков, применяется, когда ретрансляторы имеют перекрывающиеся рабочие зоны для исключения интерференции сигналов, в качестве передатчиков используются ретрансляторы, принимающие сигнал базовой станции по радиоканалу. Передача сообщений на ретрансляторы происходит либо на дополнительной частоте, либо на основной частоте на повышенной скорости 3200 бод. После приема пакета сообщений всеми ретрансляторами, они синхронизируются и одновременно излучают сигнал в эфир.

Схема построения СПВ с использованием нескольких базовых станций, работающих в режиме "simulcast" обычно используется, когда базовые станции имеют перекрывающиеся рабочие зоны и имеются выделенные линии (ТЧ-каналы) для передачи сигнала от пейджерного терминала до базовых станций в формате BELL-202. Для исключения интерференции сигналов базовых станций в области перекрытия рабочих зон используется режим "simulcast", при котором сигналы от различных базовых станций приходят в общую область одновременно. Это достигается регулировкой времени задержки излучаемого сигнала для каждой базовой станции.

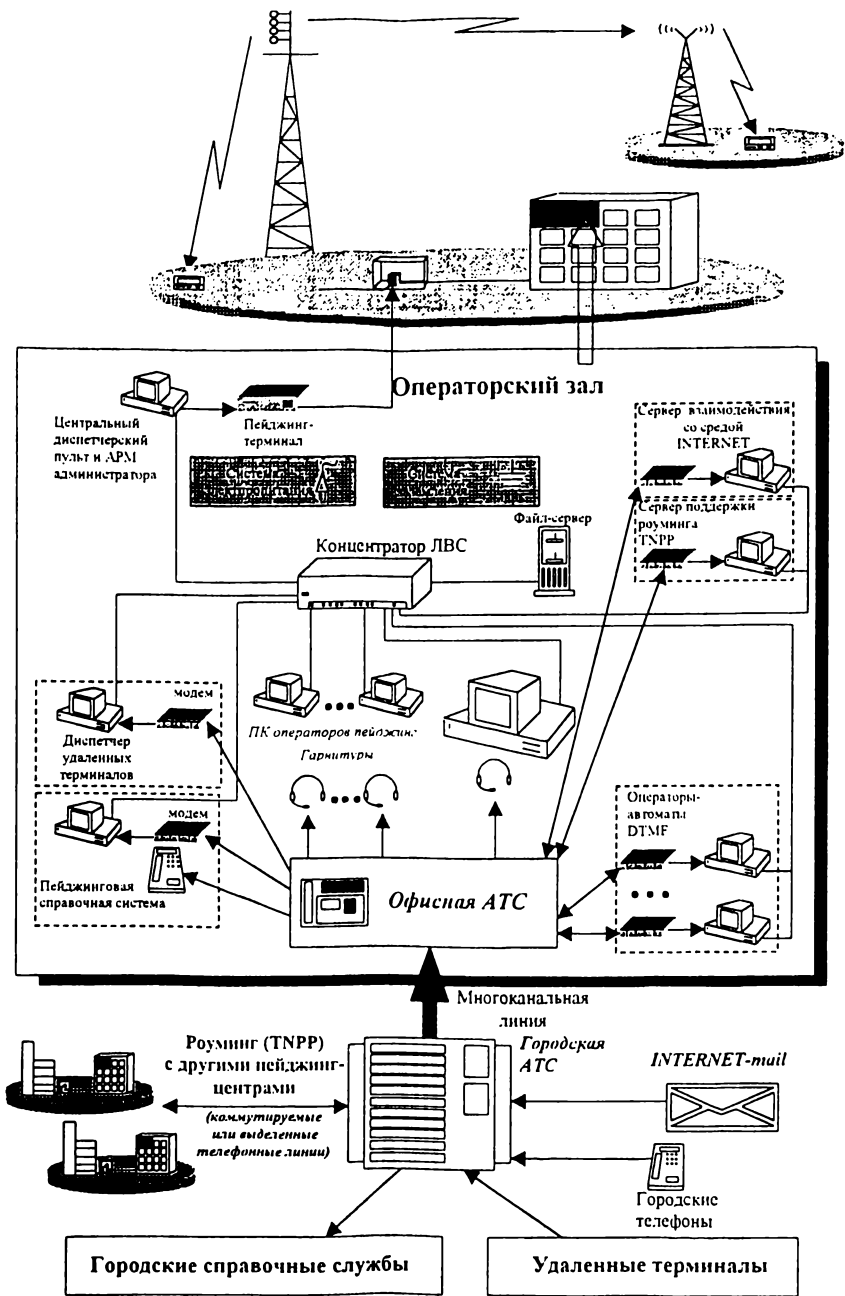


Рис. 7.4

В качестве примера на рис.7.4. приведена схема крупных СПВ [7 1] PAGENET и NUCLON, предназначенных для обслуживания свыше 1000 абонентов. Системы операторских залов этих СПВ построены на основе локальных вычислительных сетей (ЛВС), с выделенным высоконадёжным файл-сервером.

Система PAGENET разработана более шести лет назад и успешно развивалась и эксплуатировалась во многих городах, в том числе и в Москве. Система NUCLON создана в конце 1996 г. и в данное время является одной из самых развитых и совершенных на [7 1]. В этой СПВ использована "ФОРТ-система" – операционная система класса UNIX и OS/2, которая обладает рядом достоинств:

1. Богатый инструментарий (более 1500 функций), SVGA-графика, управление аппаратурой, возможность работы в реальном времени.

2. Возможность работы в защищённом режиме с использованием линейной модели памяти и 32-битного режима работы процессора, что обеспечивает управление памятью, даёт максимальную производительность и надёжность системы.

3. Генерация оптимизированного кода, что повышает скорость выполнения программы.

4. Сверхбыстрый механизм внутренней многозадачности.

5. Встроенный ассемблер, который позволяет реализовать участки программы с максимальной производительностью.

Системы PAGENET и NUCLON· предназначены для организации крупных центров пейджерной связи. В обеих системах применяются сервисные подсистемы: BBS – автоматическая система приёма сообщений от удалённых рабочих мест оператора (системы TelePage); SITEL-оператор – автомат для приёма сообщений, переданных по телефону (в DTMF); TNPP – система для организации роуминга по междугородным телефонным линиям; пейджерная справочная система; PL-INTERNET – сервер взаимодействия со средой INTERNET

Число рабочих мест системы PAGENET – до 50 и число абонентов достигает 20000; в NUCLON число рабочих мест до 500 и абонентов – до 100000. В PAGENET набор сообщений оператором – скоростной, с использованием набора ключей. Отправка длинных сообщений происходит в соответствии с возможностями модели пейджера. Существует возможность неоднократно отправлять отложенное сообщение с заданным интервалом или через заданное время.

В NUCLON оператором используется расширенный набор ключей для подготовки сообщений. Сообщение длиной до 2000 знаков может быть отправлено на любой пейджер. При необходи-

мости оно "делится" на несколько сообщений в зависимости от модели пейджера. В этой СПВ отложенное сообщение можно отправить n раз с заданным интервалом, через заданное время или в заданные дату и время

В PAGENET обработка групповых сообщений осуществляется с помощью дублирования отправки сообщения, набранного оператором для абонента, на все пейджеры группы. В NUCLON предусмотрен специально разработанный сценарий отправки групповых сообщений с возможностью их отсылки сразу после набора или в заданные интервалы времени; имеется возможность повтора сообщений, звуковое и визуальное предупреждение об отсутствии текста нового сообщения для посылки, вызов последнего группового сообщения для редактирования и отсылки, вывод информации о времени отправки последнего группового сообщения, отдельная настройка "горячих" клавиш для набора групповых сообщений.

В PAGENET доступ в систему – паролевый, двухуровневый. Требования к ПК центрального диспетчерского пульта: 80286sx – 25/2/210, АРМ оператора: 80286sx – 25/2/100.

В NUCLON доступ в систему также паролевый, трёхуровневый. Требования к ПК центрального диспетчерского пульта: 80486sx2 – 66 (или Р 100)/8 – 12/250 –500, Требования к ПК АРМ оператора: 80486sx2 – 33/2-4/100 – 200.

7.3. Протоколы систем пейджерной связи

Передача данных в цифровых системах связи, включая СПВ, осуществляется в соответствии с определенным протоколом. В общем случае протокол – это структура организации передачи информации по каналу связи, т. е. набор правил, который позволяет передать абоненту сообщение точно и в срок. При этом передача информации в СПВ осуществляется в заданном формате (протоколе) кодирования. От протокола во многом зависит скорость передачи, пропускная способность СПВ, время доставки сообщения, точность воспроизведения, срок службы источников питания. Разработано достаточно большое количество различных протоколов, однако наиболее известны из них следующие три: POC SAG, FLEX и ERMES.

В подавляющем большинстве СПВ до настоящего времени используется протокол POC SAG [Post Office Code Standardization Advisory Group] [7 1, 7.2], позволяющий передавать цифровые, буквенно-цифровые и тоновые сообщения со скоростью 512, 1200 и 2400 бит/с, с применением частотной манипуляции несущей передатчика. Этот протокол позволяет на одной рабочей частоте обслужить от 10 до 20 тыс. абонентов.

Общая структура сигнала в протоколе POCSAG показана рис.7.5. По своей структуре протокол POCSAG – асинхронный; по этой причине сигнал начинается с преамбулы длиной не менее 576 бит, представляющей собой последовательность из чередующихся 1 и 0. При передаче преамбулы пейджер переводится в режим приема сообщения и осуществляется его тактовая синхронизация. После преамбулы передается поток блоков, несущих в себе адреса пейджеров (адресные блоки) и тексты сообщений (информационные блоки). Число блоков, следующих друг за другом, произвольно. Каждый блок состоит из своего кодового слова синхронизации в его начале и восьми кадров, номеруемых с нулевого по седьмой, каждый из которых состоит из двух кодовых слов. Таким образом, каждый блок состоит из 17 слов. Длина каждого слова, включая слово синхронизации – 32 бита. Каждое 32 – разрядное слово содержит 21 информационный и 11 избыточных бит для определения и корректировки ошибок. В протоколе POCSAG для коррекции ошибок используется циклический блочный код Боуза–Чоудхури–Хоквингема (БЧХ) [7.7], позволяющий исправлять две ошибки в одном кодовом слове.

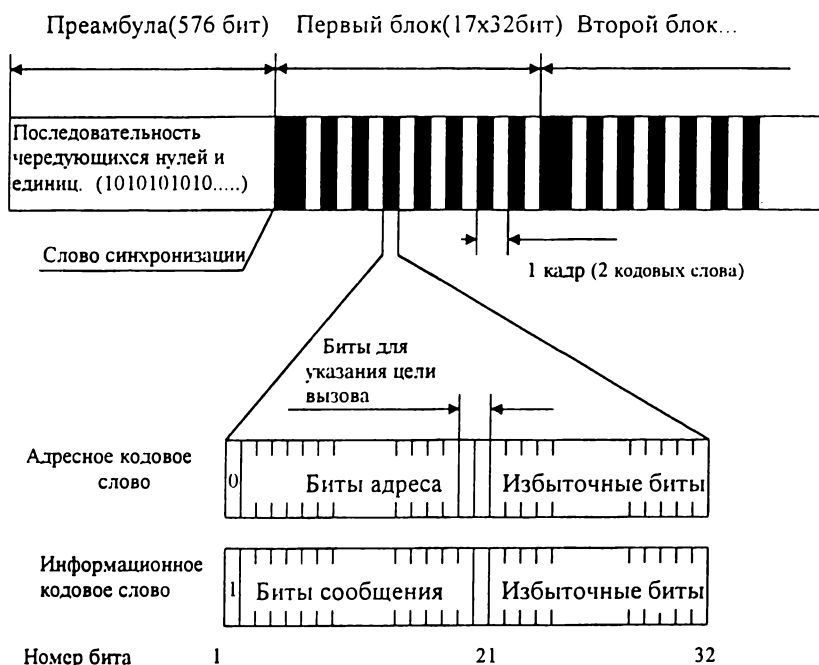


Рис. 7.5

В начале каждого сообщения для пейджеров передается адресный блок. Поскольку согласно протоколу POCSAG все пейджеры разбиты на 8 групп, соответствующие 8 кадрам адресного блока, то каждый индивидуальный пейджер закрепляется за конкретным кадром, и будет принимать адресную информацию только в этом, закрепленном за ним, кадре. Естественно, что при этом в восемь раз увеличивается адресная емкость системы и существенно уменьшается расход тока источников питания пейджеров.

Информационный блок служит для передачи на пейджер, выбранный адресным блоком, цифровой и буквенно-цифровой информации. При окончании сообщения этот блок содержит незанятые слова до конца блока. Если в кадре отсутствует сообщение, то вместо адреса передается незанятое кодовое слово определенного формата.

Число абонентов СПВ постоянно растет, и объемы передаваемой информации увеличиваются; все это потребовало разработки новых протоколов передачи данных. К подобным протоколам можно отнести разработанный в начале 90-х годов фирмой MOTOROLA протокол FLEX [7.1, 7.8]. Основные достоинства этого протокола высокая скорость передачи данных – 1600, 3200 и 6400 бит/с. Это позволило увеличить число абонентов до 20–80 тыс. Число адресов в СПВ с протоколом FLEX составляет более одного миллиарда, тогда как адресное поле POCSAG ограничено двумя миллионами. В отличие от протокола POCSAG протокол FLEX базируется на синхронной передаче данных; приемник и передатчик синхронизируются по абсолютному времени. Это дает возможность включаться пейджеру в определенный заранее известный момент. Соответственно экономичнее расходуются источники питания пейджеров, либо можно уменьшить их размеры.

Структуру протокола FLEX иллюстрирует рис. 7.6 [7.8]. Как известно, вначале информация абонента кодируется, после чего происходит ее структурная организация. Все данные в протоколе FLEX формируются в кадры, 128 кадров с нумерацией от 0 до 127 составляют полный цикл протокола. Кадры передаются последовательно со скоростью 32 кадра в минуту. За один час передается 15 циклов с нумерацией от 0 до 14, каждый цикл передается за 4 мин. Для синхронизации пейджера используются сигналы точного времени, которые передаются в начале каждого часа в кадре 0 цикла 0. Каждый кадр протокола состоит из блока синхронизации (115 мс) и 11 информационных блоков (каждый блок по 116 мс). Часть блока синхронизации "Синхрон.1" обеспечивает синхронизацию кадра; часть "Синхрон.2" – настройку пейджера; часть "Кадр инфо." несет информацию о номере цикла и кадра. Информацион-

ные блоки содержат служебную информацию: адресное поле, векторное поле, поле сообщений. Поля не привязаны к границам блока. Порядки расположения адресов пейджеров в адресном поле и векторов в векторном поле одинаковы. Для коррекции одиночных ошибок использует код БЧХ, кроме того, имеется возможность восстанавливать принятые данные при пропадании сигнала в интервале до 10 мс. Протокол FLEX совместим с другими протоколами связи.

Протокол ERMES был разработан как международный стандарт в СПВ различных стран, однако в настоящее время он используется только в шести странах мира. Система персонального радиовызова, использующая протокол ERMES, обеспечивает передачу цифровых сообщений длиной до 1600 знаков; передачу буквенно-цифровых сообщений длиной от 400 до 9000 символов; передачу произвольного набора данных объемом до 64 кбит; возможность приема вызова и сообщений одним пейджером во всех странах, входящих в СПВ с протоколом ERMES. В этих странах для СПВ выделяют единый диапазон частот – 169,4 – 169,8 МГц, в котором организуется 16 радиоканалов с разносом 25 кГц. Прием осуществляется сканирующими по частоте пейджерами. Скорость передачи информации в подобных СПВ – 6,25 кбит/с.

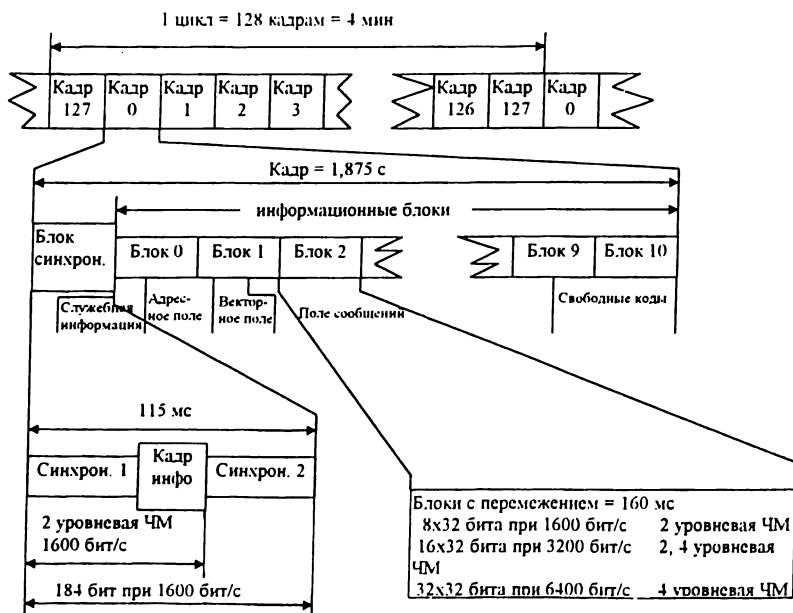


Рис. 7.6

Структура протокола ERMES приведена на рис.7.7 [7 1, 7.9]. Каждый час передается 60 циклов по одной минуте каждый; каждый цикл состоит из пяти последовательностей по 12 с, каждая из которых в свою очередь состоит из 16-ти типов групп с условными обозначениями А, В, С и т.д. Каждая из 16-ти групп состоит из четырех блоков; синхронизации, служебной информации, адреса и информационного сообщения.

Вызов пейджера требуемого абонента происходит в СПВ с протоколом ERMES следующим образом. Пейджер вначале подстраивается на первый радиоканал, просматривает все 16 групп от А до Р и если сообщение с адресом данного пейджера не было найдено, то пейджер перестраивается на второй частотный канал и опять просматривает все группы от А до Р и так до тех пор, пока не будет найдена информация, переданная данному пейджеру.

К достоинствам протокола ERMES можно отнести: повышенную скорость передачи данных, а, следовательно, повышенную пропускную способность на один канал; экономичное использование источника питания в пейджере; высокую помехоустойчивость СПВ с данным протоколом; удобную организацию службы роуминга; более богатый набор сервисных услуг

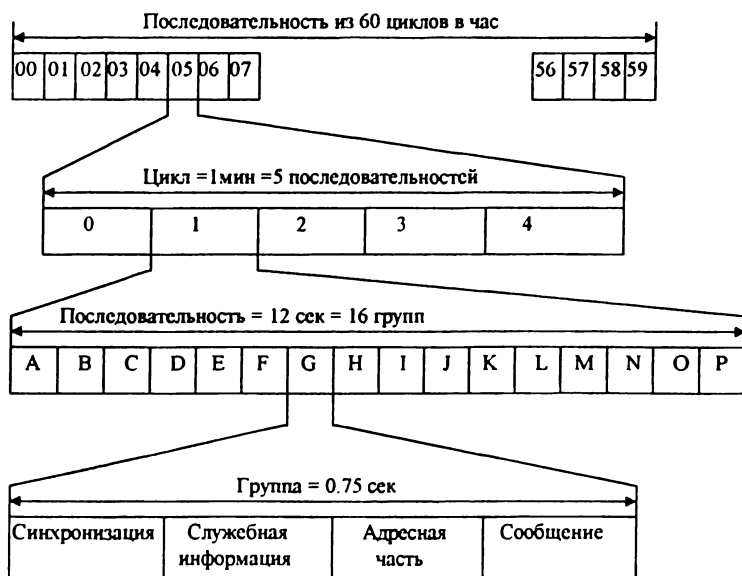


Рис. 7.7

Протокол TNPP (Telocator Network Paging Protocol) был разработан комитетом производителей пейджерных терминалов в качестве стандартного механизма для передачи пейджерной (и не только пейджерной) информации между оборудованием различных производителей, работающим в единой сети. TNPP - это цифровой протокол, используемый для служб роуминга. Каждый пакет данных, передающихся под управлением TNPP-протокола, содержит "адрес назначения" узла (или узлов) сети, для которого предназначен пакет. Если терминал, получивший пакет, имеет другой номер, то он предпринимает попытку перенаправить "чужой" пакет по альтернативному пути другому узлу. Протокол базируется на символах ASCII и передается через стандартный порт RS232. Формат используемых данных: 8 информационных бит, 1 стоповый бит, без проверки четности. Скорость передачи информации меняется от 300 до 9600 бод и определяется приложением. Протокол поддерживает блоки переменной длины и три типа коррекции ошибок (два - для дуплекса и один для симплекса).

Пакет, размер которого не должен превышать 1024 байта, содержит знак начала заголовка – SOH, заголовок, знак начала текста – STX, блок или блоки данных, знак окончания текста – ETX, контрольную сумму - CRC. Заголовок используется во всех форматах данных для определения источника и назначения пакета. Он содержит серийный номер для определения повторов пакета и инерционного значения, определяющее количество узлов, через которые пакет может быть передан. Длины серийного номера и значения инерции равны 2 байтам. Также заголовок содержит адрес источника (4 байта) и адрес назначения (4 байта).

Для передачи данных через сеть источником сообщения каждому пакету присваивается адрес назначения. Далее пакет данных передается в порт, соединенный с узлом назначения. Каждый узел должен иметь маршрутную таблицу, указывающую правильный путь к узлу назначения для ретрансляции пакетов. При передаче пакета из узла, ему присваивается новый серийный номер и производится контроль ошибок. При получении пакета данных узлом, его значение инерции уменьшается на единицу и должно быть отличным от нуля для передачи этого пакета другому узлу. Часть пакета, содержащая данные, может содержать один или более блоков данных. Формат и значение этих блоков определяются первым байтом. Каждый блок оканчивается ETX.

Существует три вида блоков данных: контрольные, пейджерные и вспомогательные. Контрольные блоки (ETE-запрос и ETE-ответ) используются для запроса и подтверждения узла назначения и предоставления связывающей информации при ис-

пользовании множественных блоков. Пейджерные блоки–CAP-блок и ID-блок. Первый используется для передачи пейджерной информации, которая содержит все необходимые данные для кодирования сообщения; второй для идентификации номера клиента. ID-блок требует наличия базы данных клиентов в узле назначения. Вспомогательные блоки используются для передачи конфигураций и контрольных команд (COMMAND); для передачи первоначальных данных в узел назначения (DATA); для сообщений условий ошибок внешних устройств (STATUS).

7.4. Особенности построения СПВ

Фирмы, ведущие новые разработки СПВ, особое внимание обращают на следующие характерные принципы и схемотехнические решения:

- совмещение частотного и временного разделения каналов связи для расширения сети и увеличения числа обслуживаемых абонентов;

- разработку кодов с повышенной надежностью и емкостью как индивидуального, так и группового вызова абонентов;

- совмещение сигнализации вызова и визуального отображения информации с введением ее в память для повторного воспроизведения и для напоминания абоненту о наиболее важных сообщениях;

- обеспечение возможности приема в пейджере как цифровых данных, так и речевых сообщений;

- реализацию последовательного пакетного приема сообщений относительно большого объема с устранением разрывов при воспроизведении;

- повышение надежности вызова путем совместного одновременного или последовательного использования звуковой, световой и тактильной сигнализации;

- использование ждущего режима работы пейджера, для prolongation срока службы миниатюрного гальванического источника питания;

- миниатюризацию и повышение эргономических качеств пейджера.

Развивается возможность ответной сигнализации от абонента либо о приеме им сообщения, либо о необходимости переадресования вызова и сообщений другим абонентам. Организация обратного канала повышает надежность передачи данных и существенно расширяет дополнительные услуги. Появляется возможность подтверждения приема сообщения и возможность

получения сообщения и ответа на них по электронной почте; владелец пейджера может запрашивать различную интересующую его информацию и т.д. В СПВ с двухсторонней связью к стандартному пейджеру добавляется передатчик малой мощности. Получив сообщение, пейджер автоматически посылает в СПВ подтверждение. После знакомства с самим сообщением владелец пейджера может отослать обратно один из кратких стандартных ответов, занесенных в память пейджера, либо выбрать один из вариантов ответа, прилагаемых к принятому сообщению. Сигнал с ответом передается пейджером на дополнительной частоте, принимается специальной структурой СПВ и далее в зависимости от возможностей СПВ, либо остается в базе данных пейджерного центра до подтверждения приема абонентом сообщения, либо пересылается отправителю сообщения.

Создаются новые СПВ, использующие цифровую передачу речевых сообщений. Пользователь СПВ может оставить речевые сообщения для пересылки любому абоненту. Вначале осуществляется вызов абонента и при подтверждении его нахождения в зоне приема, передается сообщение. Подтверждение приема или готовности приема получает только сеть. Если пейджер не находится в зоне приема, то сообщение запоминается и передается абоненту при его возвращении в зону приема.

Расширение СПВ до глобальных масштабов требует использование в качестве опорной сети существующих межконтинентальных и дальних линий связи. Так при использовании междугородных телефонных линий вызывающий набирает в начале код центральной станции СПВ, затем адрес абонента и передаваемое сообщение. С центральной станции вызов передается в тот город, в котором находится передатчик, обеспечивающий передачу вызова по радио абоненту, имеющему при себе пейджер.

Разнос между частотами передатчиков в СПВ в выделяемых полосах частот находится в пределах от 2,5...6,5 кГц до 25 кГц. В США обычно этот разнос составляет 5 кГц; в Европе для СПВ, работающих на метровых волнах – 6,25 кГц; в Японии при работе в диапазоне в 280 МГц...2,5 кГц, при работе в диапазоне 150 МГц...25 кГц.

Особое внимание разработчики современных СПВ обращают на решение проблемы ждущего режима приема сигналов, гарантирующего непрерывную круглосуточную работоспособность пейджера при минимальном расходе ресурса источника питания.

Стремление уменьшить размер пейджера вызывает необходимость уменьшения источника питания, что естественно приводит к уменьшению его ресурса. Проблема одновременной миними-

зации размера пейджеров и увеличения ресурса источника питания решается использованием в пейджере таймера, работающего в непрерывном микроощном режиме и обеспечивающего автоматическое прерывистое включение пейджера на время, существенно меньшей общей длительности включенного состояния и периодическим повторением от передатчика в течение определенного времени сигнала вызова. Естественно при этом срок службы источника питания пейджера увеличивается в число раз, примерно равное отношению длительности выключенного и включенного его состояния. Надежность вызова обеспечивается увеличением длительности вызова и выбором периода его повторения таким образом, чтобы, по крайней мере, одно включение пейджера совпадало с передаваемым вызовом. При достоверном совпадении адреса пейджера, хранящегося в его памяти, с адресом вызываемого абонента, приемник сохраняется во включенном состоянии и обеспечивает дальнейший прием сообщения, вводя его в оперативную память.

Существенное влияние на экономию источника питания пейджера имеет синтез алгоритма его работы в ждущем режиме и выбор вида кода. Обычно при работе пейджера в ждущем режиме на время его включения остаются обесточенными цепи, потребляющие наибольший ток; питание на них подается только в случае приема пейджером предназначенного ему сообщения. Экономии ресурса источника питания способствует применение в пейджерах дисплеев на жидких кристаллах, которые существенно экономичнее светодиодов. Существенное значение в СПВ имеет как выбор способа кодирования вызова и передаваемого сообщения, так и построение декодирующих устройств. При этом разрабатываются коды, которые позволяют осуществлять, помимо индивидуального приема, групповой прием вызовов новыми абонентами одновременно. Подобная необходимость возникает, например, при оповещении о стихийных бедствиях, при передаче данных во всевозможных коммерческих структурах и т.д. Такая информация может передаваться как произвольно, так и по определенному расписанию, заложенному в память пейджера с контролем от таймера. Алгоритм работы пейджера может предусматривать как последовательное запоминание в его памяти поступающей информации, так и автоматическое стирание из памяти ранее введенных в нее сообщений при приеме новых. Разрабатываются коды, позволяющие осуществлять прием наряду с буквенно-цифровыми сообщениями и кодированных речевых сообщений с акустическим воспроизведением в речевой форме. В оперативную память пейджера вводится только основное сообщение без служебной и адресной

информации, что повышает эффективность использования ее ограниченного объема. Современные коды в СПВ позволяют автоматически осуществлять в пейджере проверку верности принятого сообщения, исправлять ошибки и не записывать в его память ошибочно принятое сообщения. Проблемой экономии частотного ресурса решаются использование миниатюрных синтезаторов частот с кварцевой стабилизацией и активных фильтров в интегральном исполнении.

Среди дальнейших направлений развития систем персонального вызова следует отметить:

дальнейшее уменьшение габаритных размеров приемника и исполнение его в виде наручных часов;

увеличение срока автономной работы;

дальнейшее увеличение количества и улучшение качества услуг, предоставляемых абонентам системы.

На последнем пункте остановимся подробнее. В конце 1991 г сотрудниками фирмы Motorola (США), одного из лидеров по производству приемников персонального вызова, был получен патент № 5068898 на метод передачи звуковых сообщений в СПВ. Данный метод позволяет выделить из стандартного канала тональной частоты полосу сигнала 350...1650 Гц (с потерей различимости), преобразовать его так, что длительность его уменьшится в три раза и сигнал будет занимать спектр 50...3950 Гц; передать по СПВ, принять и выполнить обратное преобразование в приемнике. Применение этого метода позволяет увеличить число передаваемых сообщений по одному каналу за отведенное время.

Функциональная схема СПВ, предназначенной для передачи звуковых сообщений по данному методу представлена на рис.7.8. Звуковой сигнал от телефонного аппарата вызывающего абонента ТА поступает на терминал системы персонального вызова Т. В состав терминала входит схема компрессии сигнала КС. Звуковое сообщение, обработанное компрессором, подается на радиопередающее устройство РПДУ. Сигнал принимается, усиливается и демодулируется радиоприемным устройством пейджера РПРУ. С приемного устройства сигнал подается на декодер ДК, выделяющий сигналы управления, необходимые для работы цепи управления СУ и экспандер сигнала ЭС. С выхода экспандера восстановленный НЧ сигнал усиливается в УНЧ и подается на устройство сигнализации и воспроизведения УсиВ. Схемы компрессора и экспандера сигнала приведены на рис.7.9 и 7.10.

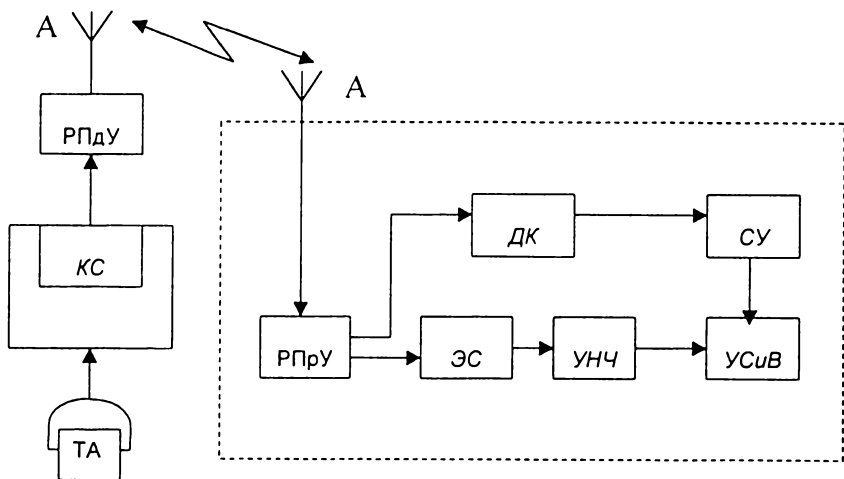


Рис. 7.8

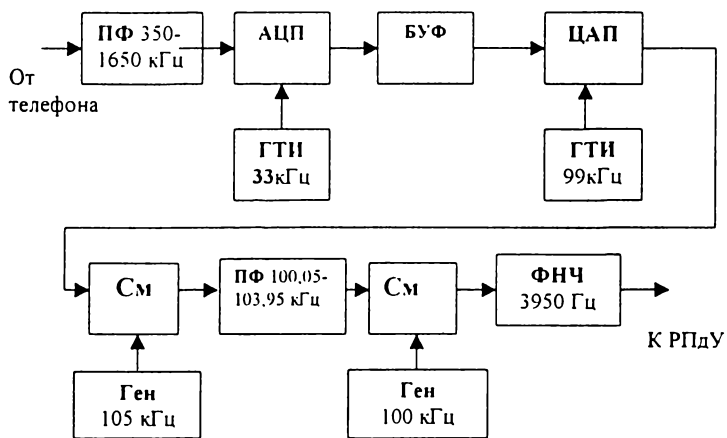


Рис. 7.9

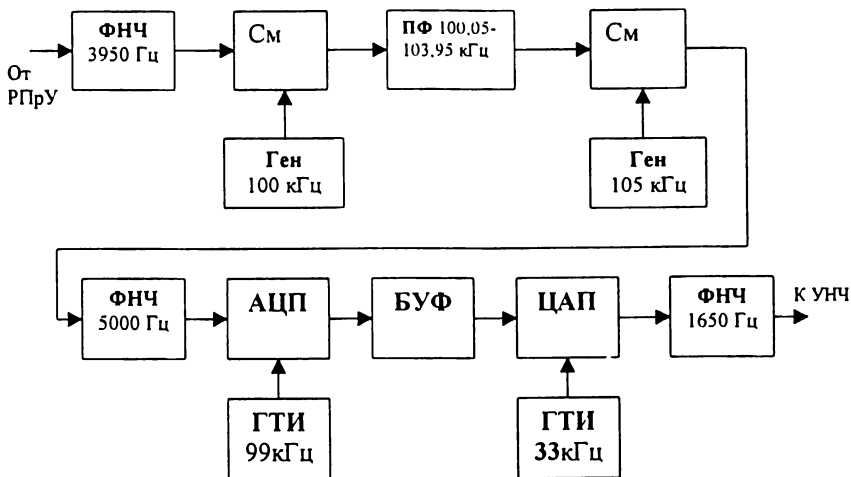


Рис. 7.10

7.5. Типы пейджеров

Тональные пейджеры. Сигналы в таких СПВ представляют собой комбинацию тонов звуковой частоты, модулирующих несущую. Поступление сообщения на такой пейджер, предназначенный для СПВ с простой организацией связи, фиксируется звуковым, световым или вибрационным сигналом.

Голосовые пейджеры. В пейджерах этого вида предусмотрена возможность прослушать после получения вызова речевое сообщение, передаваемое в аналоговой форме. Использование микропроцессоров и новых методов обработки сигналов позволяет передавать голосовую информацию в дискретной форме при небольших размерах пейджеров [7.5].

Цифровые пейджеры. В этих пейджерах используется цифровая передача сигналов. Как уже говорилось выше, сформированный при помощи двоичного кода сигнал манипулирует по частоте несущую. Некоторые протоколы кодирования позволяют увеличить абонентскую сеть до миллиона абонентов и свести к минимуму возникающие при приёме ошибки. Кроме вызова на пейджер может передаваться различная информация с отображением её на жидкокристаллическом дисплее; возможно также хранение её в памяти пейджера. СПВ с цифровыми пейджерами дают возможность автоматического ввода сообщения через пейджер-

ный терминал с тонального телефона (DTMF), а также эффективно использовать эфирное время за счёт малого размера сообщения.

Буквенно-цифровые пейджеры. На экране таких пейджеров абонент может прочесть не только номер, но и текст, объём которого ограничивается только объёмом памяти пейджера и размерами дисплея.

Двухсторонние пейджеры. Отличие подобных пейджеров, которые в литературе нередко называются твейджерами [7.5], от традиционных состоит в возможности не только принять сообщение, но и подтвердить факт его получения, а при необходимости и ответить на него. Особенности СПВ с двухсторонней связью более подробно были рассмотрены в § 7 1.

Графические пейджеры. На дисплеях подобных пейджеров может воспроизводиться графическая информация, которая даёт возможность абонентам следить за интересующими их графиками в режиме реального времени, а также получать информацию о планах местности или о планах инженерных сетей [7.5].

Криптопейджеры. Эти пейджеры позволяют организовать защищённый информационный обмен, для чего в СПВ добавляют специальный сервер криптозащиты. При этом исключается возможность прочтения переданной абоненту информации другими потребителями [7.5].

Безэкранные пейджеры. Они позволяют принимать сообщение большого объёма и вводить её в мобильный персональный компьютер. Абонент подсоединяет пейджер к компьютеру лишь на определённых интервалах времени, по мере заполнения объёма его оперативной памяти. Существует вариант пейджера с постоянным подключением к компьютеру, в этих пейджерах вся принимаемая информация сразу загружается в компьютер; при этом отпадают ограничения на объём памяти пейджера.

7.6. Характерные особенности построения приемников СПВ

Пейджер реализуется в виде миниатюрного приемника, носимого на груди, в кармане, на поясе, либо в виде браслета на руке. Обобщенная схема пейджера показана на рис.7 11. В главном тракте приема ГТП [7.3] осуществляется усиление, селекция и преобразование сигнала; в блоке обработки сигнала БОС он декодируется для определения соответствия или несоответствия принятого адреса собственному адресу абонента и, если помимо вызова передается дополнительная информация, то она обрабатывается, при необходимости записывается в память и отобража-

ется на дисплее ДС; устройство сигнализации УС сигнализирует в той или иной форме о наличии вызова; блок управления БУ, управляя работой всего пейджера, включает в себя таймер, переключатель вида сигнализации, переключатель ждущего режима и источник питания.

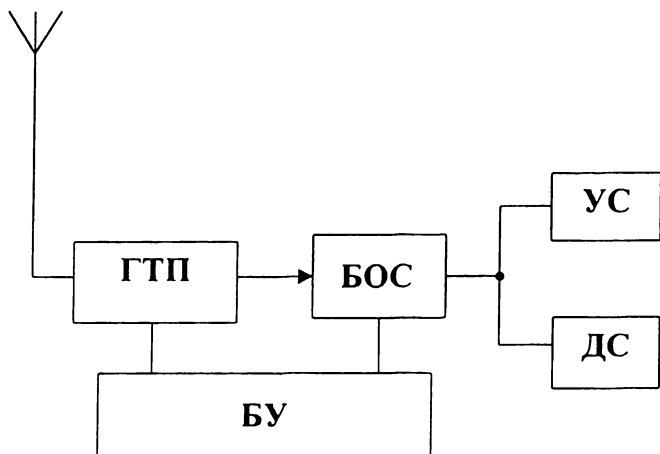


Рис. 7 11

Антеннами приемных устройств персонального вызова, как правило, являются либо параллельные пластины одновременно являющиеся корпусом пейджера, либо рамка, располагающаяся по периметру корпуса.

В пейджерах более ранних разработок ГТП выполнялся по схеме с двойным преобразованием частоты; затем появились с однократным преобразованием частоты. В последних разработках миниатюрных пейджеров ГТП часто реализуется по схеме с прямым преобразованием (гомодинные приемники, приемники с синхронным детектированием, синхродины). В подобных приемниках, как известно, нет зеркального канала, что позволяет существенно упростить преселектор приемника; применение гираторов, либо цифровых фильтров также позволяет сделать тракт усиления менее сложным. (см. § 7.4). В пейджерах с более широкими возможностями, предназначенных для работы в глобальных системах персонального вызова, ГТП выполняется по схеме с двойным преобразованием частоты.

Устройство УС может включать в себя акустическую, световую и тактильную сигнализацию. Тактильная сигнализация обеспечивает воздействие на кожу человека с помощью миниатюрного вибратора. Потребитель выбирает вид сигнализации по своему

усмотрению. Если пейджер расположен не непосредственно на теле потребителя, то более целесообразно использование звуковой сигнализации, которая, однако, может быть незамеченной в шумном помещении. Тогда о вызове может оповестить световая сигнализация.

Имеются разработки, позволяющие осуществить в пейджере автоматическое переключение с звуковой сигнализации на тактильную и обратно. Подобное устройство описано в одном из японских патентов, работу которого можно пояснить с помощью схемы на рис.7 12. При получении вызова декодер сравнивает адрес вызова с адресом данного пейджера, записанным в ПЗУ и при совпадении адресов вырабатывается короткий импульс, включающий через переключатель сигнальных устройств ПСУ тактильную сигнализацию (тактиль ТТ). Кнопкой К осуществляют ручное отключение сигнализации при фиксировании абонентом вызова для продления срока службы источника питания. Если абонент не воспринял вызов (например, пейджер находится не на теле абонента), то через некоторое время t_1 ПСУ отключает ТТ и включает звуковой сигнализатор Гр. Функции включения и выключения ПСУ выполняет таймер. Через время t_2 с момента появления вызова сигнализация отключается.

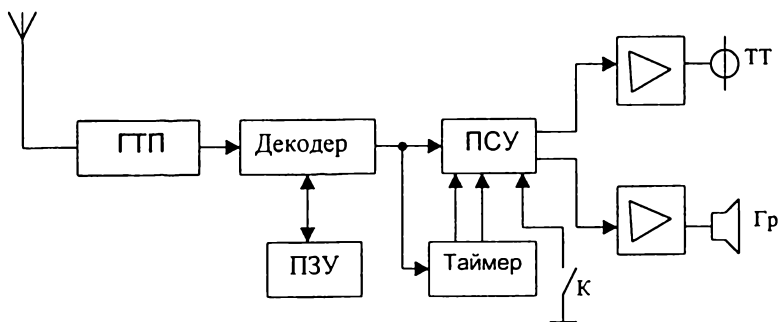


Рис. 7 12

Схема ПСУ показана на рис.7 13, ее работу поясним с помощью диаграмм на рис.7 14 [7.3]. При вызове данного абонента декодер вырабатывает импульс U_1 , запускающий триггеры Т1 и Т2 (напряжение на их выходах соответственно U_2 и U_3). Таймер состоит из двух секций: таймера вида сигнализации ТВС и таймера автоматического выключения ТАВ. Импульс U_2 на выходе ТВС вырабатывается через время t_1 , а импульс U_3 ТАВ через время t_2 , от-

веденное на сигнализацию о принятом вызове. Импульс U_2 осуществляет сброс триггера Т1, а импульс U_3 через цепь ИЛИ (импульс на выходе ИЛИ – U_{11}) – триггера Т2. Импульсы U_4 и U_5 подаются на цепь И-И1, импульс U_8 на выходе И1 включает тактиль ТТ на время t_1 . Импульсы U_4 инвертируются инвертором ИН1 (напряжение U_6) и подаются на цепь И2. Импульс на выходе И2 (напряжение U_{10}) начинается в момент времени t_1 и заканчивается в момент времени t_2 . Поскольку на входе цепи И3 действуют импульс U_{10} и импульсы U_7 от генератора звуковой частоты ГЗ с частотой 2 кГц, то на выходе И3 импульсы, следующие с звуковой частотой, действуют в интервалы времени от t_1 до t_2 ; при этом срабатывает звуковая сигнализация и прослушивается тон в 2 кГц. По окончании времени, отведенного на сигнализацию, ГЗ отключается импульсом U_3 . Нажатием кнопки К осуществляется досрочное выключение сигнализации; при этом с моментом нажатия на входе ИЛИ появляется импульс и сигнализация прекращается. Обычно блок ПСУ выполняется на одном кристалле.

В качестве примеров рассмотрим структурные схемы пейджеров последних разработок, реализующих указанные выше особенности их построения.

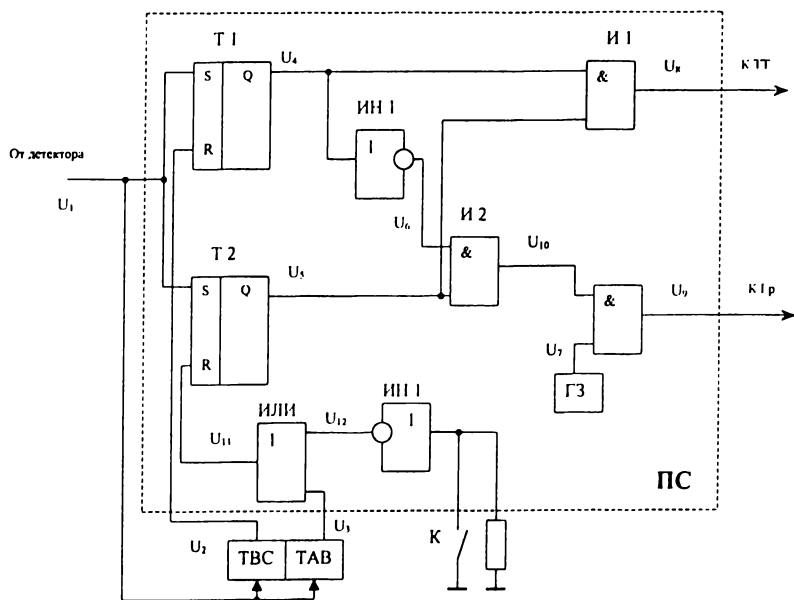


Рис. 7.13

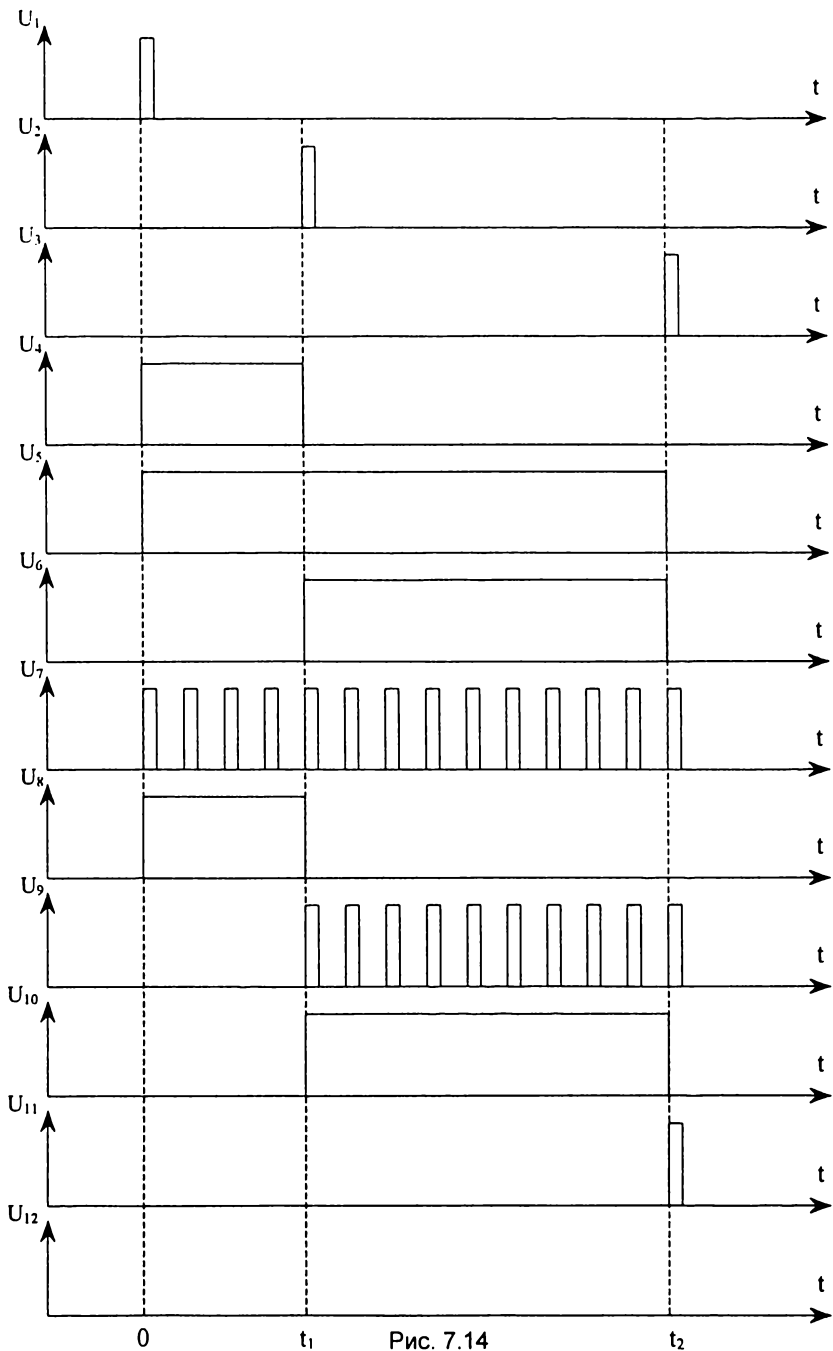


Рис. 7.14

7.7. Структурные схемы и основные показатели конкретных пейджеров

Одной из первых систем, в которой применялся приемник с однократным преобразованием частоты, была система "Белбой" (США, начало 60-х годов). Очень низкая промежуточная частота (6 кГц, при рабочей частоте 152 МГц и девиации частоты 1,3 кГц) позволила минимизировать размеры и стоимость приемного устройства за счет применения недорогих низкочастотных элементов. Декодирующее устройство этого приемника состоит из механических резонансных реле [7.2].

Радиоприемное устройство системы "Покет Белл" (Япония, конец 60-х годов) построено по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты (промежуточные частоты 10,7 МГц и 455 кГц, рабочая частота 150 МГц). В декодирующем устройстве применены камертонные фильтры.

С начала 70-х годов в качестве декодирующих устройств начали применять интегральные схемы, обычно КМОП ввиду их малого энергопотребления. При этом высокочастотный тракт и тракт промежуточных частот строился на дискретных компонентах.

Начиная с 80-х годов радиочастотный и ПЧ тракты стали выполнять на интегральных модулях с применением внешних фильтров. С середины 80-х годов приемники СПВ стали строить по схеме прямого усиления с применением синхронного детектора. Применение подобных схем позволяет уменьшить размеры и массу приемника, а также его цену. Это объясняется тем, что в подобных приемниках благодаря минимальному количеству высокочастотных каскадов (УРЧ, гетеродин) снижается потребляемая мощность. Поскольку основное усиление, фильтрация для обеспечения избирательности по соседнему каналу и демодуляция сигнала происходят на низкой частоте облегчается реализация приемника в однокристалльном исполнении; при этом отпадает необходимость в применении внешних кварцевых или керамических фильтров в тракте промежуточной частоты.

Первой подобной разработкой является специализированная интегральная микросхема, созданная совместными усилиями фирм Standart Telephon Laboratories, GEC Plessey Semiconductors (GPS) и Multiton Electronics PLC. Функциональная схема данной микросхемы представлена на рис.7 15 [7.2].

Эта микросхема предназначена для применения в приемниках персонального вызова, работающих в цифровых системах с использованием в них бинарной частотной манипуляции. Это позволило применить простое демодулирующее устройство.

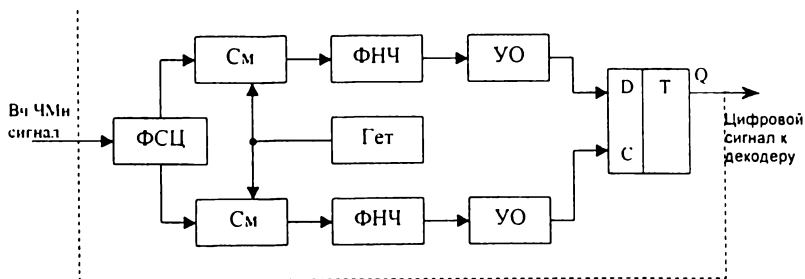
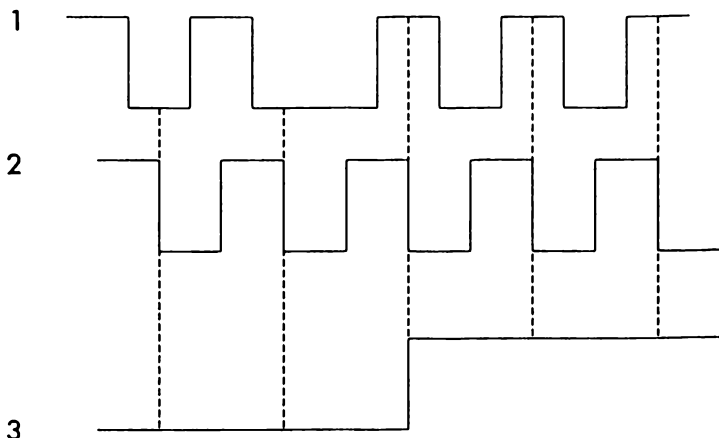


Рис. 7 15

Радиочастотный сигнал подается на квадратурную фазосдвигающую цепь (ФСЦ). На ее выходах получаются сигналы со сдвигом фаз $+45$ и -45° , т.е. они находятся в квадратуре (сдвинуты друг относительно друга на 90°). С выходов квадратурной цепи высокочастотные сигналы попадают на смесители СМ. На другие входы смесителей подается опорное колебание с гетеродина Гет. С выходов смесителей низкочастотный сигнал, полученный в смесителях, подается на фильтры нижних частот ФНЧ, которые в данном устройстве обеспечивают избирательность по соседнему каналу. Следует отметить, что полоса пропускания ФНЧ определяется не только скоростью манипуляции ЧМ сигнала, но и нестабильностью частоты гетеродина. Низкочастотные сигналы усиливаются до необходимой величины и ограничиваются усилителями-ограничителями УО и подаются на цифровой демодулятор (D-триггер). Выходной сигнал демодулятора остается постоянным, несмотря на периодические изменения входных сигналов. Поскольку поступающие на вход См сигналы сдвинуты по фазе на 90° , то в зависимости от девиации несущей частоты сигнала на 4,5 кГц возможны две комбинации сигналов на входах D и C триггера. Временные диаграммы напряжений на входах и выходе триггера представлены на рис.7 16.

Данная интегральная микросхема имеет хорошие показатели: избирательности по соседнему каналу: 65 дБ; чувствительность приемника персонального вызова без УРЧ – до 10 мкВ/м; рабочая частота – до 200 МГц; скорость манипуляции – до 512 бит/с; потребляемая мощность – 4 мВт при напряжении питания 3 В.

В 1992 г. фирма GEC Plessey Semiconductors выпустила следующее поколение специализированных БИС, SL6649-1 (приемник прямого усиления) и SL6655-1 (супергетеродинный приемник с однократным преобразованием частоты).



Сигналы: 1 – на выходе D; 2 – на выходе C; 3 – на выходе Q

Рис. 7 16

В состав обеих микросхем входит маломощный УРЧ и цепь экономии энергопотребления. Обе БИС обладают следующими техническими характеристиками: чувствительность 0,25 мкВ/м (реально в приемнике можно получить до 5 мкВ/м); селективность по соседнему каналу 70 дБ; потребляемая мощность менее 4 мВт. Микросхема SL6655-1, при дополнении внешними фильтрами для тракта ПЧ, позволяет строить радиотракт многодиапазонных приемников персонального вызова. В настоящее время многие фирмы выпускают улучшенные интегральные микросхемы для пейджерных приемников прямого преобразования.

Характерная схема квадратурного приемника прямого преобразования показана на рис.7 17 [7.4]. Она содержит усилитель радиочастоты УРЧ и два канала, каждый из которых состоит из смесителя СМ, маломощного усилителя низкой частоты УНЧ, фильтра нижних частот ФНЧ и усилителя-ограничителя УО. Напряжение гетеродина Γ ($\omega_f = \omega_c$) поступает на один из смесителей через фазовращатель, благодаря чему напряжения гетеродина на входах смесителей, сдвинуты относительно друг друга на 90° . Фазовым детектором служит D триггер.

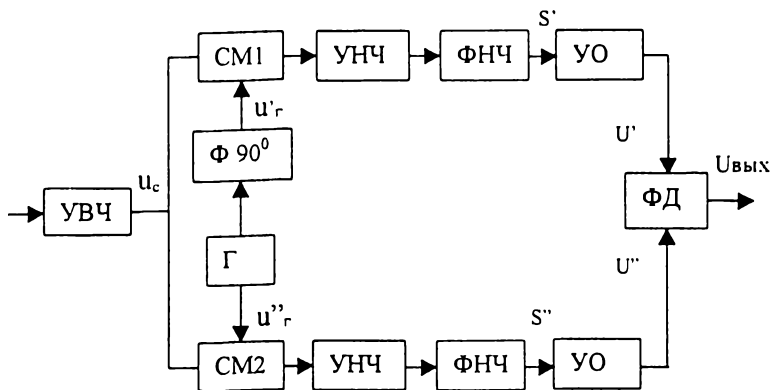


Рис. 7.17

Предположим, что логическая единица подается положительным отклонением $\Delta\omega$ частоты входного сигнала относительно несущей частоты ω_0 , а логический нуль – отрицательным. Тогда при передаче логической единицы входной сигнал $u_{c1} = U_c \cdot \cos[(\omega_0 + \Delta\omega)t + \Psi]$, а при передаче логического нуля $u_{c0} = U_c \cdot \cos[(\omega_0 - \Delta\omega)t + \Psi]$, где Ψ – случайная фаза. Напряжения гетеродина на входах смесителей соответственно равны $u'_r = \sin \omega_0 t$, $u''_r = \cos \omega_0 t$. После преобразования на выходах ФНЧ в квадратурных каналах получаем: при передаче логической единицы $S'_1 = 0.5[U \sin(\Delta\omega t + \Psi)]$, $S''_1 = 0.5[U \cos(\Delta\omega t + \Psi)]$; при передаче логического нуля $S'_0 = -0.5[U \sin(\Delta\omega t - \Psi)]$, $S''_0 = 0.5[U \cos(\Delta\omega t - \Psi)]$. После ФНЧ сигналы S проходят через УО. Эпюры напряжений U' и U'' на выходе УО показаны на рис. 7.18. Выходной сигнал D-триггера (ФД) $U_{\text{вых}}$ соответствует значению напряжения U' в момент времени переднего фронта напряжения U'' . Тогда при $\Delta\omega > 0$ $U_{\text{вых}}$ соответствует логической единице; при $\Delta\omega < 0$ фаза напряжения U' изменяется на 180° ; фаза напряжения U'' не изменяется, по этой причине $U_{\text{вых}}$ соответствует логическому нулю.

Примером комплексного решения проблем минимизации габаритов приемника персонального вызова и увеличения срока работы без подзарядки аккумуляторов может служить малогабаритный дисплейный цифровой приемник персонального вызова R3N4-12A японской фирмы NEC, структурная схема которого приведена на рис. 7.19.

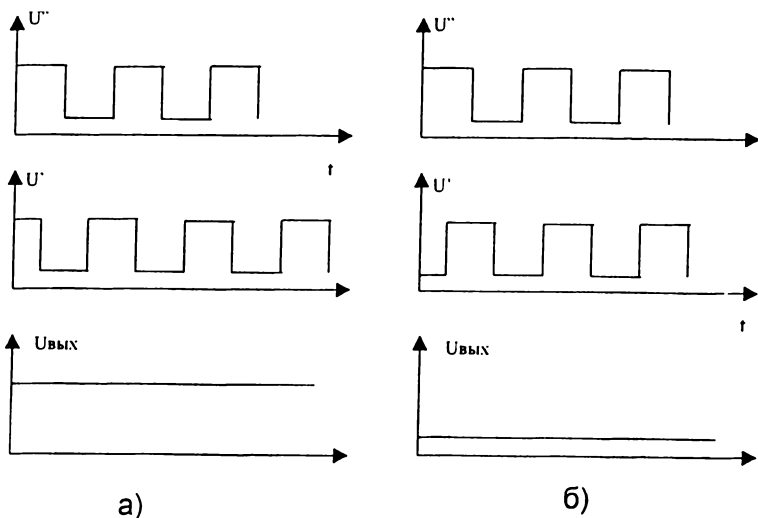


Рис. 7.18

Пейджер осуществляет прием сигналов в диапазоне 138...174 МГц со скоростью передачи 512 бит/с. Габаритные размеры приемника 50x64x18.5 мм. В пейджере ГПП выполнен с прямым преобразованием частоты, используются гираторные фильтры. Источник питания – подзаряжаемый щелочной аккумулятор 1,5 В; предусмотрено повышение этого напряжения с помощью электронного преобразователя ЭП до значения 2,2 В, необходимого для работы декодера и процессора ЦП. Срок работы батарейки без подзарядки – 1000 часов. Детектор разряда батарейки ДР обеспечивает световую индикацию порогового разряда. На рис. 7 19 СН – стабилизатор напряжения. Декодер обрабатывает 20-значные буквенно-цифровые сообщения, при этом используется код POC SAG. Рамочная антенна А с повышенной добротностью реализуется в виде металлической боковой оболочки. Заметим, что для повышения надежности действия пейджеров можно использовать две антенны в виде двух пар металлизированных взаимно перпендикулярных стенок корпуса пейджера для автоматической адаптации к поляризации волн от передатчика в месте расположения пейджера.

Чувствительность приемника выше 14мкВ/м обеспечивается малощумящим УРЧ. В двух квадратурных преобразователях ПрЧ используется вторая гармоника частоты генератора Г, стабилизированного кварцем. Фазорасширитель ФР обеспечивает напряжение с двумя различными фазами $\pm\pi/4$, необходимые для работы преобразователей частоты ПрЧ.

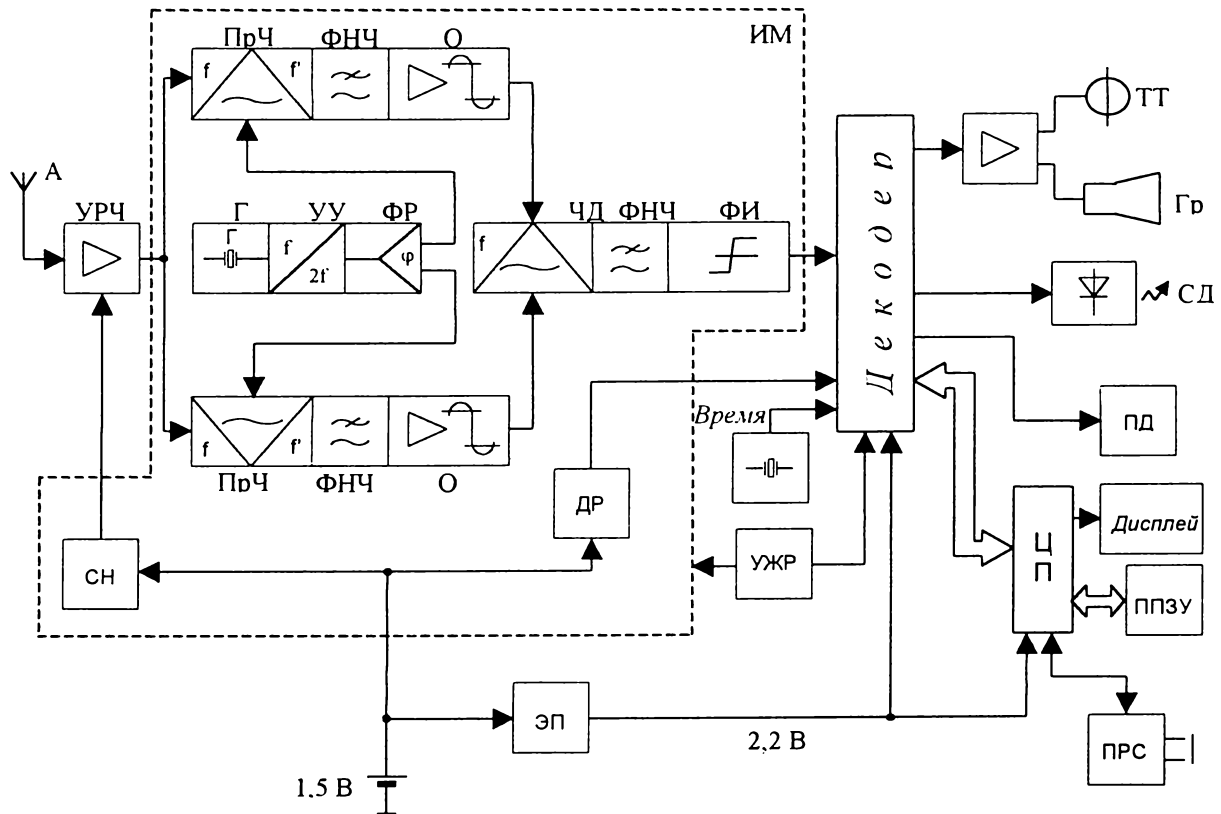


Рис. 7 19

После фильтров нижних частот ФНЧ и усилителей-ограничителей О сигнал подается на частотный детектор ЧД. После ЧД, ФНЧ и формирователя импульсов ФИ сигнал в двоично-цифровой форме поступает на декодер. Стабильность настройки пейджера 10^{-5} в интервале температур от -10° до $+50^{\circ}\text{C}$. Частотный разнос между каналами – 25 кГц, селективность по соседнему каналу – выше 60 дБ. Пейджер позволяет накапливать до 16 сообщений; поскольку в нем предусмотрен таймер, то каждое сообщение при записи в память маркируется по времени. Дисплей позволяет просмотреть одновременно 12 сообщений.

В пейджере R3 N4-12A имеются две секции: радиосекция (на рис.7 19. выделена пунктирной линией), выполненная в виде интегрального модуля ИМ, аналогичного микросхеме на рис.7 15, и секция управления и дисплея. Радиосекция осуществляет прием кодированных сигналов ЧМ с девиацией частоты $\pm 4.5\text{кГц}$. В тракте радиочастоты используются высокочастотные транзисторы типа *n-p-n* с граничной частотой 4,5 ГГц и с током в рабочей точке 0,1мкА, в тракте НЧ – транзисторы *p-n-p* с граничной частотой 7МГц; синхронный детектор – обычный балансный перемножитель; ЧД реализован на триггере; гираторный ФНЧ имеет частоту среза 8 кГц.

Адрес принимаемого вызова сравнивается в декодере с адресом пейджера, записанным в перепрограммируемом запоминающем устройстве ППЗУ. При совпадении адресов вызов фиксируется и если далее передается сообщение, то оно воспроизводится на дисплее с отображением времени его получения. Пейджер имеет адреса трех видов (всего предусмотрено девять вариантов), что позволяет ему работать как в одиночном, так и в групповом режиме при приеме сигналов различного вида. Дисплей на жидких кристаллах может одновременно отображать 12 сообщений по 12 знаков в каждом, подсветку дисплея при использовании пейджера в темноте обеспечивает диод ПД.

Имеется несколько вариантов сигнализации о приеме вызова. При звуковой сигнализации прослушивается либо один из четырех тонов (1,5; 2; 2,7; 3,3 кГц), либо одна из четырех двухтоновых комбинаций; при этом с помощью переключателя режима сигнализации ПРС можно обеспечить либо тихое звучание, либо громкое, либо плавно меняющееся от тихого к громкому. Световая сигнализация обеспечивается миганием светодиода СД. При тактильной сигнализации при приеме вызова осуществляется вибрационное воздействие на кожу человека вибратором ТТ. С помощью ПРС может осуществляться воспроизведение на дисплее информации, записанной в ОЗУ.

Ждущий режим в пейджере реализуется следующим образом. В соответствии с используемым кодом POCSAG всякий прием на данной частоте начинается с преамбулы длительностью в 576 бит. Для автоматического установления наличия вызова приемник включается с помощью устройства ждущего режима УЖР на 50 мс с периодом в одну секунду, а поскольку преамбула длится больше секунды при скорости передачи 512 бит/с, то часть ее при наличии вызова будет принята приемником. Этой части достаточно для фиксирования вызова. По статистике известно, что вызов в систему (не обязательно данному абоненту) поступает не чаще, чем примерно через каждые 2 мин. Тогда за 2 мин. между вызовами пейджер находится во включенном состоянии 120 раз по 50мс, т.е. 6 с. Если при включении на 50 мс приемник зафиксировал наличие преамбулы, то он остается включенным еще на 2 с дополнительно, для выяснения, не ему ли направлен вызов. За 2 мин между вызовами пейджер находится во включенном состоянии 8 с. При этом коэффициент экономии ресурса питания составляет $2 \text{ мин}/8\text{с} = 15$. Коэффициент экономии можно повысить, если ввести во всю СПВ синхронизацию по таймеру. Для этого после преамбулы передается кодовое слово, обеспечивающее введение приемника в режим синхронизации. При наличии синхронизации вызов начинает передаваться только в соответствующие моменты времени. Если точки синхронизации разнесены на 30 с, то включение пейджера может осуществляться на 50 мс через 30 с. Время дежурства пейджера за 2 мин составит при этом $2+3 \times 0,05=2,15$ с и коэффициент экономии будет равен $2 \text{ мин}/2,15\text{с}=54$.

Практически по схеме с прямым преобразованием выполнен пейджер фирмы Плесси, структурная схема которого показана на рис.7.20. Этот пейджер обеспечивает прием сигналов в диапазоне 450...470 МГц, при скорости передачи 512 бит/с. Разнос по частоте между каналами – 20кГц; сигнал – двухчастотный (ЧТ), модулирующая частота $\pm 4\text{кГц}$; при этом разнос между частотами передачи нуля и единицы составляет 8кГц.

Согласно схеме рис.7.20 сигнал из антенны после усиления в малощумящем УРЧ подается на синхронный детектор СД, опорное напряжение для которого вырабатывается кварцевым генератором Г с умножением частоты. Однако частота гетеродина сдвинута на 2 кГц относительно частоты сигнала, при этом при приеме нуля на выходе СД появляется напряжение с частотой 2 кГц, а при приеме единицы – 6 кГц. На выходе СД включен активный фильтр с частотой среза выше 6 кГц. Далее низкочастотный сигнал усиливается и детектируется в Д и после ограничения в О выходные данные подаются на последующую часть пейджера.

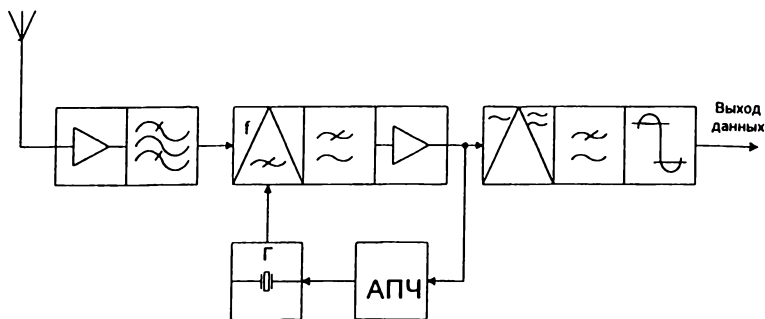


Рис. 7.20

Система автоматической подстройки частоты АФЧ подстраивает частоту гетеродина по двум частотам: 2 и 6 кГц.

7.8. Приемник персонального вызова Telefind Corp.(США)

В качестве примера пейджера, в котором главный тракт приема построен с двойным преобразованием частоты, рассмотрим одну из разработок фирмы Telefind Corp.(США); структурная схема пейджера показана на рис.7.21. Пейджер способен принимать вызов и информацию при нахождении абонента практически в любой точке земного шара, если она находится в зоне действия СПВ. Код абонента при этом существенно расширяется, поскольку должно учитываться его местонахождение. Этот код должен включать в себя код страны, где находится абонент; код местности, где находится центр СПВ с передатчиком, обслуживающим зону с находящимся в ней абонентом, и код адреса самого абонента. При поступлении кодового сигнала на пейджер, он вначале анализирует последнюю цифру кода, если она не совпадает с последней цифрой адреса, то пейджер выключается; если совпадает, то анализируется предпоследняя цифра кода и т.д. Таким образом увеличивается эффективность ждущего режима. Для передачи сообщения используется 16-ти разрядный код.

Обычно пейджеры по схеме рис.7.21. выполняются в носимом (например на поясе абонента), стационарном или автомобильном вариантах. Поскольку СПВ в разных странах работают в различных частотных диапазонах, блок радиочастоты БРЧ пейджера имеет три различных тюнера, каждый из которых состоит из одного усилителя радиочастоты (УРЧ1-УРЧ3) и соответственно одного преобразователя частоты (ПрЧ1-ПрЧ3).

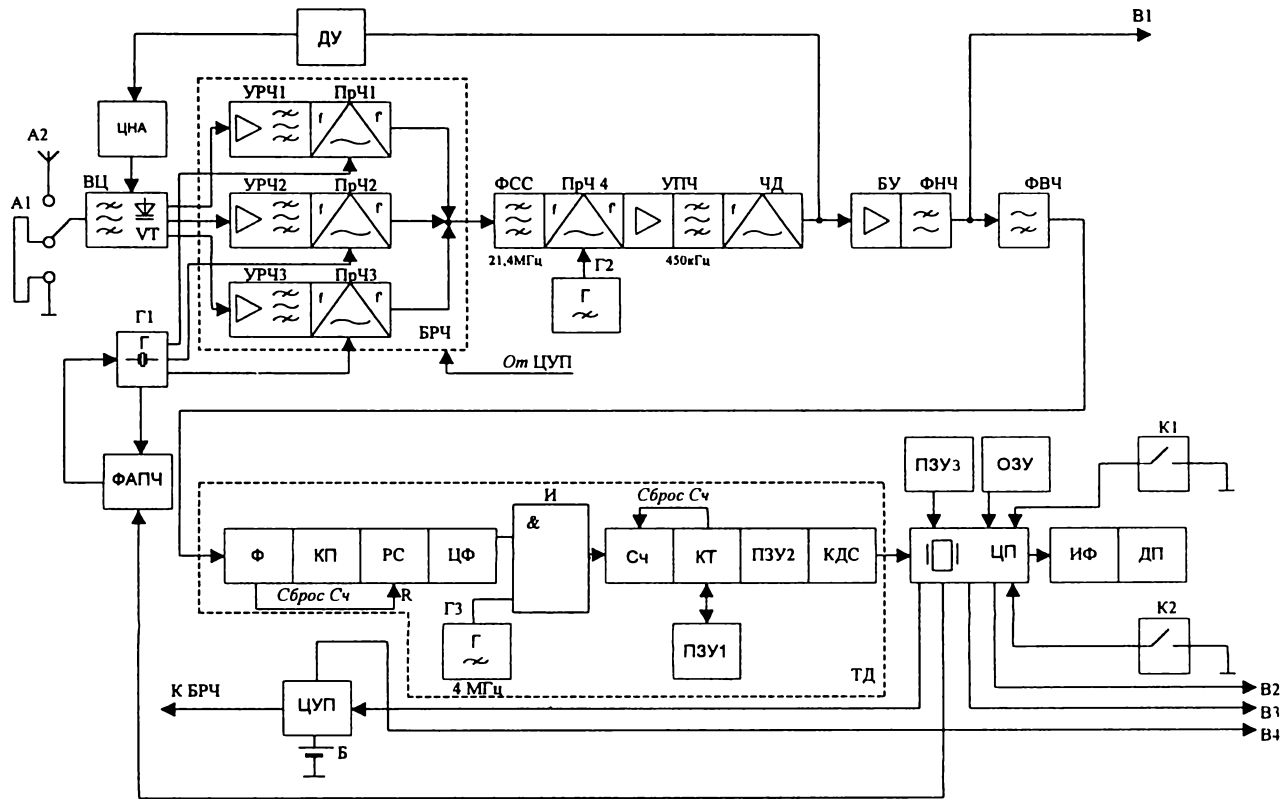


Рис. 7.21

Сигнал может приниматься одной из двух антенн: внутренней рамочной А1 и внешней А2. Для обеспечения максимальной чувствительности предусмотрена варикапная цепь настройки антенны ЦНА. Напряжение сигнала с выхода частотного детектора ЧД через детектор уровня ДУ и ЦНА автоматически настраивает антенну на максимум сигнала. Первый тюнер (УРЧ1 и ПрЧ1) работает в диапазоне УВЧ, который в СПВ наиболее часто используется в Америке; второй тюнер (УРЧ2 и ПрЧ2) – на 280 МГц, что характерно для Японских СПВ и третий – в диапазоне ОВЧ (Европа, Америка). Настройка тюнеров осуществляется установкой частоты первого гетеродина Г1, охваченного цепью ФАПЧ с управлением от центрального процессора ЦП, который через цепь управления питанием ЦУП включает нужный тюнер. Поскольку тюнер является основным потребителем тока, то он включается только на время обнаружения сигнала, что обеспечивает ждущий режим.

Первая промежуточная частота равна 21,4 МГц, вторая – 450 кГц. После ЧД принятый сигнал через буферный усилитель БУ, фильтр нижних частот ФНЧ с частотой среза 400 кГц и фильтр верхних частот ФВЧ с частотой среза 3000 Гц, подается на формирователь Ф, в котором гармонический сигнал преобразуется в импульсный. После ФНЧ сигнал может подаваться на выходные клеммы В1 для внешней обработки принятой информации. Корректор периодов КП устраняет дрожание фронтов импульсов сигналов. Регистр сдвига РС, цифровой фильтр ЦФ, совместно с цепью И, Ф и КП осуществляет дискретизацию сформированных импульсов с частотой 4 МГц. После счетчика Сч и компаратора тонов КТ принятая кодовая комбинация дешифруется для определения тона сравнением с комбинацией, записанной в программируемом запоминающем устройстве ПЗУ1. В ПЗУ2 определяется комбинация тонов, которая через компаратор длительности сигналов обрабатывается в ЦП. Каскады пейджера Ф – КДС, выделенные на схеме рис.7.21 пунктирной линией, по существу представляет собой тональный детектор ТД.

Сообщение из ЦП воспроизводится на жидкокристаллическом дисплее ДП через интерфейс ИФ. Включение ДП осуществляется кнопкой К1, подсветка дисплея обеспечивается нажатием кнопки К2. Через вывод В2 пейджер может подсоединяться к внешнему принтеру, через вывод В3 – к внешним сигнальным устройствам, через вывод В4 – к внешним устройствам для сигнализации об исправности батареи питания Б.

Надежность вызова можно повысить с помощью разработанного фирмой Моторола (США) двухчастотного пейджера. Согласно этой разработке основной пейджер дополняется миниатюр-

ным передатчиком, транслирующим принятый вызов на миниатюрный приемник, находящийся непосредственно на теле абонента (например, в виде браслета на руке). Связь между пейджером и приемником, находящихся на расстоянии до нескольких метров, может осуществляться, например, с помощью ультразвука. Миниатюрность приемника достигается благодаря ограничению его функций, поскольку он принимает только адресованный ему сигнал.

Современные системы персонального вызова предоставляют широкий спектр услуг. В качестве примера рассмотрим услуги, предоставляемые в Москве коммерческой фирмой "Телефонные системы будущего". Эта компания предлагает своим клиентам четыре различных приемника фирмы NEC. Тональный пейджер позволяет принимать четыре различных сообщения, различающихся видом сигнализации. Цифровой пейджер Relay позволяет хранить в памяти 16 сообщений длиной по 20 знаков каждое, например, номер телефона вызывающего абонента и время поступления вызова.

Текстовый 2-строчный пейджер Courier способен удержать в памяти 40 буквенно-цифровых сообщений. Объем памяти составляет 6500 знаков, что соответствует 2 листам печатного текста.

Текстовый пейджер Provider отличается от Courier тем, что имеет 4 строки для текста и одну служебную для индикации времени суток, дня недели и другой служебной информации, что значительно упрощает чтение длинных сообщений. Этот пейджер имеет размеры 90×50×16 мм. Выпускающая его компания предлагает также дополнительное устройство Transfer-pager, которое подключается к любому телефону и передает на пейджер абонента номера телефонов абонентов, звонивших по данному номеру. Передача вызова и дополнительных сообщений в системе возможна тремя различными способами: в автоматическом режиме с помощью обычного телефонного аппарата – только тотальных и цифровых сообщений; через оператора – текстовых, цифровых и тональных сообщений; с помощью компьютера и модема – текстовых, цифровых и тональных сообщений. В качестве дополнительных услуг возможна передача различной оперативной информации: прогноз погоды, изменения курсов валют и т.п.

8. СПУТНИКОВАЯ РАДИОСВЯЗЬ

8.1. Принципы спутниковой связи

При спутниковой связи ретранслятор размещается на искусственном спутнике Земли, который движется по достаточно высокой орбите не затрачивая энергию на это движение. Энергоснабжение ретранслятора осуществляется от солнечных батарей. Поскольку спутник находится на достаточно высокой орбите, он просматривает около трети поверхности Земли, что позволяет осуществлять связь через его ретранслятор всем станциям, находящимся на этой территории. Таким образом, три спутника, связанные между собой постоянно действующими радиопередачами, позволяют создать глобальную систему связи. Учитывая, что имеются технические возможности создания достаточно узкого луча с концентрацией энергии бортового передатчика спутника на относительно небольшой территории, появляется возможность использовать спутниковую связь между абонентами в ограниченной зоне.

Радиостанцию, расположенную на объекте, который находится за пределами основной части атмосферы Земли, называют космической, а расположенную на земной поверхности – земной. Радиосвязь с применением космических станций называют космической радиосвязью, а связь между земными станциями через спутник – спутниковой. На рис. 8.1. показана схема линии спутниковой радиосвязи между двумя земными станциями ЗС1 и ЗС2 через космическую станцию-ретранслятор.



Рис. 8. 1

Различают следующие службы спутниковой радиосвязи [8.1]:
фиксированная спутниковая служба – обеспечивает радиосвязь между земными радиостанциями, расположенными в определенных пунктах;

подвижная спутниковая служба – обеспечивает связь между подвижными земными радиостанциями;

радиовещательная спутниковая служба (РСС)– служба радиосвязи, в которой сигналы с космического ретранслятора предназначены для непосредственного (индивидуального либо коллективного) приема населением. В случае коллективного приема программа вещания, принятая земной станцией, доставляется абонентам с помощью той или иной наземной системы распределения: через радиопередатчик небольшой мощности или кабельной.

Системы спутниковой связи применяют для передачи любых видов информации: программ телевидения и звукового радиовещания, газетных полос и др., а также для телефонных переговоров, обмена цифровыми данными и др. В зависимости от видов передаваемой информации различают *универсальные (многофункциональные)* системы и *специализированные* – для передачи одного вида или нескольких однородных видов информации.

8.2. Орбиты и зоны обслуживания спутниковых систем связи и вещания

Орбита – это траектория движения спутника. При выключенных бортовых двигателей спутника он движется под воздействием гравитационных сил и по инерции; это движение происходит в так называемой плоскости орбиты, проходящей через центр Земли, и имеющей форму эллипса или окружности. При эллиптической орбите ее точку, соответствующую наименьшему расстоянию от центра Земли называют точкой перигея, а точку орбиты, соответствующую наибольшему расстоянию – точкой апогея.

Спутниковая система связи и вещания может функционировать при условии прямой видимости между спутником и соответствующими земными станциями. Если в процессе сеанса связи прямая видимость нарушается (связь нарушается), то целесообразно, чтобы сеанс повторялся в одно и то же время суток, по этой причине отдают предпочтение синхронным орбитам с периодом обращения, равным или кратным времени оборота Земли вокруг оси. На первом этапе внедрения и развития спутниковой радиосвязи широкое применение нашла высокая эллиптическая орбита с периодом обращения 12 ч.

Для исключения перерывов в связи и упрощения систем наведения антенн земных станций на спутник, а также учитывая ряд эксплуатационных преимуществ предпочтительное развитие получили геостационарные спутники: они оказываются неподвижными относительно земной поверхности, располагаясь над экватором на высоте 35 875 км. В этом случае [8.1]:

связь осуществляется непрерывно, круглосуточно, без необходимых переходов с одного спутника на другой;

средства автоматического слежения за спутником на антеннах земных станций упрощаются или даже исключаются;

- достигается более высокая стабильность уровня сигналов;

- отсутствует или становится очень малым частотный сдвиг сигнала из-за эффекта Доплера;

- зона видимости спутника с Земли составляет около трети земной поверхности;

- соответственно три спутника позволяют создать глобальную систему связи.

Однако на территориях в высоких широтах ($\geq 73^\circ$) геостационарный спутник виден под малыми углами и совсем не виден у самого полюса. Из-за малых углов спутник затеняется, причем увеличиваются шумы в приемной антенне системы бортовой станции, создаваемые излучением Земли. Углы уменьшаются также с удалением по долготе точки приема от долготы спутника. Участок геостационарной орбиты, в пределах которого можно менять точку стояния спутника с сохранением необходимой зоны обслуживания, называется дугой обслуживания. При выводе спутника на геостационарную орбиту неизбежно возникают отклонения начальных параметров орбиты от необходимых; что приводит (с учетом влияния факторов, влияющих на центральное гравитационное поле) к нарушению строгой геостационарности спутника: для соблюдения стабильного его положения приходится периодически осуществлять коррекцию.

Часть поверхности Земли, с которой спутник находится в поле зрения земной антенны под углом больше некоторой минимально допустимой величины называют *зоной видимости*, а зона видимости в определенный (фиксированный) момент времени – *мгновенной зоной видимости*. Часть зоны видимости, в которой обеспечиваются необходимые энергетические соотношения на линии связи при определенных энергетических параметрах земной станции называют зоной покрытия. Зона покрытия – это территория, в каждой точке которой угол при направлении антенны земной станции на спутник не менее минимально допустимого; плотность потока мощности от передатчика спутника в зоне приема, не ниже требуемой и уровень сигнала с Земли в приемной антенне спутника достаточен для надежной радиосвязи. Построение зон покрытия на карте распадается на четыре этапа.

1. Определение зоны видимости.

2. Расчет зоны, в которой спутник создает необходимую плотность потока мощности.

3. Нахождение зоны, которая отвечает условию приема космической станцией с необходимым качеством сигналов от находящейся в пределах зоны земной станции с достаточной в данной системе излучаемой мощностью.

4. Определение зоны покрытия – территории, принадлежащей одновременно каждой из трех указанных зон.

При реальном проектировании системы необходимо учитывать что: в атмосфере Земли возникает *дополнительное затухание*, в основном из-за частиц влаги; существенное влияние оказывает нестабильность положения спутника на орбите и нестабильность ориентации его антенн. Для учета влияния нестабильности луча передающей антенны спутника, введено понятие *зоны гарантированного уровня сигнала*, учитывающее как ограничения, обусловленные радиовидимостью, так и создаваемую с учетом нестабильности плотности потока мощности у поверхности Земли и отличается от понятия зон покрытия тем, что не учитывает энергетические соотношения на участке земная станция-космическая станция.

Поверхность Земли, на которой расположены или могут располагаться земные станции данной сети связи и, в которой необходимо обеспечить нормальную работу земных станций, называется *зоной обслуживания*. Зона покрытия включает в себя зону обслуживания.

Эффект Доплера проявляется на линиях радиосвязи в изменении частоты принятых колебаний при взаимном перемещении передатчика и приемника. Он возникает и при движении спутника по орбите, причем максимален, если движение передатчика относительно приемника происходит по направлению линии связи. Доплеровский сдвиг не возникает на линии связи между неподвижными земными станциями через геостационарный спутник, но на сильно вытянутых эллиптических или низких круговых орбитах может быть значительным. Наибольший суммарный доплеровский сдвиг имеет место на линиях связи между близко расположенными земными станциями, когда сдвиг на обоих участках (Земля-спутник и спутник-Земля) примерно одинаков и на всей линии удваивается.

Влияние доплеровского сдвига на работу линии связи проявляется в том, что: увеличивается частотная нестабильность несущей частоты ретранслируемых спутником радиосигналов. Это осложняет прием сигналов, особенно узкополосных, приводя к снижению помехоустойчивости приема; изменяется частота модулирующих колебаний. Эффект Доплера может создавать трудности при передаче дискретных сигналов в цифровых сетях.

8.3. Способы модуляции и уплотнения в радиоканалах спутниковой связи

Практически используется частотная модуляция (ЧМ), повышающая помехоустойчивость к тепловым шумам и радиопомехам за счет расширения полосы частот и уменьшения требований к линейности тракта передачи сигналов [8.1]. При передаче телевидения используется девиация частоты 6...15 МГц, что обеспечивает достаточную помехоустойчивость. Увеличение девиации ограничивается необходимостью экономии полосы частот.

В наземных аналоговых сетях связи сигналы телефонных каналов обычно объединяются с помощью аппаратуры частотного уплотнения в многоканальные группы – от 12 (первичная группа), 60 (вторичная группа) до 960 и более каналов. Распространенный способ передачи групп каналов через спутник заключается в частотной модуляции несущего колебания групповым сигналом, полученным от аппаратуры уплотнения. Для экономии полосы частот применяют также передачу на одной боковой полосе амплитудно-модулированного сигнала; при этом достигается емкость ствола 6000 каналов и более; однако в этом случае во избежание межканальных помех предъявляются жесткие требования к линейности тракта.

Для передачи сигналов связи в цифровой форме сигналы групп каналов преобразуются в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Для передачи дискретных сигналов часто применяют двухфазную и четырехфазную, а иногда 8-ми и 16-ти фазную модуляцию. В ряде систем вместо многофазной модуляции при передаче дискретных сигналов применяют комбинированную амплитудно-фазовую модуляцию; одновременное изменение амплитуды и фазы сигнала увеличивает различимость состояний и этим повышает помехоустойчивость приема. Для цифровых сигналов применяют помехоустойчивое кодирование.

8.4. Распределение полос частот и проблемы электромагнитной совместимости систем спутниковой связи

Распределение полос частот между различными службами радиосвязи осуществляет Международный союз электросвязи (МСЭ), который, опираясь на исследования стран – членов МСЭ, на своих административных конференциях разрабатывает соответствующие регламентирующие правила и процедуры [8.1], которые фиксируются в Регламенте радиосвязи. В зависимости от назначения, типа и размещения земных станций, Регламент выделя-

ет среди систем спутниковой радиосвязи различные службы и отводит им соответствующие полосы частот. Для устойчивой работы бортового ретранслятора необходимо разнесение полос частот для линий земная станция-спутник и спутник-земная станция.

Регламентом радиосвязи [8.2] выделены следующие службы, относящиеся к космической радиосвязи: межспутниковая служба, метеорологическая служба, служба космических исследований, навигационная спутниковая, любительская спутниковая, служба исследования Земли, служба космической эксплуатации. Распределение частот несколько различается в разных регионах мира. Регламент различает три региона: 1 – Европа, Африка, Российская Федерация с прилегающими странами; 2 – Америка; 3 – Азия, Океания, Австралия.

Наиболее широко используются на трассе спутник-земная станция полосы частот 3400...4200, 4500...4800, 7250...7750 МГц, 10,7 11,7, 17,7-21,2 ГГц для всех регионов; 12,2...12,5 ГГц для третьего региона; 12,5...12,75 ГГц для регионов 1 и 3; 2500...2690 МГц для региона 2; 2500...2535 МГц для региона 3.

На линии земная станция -спутник широко используются полосы: 5725...7075 МГц для региона 1; 5850...7075 МГц для регионов 2 и 3; 7900...8400 МГц, 14,0...14,5, 27,5...31,0, 14,5...14,8 ГГц (последняя полоса – для подачи программ на спутник в вещательных спутниковых системах связи, работающих в полосах 11,7 12,7 ГГц, вне Европы), 17,3...18,1 ГГц (для линий подачи программ на спутники РСС, работающих в полосах 11,7 12,7 ГГц).

При проектировании систем спутниковой связи учитывается взаимное влияние отдельных средств связи друг на друга, а также проектируемой сети и некоторых систем связи, относящихся к другим радиослужбам. Именно эти взаимные влияния определяют проблемы электромагнитной совместимости, т.е. способности различных радиоэлектронных средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством и по возможности не создавая при этом радиопомех друг другу и другим сетям и системам.

Проблемы совместимости могут возникать при совместной работе в общих полосах частот различных сетей связи, РРЛ, радиолокационных станций и др. Рекомендация МСД-Р определяет предельно допустимые уровни шумов в телефонных каналах гипотетической эталонной спутниковой цепи с ЧМ и частотным разделением каналов при воздействии помех от наземных РРЛ. Рекомендации определяют также предельно допустимые нормы увеличения вероятности ошибок, возникающих из-за воздействия помех от наземных радиорелейных станций и др.

8.5. Многостанционный доступ и методы разделения сигналов

Многостанционный доступ – это одновременная передача сигналов ряда земных станций через один, общий для всех, ствол спутникового ретранслятора. Чтобы сигналы различных станций не влияли друг на друга, эти сигналы должны быть полностью разделяемыми. Используется разделение сигналов по частоте, по времени и по форме [8 3].

В качестве упрощенного примера (рис. 8.2,а) показана система многостанционного доступа для четырех земных станций, работающих по принципу "каждая с каждой". При этом космическая станция может иметь одну приемопередающую антенну для работы со всеми земными станциями. Существуют системы многостанционного доступа с частотным разделением (МДЧР), временным разделением (МДВР) и кодовым разделением (МДКР).

При МДЧР полоса частот ретранслятора Π делится между всеми земными станциями (рис. 8.2,б). Между полосами, выделеными для соответствующих земных станций, предусмотрены защитные частотные интервалы (рис. 8.2,б – ЗЧИ), необходимые для уменьшения переходных помех между сигналами соседних земных станций, возникающие при одновременном прохождении сигналов через нелинейные устройства. Поскольку передаваемыми сигналами занята не вся полоса частот, пропускная способность ретранслятора уменьшается. Таким образом, существенным недостатком систем космической связи с МДЧР является неэффективное использование полосы частот ретранслятора и его мощности. К тому же в подобных системах необходимо поддерживать возможности одинаковые уровни мощности принимаемых сигналов на космической станции для избежания эффекта подавления слабого сигнала сильным в нелинейных устройствах ретранслятора.

Сигналы от разных земных станций приходят на космический ретранслятор по разным путям, по этой причине условия распространения для них независимы. Поэтому на каждой станции измеряют ослабление сигнала на участке Земля-спутник для автоматической регулировки выходной мощности передатчика земной станции.

С ростом числа несущих целесообразность передачи многоканальных телефонных спектров на каждой из них уменьшается из-за резкого уменьшения пропускной способности ретранслятора. При этом выгоднее каждому телефонному каналу предоставить свою несущую. Такой принцип передачи получил название ОКН – один канал на несущую. Для повышения эффективности в системах с ОКН уменьшают загрузку ретранслятора подавлением излучения несущей в передатчике земной станции на время молчания

абонента, пауз между словами, предложениями и т.п. Уменьшается мощность переходных помех между соседними каналами, что позволяет уменьшить защитные частотные интервалы и увеличить емкость ствола.

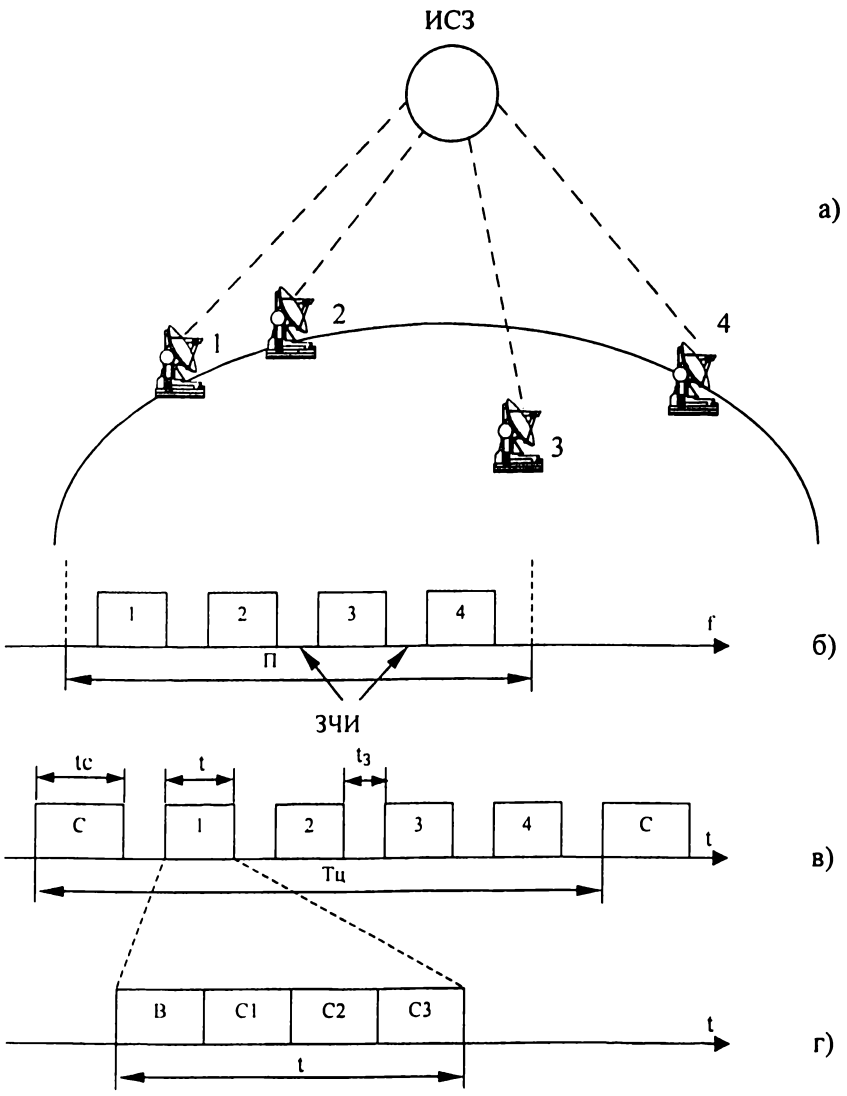


Рис. 8. 2

В системах с МДВР используют цифровую модуляцию, при этом цикл передачи T_c распределяется между всеми земными станциями (рис. 8.2,б). В начале цикла выделяют время t_c для передачи сигналов общесистемной синхронизации (синхропакета С). Интервалы времени t , обозначенные цифрами 1–4 отведены для передачи сигналов с соответствующих земных станций (информационные пакеты). Пакеты отделены друг от друга защитными временными интервалами t_3 , чтобы избежать перекрытия пакетов при неидеальной синхронизации. Синхропакет вырабатывает ведущая земная станция и через космическую станцию передает на все остальные (ведомые) земные станции. По получению синхропакета земная станция определяет время начала связи, при котором передаваемые ею сигналы поступают в ретранслятор точно в отведенное для нее время. Учитывается также время, затрачиваемое на прохождение синхропакета от космической станции, и время распространения информационного пакета до нее. Поскольку значения этих составляющих времени непрерывно изменяются при перемещении спутника по орбите, необходимо обеспечить высокую точность системы синхронизации: оно составляет десятки пикосекунд.

Информационный пакет земной станции (рис.8.2,в) состоит из вводной части В и информационных символов С2–С4, адресованных разным земным станциям. Вводная часть включает сигнал опознавания передающей земной станции, сигналы служебной связи, сигналы восстановления несущей на приеме и тактовой синхронизации и др. С увеличением числа земных станций время, выделяемое для работы каждой из них, сокращается, а требования к точности общесистемной синхронизации возрастают. Именно сложность системы синхронизации определяет основной недостаток систем связи с МДВР В то же время, в отличие от системы с МДЧР, не требуется регулировка мощности передатчика земной станции, так как при МДВР сигналы проходят через ретранслятор поочередно; поэтому усилитель мощности на космической станции может работать в нелинейном режиме, что позволяет эффективно использовать его выходную мощность. По мере развития цифровой техники системы МДВР получают все более широкое распространение. Среди них наиболее перспективными считают МДВР с коммутацией на борту.

Принцип работы подобной системы связи (рис.8.2,а) можно пояснить следующим образом. На спутнике установлены две четырехлучевые антенны – передающая и приемная, а также высокоскоростной бортовой коммутатор для автоматического выбора рабочих лучей антенн. На каждую из земных станций приходят только адре-

сованные ей информационные пакеты. Затем коммутатор переключается на прием сигнала от следующей станции и т.д.

При МДКР сигналы от всех земных станций передаются в одной полосе частот одновременно через ретранслятор. Сигналы разных земных станций разделяются с помощью своего индивидуального кода, излучаемого каждой передающей станцией. В приемнике выделяются сигналы с кодами, предназначенными для данной станции. В системах с кодовым разделением используются шумоподобные сигналы (ШПС), их разделение в приемнике обеспечивается с помощью техники корреляционного приема. Системы с МДКР обладают рядом важных свойств: низкая спектральная плотность излучаемых сигналов улучшает условия электромагнитной совместимости; они имеют высокую помехоустойчивость, особенно от узкополосной помехи; в этих системах благодаря кодированию автоматически обеспечивается определенная степень закрытости передаваемой информации.

Однако по сравнению с системами с МДВР и с МДЧР системы с МДКР обладают более низкой эффективностью использования полосы частот, поскольку применение ШПС приводит к существенному расширению полосы частот по сравнению с полосой модулирующего сигнала. По этой причине в системах с МДКР передают преимущественно сравнительно низкоскоростную информацию: до 9,6...19,2 кбит/с. Основными помехами в системах с МДКР являются не тепловые шумы приемника, а излучения других станций сети, совмещенные с полезным сигналом как по частоте, так и по времени, это обстоятельство ограничивает число станций в сети. Влияние бортового ретранслятора в системе с МДКР проявляется аналогично системе с МДЧР: в подавлении слабого сигнала сильным и в появлении дополнительных помех из-за нелинейных явлений.

8.6. Классификация земных станций

Земные станции – самая многочисленная часть сети спутниковой связи; число земных станций, работающих через один спутник, может достигать десятков тысяч. Земные станции спутниковой связи и вещания существенно различаются по функциональному назначению, пропускной способности, составу и стоимости, что усложняет возможность их четкой классификации. Ориентировочно земные станции можно объединить в следующие группы [8.4]:

1. Центр, представляющий собой сложный производственный комплекс, объединяющий на одной территории несколько земных станций, работающих в одной или разных спутниковых се-

тых, но решающих общую функциональную задачу. Он обеспечивает обмен большими потоками информации (3–5 телевизионных программ, 500–2000 телефонных каналов), имеет большой состав оборудования и значительный обслуживающий персонал.

2. Центральные станции, входящие в состав центров. Они, как правило, также имеют достаточно большую пропускную способность (2–4 телевизионных и 500–600 телефонных каналов) и, помимо приема и передачи информации, осуществляют управление сетью связи и контроль качества каналов.

3. Станции спутниковой связи 1 и 2 класса – периферийные станции системы. Они обычно имеют антенны диаметром около 12 м и пропускную способность 1–2 телевизионных и 24–60 телефонных каналов; размещаются в крупных городах и населенных пунктах и имеют магистральные телевизионные и телефонные каналы с центральной и другими станциями сети. У станций класса 2 меньший диаметр антенны (3...5 м), их пропускная способность – 1 телевизионный или 2–12 телефонных каналов; эти станции устанавливаются в небольших городах и населенных пунктах для организации каналов в зонах сетей.

4. Станции спутникового телевизионного вещания классов 1 и 2 – массовые приемные станции, охватывающие центральными и республиканскими программами телевидения всю территорию страны. Станции класса 1 обеспечивают прием высококачественных телевизионных программ, которые распределяются далее с помощью местных телецентров или с помощью ретрансляторов. Станции класса 2 распределяют телевизионные программы с пониженным качеством в населенных пунктах с небольшим количеством жителей с помощью маломощных ретрансляторов и сетей кабельного телевидения.

5. Перевозимые станции с антеннами сравнительно небольших размеров (2–7 м) как правило размещают на транспортных средствах. Эти станции организуют актуальные передачи с места событий, временные каналы на осваиваемых территориях, резервирование существующих спутниковых и наземных каналов при авариях и пр. По параметрам перевозимые станции близки к станциям спутниковой связи класса 2; они должны быть мобильными и очень быстро обеспечивать работу после прибытия на место передачи.

8.7. Структурные схемы и основные характеристики земных станций

Различные земные станции отличаются одна от другой как составом и параметрами оборудования, так и принципами построения, резервирования и контроля [8.4]. В качестве примера на рис.8.3 приведена упрощенная и типичная структурная схема приемопередающей, двухствольной станции; первый ствол которой предназначен для передачи и приема ЧМ сигналов телевидения со звуковым сопровождением и звукового радиовещания, второй – для телефонной связи.

Станция содержит:

антенну А, ориентированную в нужном направлении;

опорно-поворотное устройство антенны ОПУ с электросиловым приводом ЭСП;

антенно-волноводный тракт АВТ, через который радиосигналы передаются из аппаратуры в антенну и из антенны в аппаратуру;

волноводные поворотные переключатели ВП1 в тракте приема и ВП2, ВП3 и ВП4 в тракте передачи. Переключатель ВП1 – сдвоенный. Сплошной линией показаны соединения цепей в одном из возможных (рабочих) режимов использования станции; пунктиром показаны соединения при переключении в другой режим (резервный) с использованием других блоков станции;

направленный ответвитель НО в тракте передачи;

суммирующие волноводные цепи СЦ1 и СЦ2;

малозумящие усилители МШУ-А и МШУ-Б радиочастотных сигналов, поступающих из антенны;

волноводный разветвитель ВР;

рабочие и резервные преобразователи частоты ПРЧ-1А и ПРЧ-1Б, преобразующие частоту радиосигналов в промежуточную частоту в телевизионном тракте;

рабочие и резервные преобразователи частоты в стволе телефонной связи ПРЧ-2А и ПРЧ-2Б;

переключатели для перехода на резервный тракт П1, П2 и П3;

демодуляторы сигналов с выделением сигналов телевидения (изображения и звукового сопровождения) и звукового радиовещания ДМТВ;

блок обработки и коррекции телевизионных сигналов изображения БТВ;

блок выделения и коррекции сигналов звукового сопровождения телевидения БЗС;

телефонная каналообразующая аппаратура для обработки и формирования сигналов каналов телефонной связи ТФ-КОА;

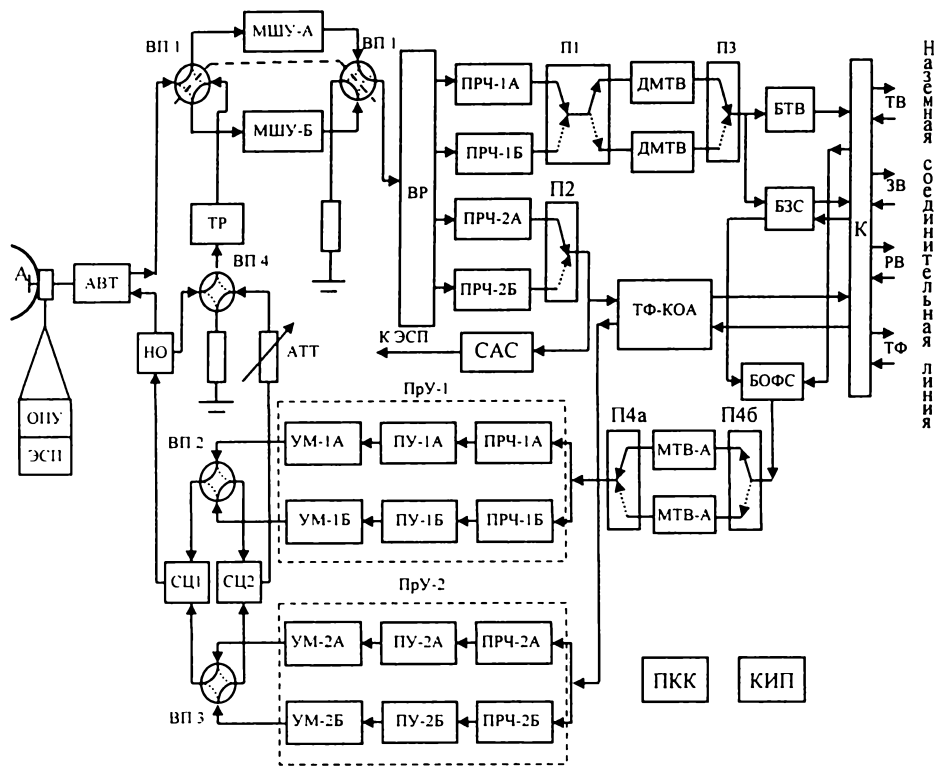


Рис. 8.3

блок обработки, коррекции и формирования телевизионного сигнала БОФС;

коммутатор К со входами и выходами трактов передачи телевидения – изображения (ТВ) и звука (ЗВ), радиовещания (РВ) и телефонной связи (ТФ);

модуляторы (рабочий и резервный) каналов передачи изображения и звукового сопровождения телевизионных программ, а также звукового – МТВ – А и Б;

переключатели модуляторов П4а и П4б;

передающие устройства первого и второго ствола – ПрУ-1 и ПрУ-2, состоящие из основного и резервного комплектов: преобразователей частоты ПрЧ и следующих за ними предварительных усилителей ПУ и усилителей мощности УМ (1А, 1Б, 2А, 2Б);

стойка автосопровождения САС наведения антенны земной станции на спутник, управляющая приводом антенны ЭСП;

аттенуатор (ослабитель) передаваемого сигнала АТТ Через НО, АТТ и ВП4 небольшая часть мощности передаваемого сигнала ответвляется в собственный тракт приема при проведении испытаний, настройке и регулировке станции.

В состав станции входят также тест-ретранслятор (ТР) и комплект контрольно-измерительных приборов (КИП), позволяющие организовать внутренний шлейф с последовательным преобразованием частот ПЧ-СВЧ-ПЧ для контроля и настройки передающего и приемного оборудования станции, находящегося в состоянии резерва. ТР с помощью волноводного переключателя ВП4 может подключаться либо к АВТ, либо к выходу сумматора резервных передатчиков. Управление и контроль за работой оборудования станции осуществляются с пульта контроля и коммутации ПКК.

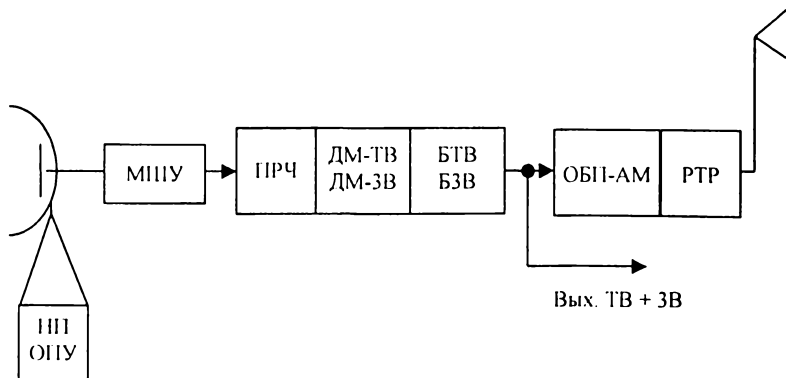


Рис. 8.4

На рис.8.4. изображена структурная схема станции спутникового ТВ-вещания класса 2, являющаяся наиболее массовой и соответственно сравнительно простой. Эта станция – приемная, одноствольная, без резервного оборудования; основные блоки станции – малoshумящий усилитель (МШУ), преобразователь частоты (ПРЧ), демодуляторы сигналов в канале изображения (ДМ-ТВ), и звука (ДМ-ЗВ) и промежуточные блоки БТВ и БЗВ. В ее состав входят также ОБП-АМ модулятор и ретранслятор РТР мощностью около 1 Вт с антенной А, для ретрансляции принятых от спутника сигналов абонентам ТВ в одном из 12-ти телевизионных УКВ каналов. Предусмотрена возможность подключения выхода видеосигнала приемника к сети кабельного телевидения.

Другие станции описанной выше классификации занимают промежуточное положение между приведенными в этом параграфе по сложности оборудования, принципам резервирования и числу резервных взаимонезависимых параллельных трактов – стволы.

8.8. Принципы построения приемных и передающих устройств земных станций

Приемное устройство земной станции осуществляет предварительное усиление принятого СВЧ сигнала, разделение сигналов отдельных стволы и их преобразование в промежуточную частоту (широко распространена 70 МГц) для последующей обработки. Упрощенная структурная схема приемного устройства представлена на рис.8.5. Здесь МШУ – малoshумящий усилитель, РУ – усилитель – разветвитель, ПРЧ – преобразователи частоты, Тр.ПЧ – тракты промежуточной частоты.

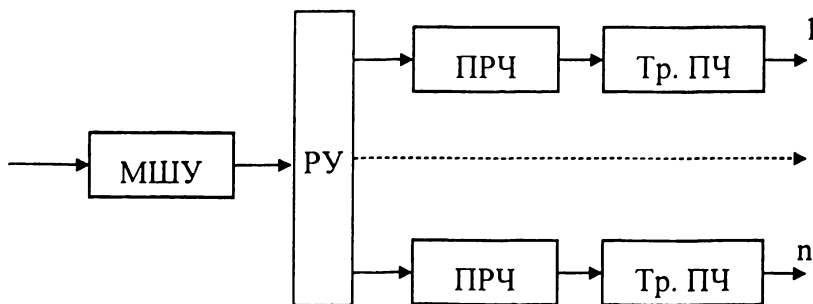


Рис. 8.5

Малощумящие усилители [8.5] увеличивают чувствительность приемных устройств и повышают энергетический потенциал участка спутник – земная станция. Распространены различные типы усилителей: параметрические, транзисторные, усилители на туннельных диодах и др.

При выборе схемы преобразователя частоты необходимо учитывать такие противоречивые требования как простота конструкции и высокая надежность, высокая селективность по побочным каналам приема и обеспечения возможности перестройки на частоты разных стволов [8.5]. Требование высокой селективности по побочным каналам приема, особенно по зеркальному каналу, объясняется тем, что на входе ПРЧ могут одновременно присутствовать сигналы всех стволов, принимаемые антенной. При однократном преобразовании сигналы некоторых стволов могут попадать в зеркальные каналы других стволов и тем самым создавать помехи приему. При двойном преобразовании частоты с достаточно высокой первой промежуточной частотой зеркальный канал приема и частота первого гетеродина попадают за пределы принимаемой полосы частот, что позволяет существенно повысить селективность приемника. Однако в приемниках с двойным преобразованием частоты увеличиваются габаритные размеры, масса и стоимость приемника.

Полосовые фильтры в тракте ПЧ обеспечивают необходимую селективность (25...50 дБ) по соседним каналам приема. Для уменьшения искажений ЧМ сигнала неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) тракта ПЧ в полосе пропускания не должна превышать 1 дБ, также достаточно высоки требования к линейности амплитудно-фазовой характеристики. В то же время для повышения чувствительности приемника шумовую полосу фильтра стремятся сделать как можно меньшей. С этой целью часто применяют сложные многоконтурные фильтры высокого порядка с высокой прямоугольностью АЧХ. В тракте ПЧ также находится видеоусилитель, в котором видеосигнал усиливается и корректируется его частотный спектр.

Демодулятор должен обеспечить помехоустойчивость приема сигналов, по возможности близкую к потенциальной, при работе вблизи порога ЧМ.

Обычно применяют стандартные частотные детекторы, содержащие высококачественные амплитудные ограничители с глубиной подавления АМ до 30 дБ и дискриминаторы с высокой линейностью характеристики детектирования. В отдельных случаях при работе в пороговой области используют порогопонижающие демодуляторы.

Передающие устройства земных станций отличаются диапазоном рабочих частот, выходной мощностью, типом выходного усилительного элемента, системой охлаждения. От этих показателей существенно зависит конструкция и электрические характеристики передающих устройств. В земных станциях первого класса обычно используют передатчики мощностью 1...3 кВт, а в станциях второго класса мощностью 0,2...0,25 кВт. Как правило все типы передатчиков позволяют осуществлять передачу телевидения, цифровых потоков данных аналоговых и цифровых телефонных каналов с частотным разделением. Обобщенная и упрощенная структурная схема передающего устройства земной станции приведена на рис.8.6.

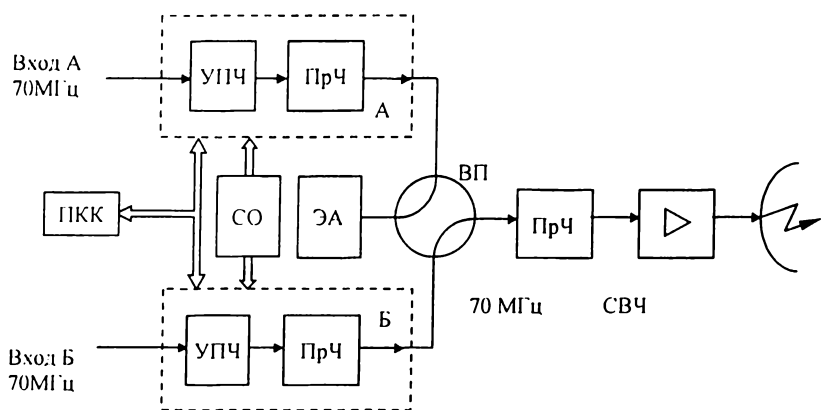


Рис. 8.6

В нее входят два полуккомплекта передатчиков А и Б, общая система охлаждения СО, выходной волноводный переключатель ВП с эквивалентом антенны ЭА и пульт контроля и коммутации ПКК. Каждый из передатчиков включает усилитель промежуточной частоты УПЧ с коррекцией частотных характеристик, преобразователь частоты ПрЧ с частоты 70МГц в диапазон СВЧ; а также не показанные на схеме задающие генераторы, предварительный и мощный усилители, блоки электропитания элементы волноводного тракта с направленными ответвителями для измерения параметров выходного сигнала, блок управления, блокировки и сигнализации. Для большей части электронных узлов предусматривается резервирование.

8.9. Назначение, состав и основные параметры бортовой аппаратуры

Бортовые ретрансляторы устанавливаются на спутниках, используемых в сетях связи. Ретрансляторы осуществляют прием сигналов от передающих земных станций, усиление этих сигналов и передачу сигналов обратно на Землю в направлении земных станций. Поскольку обычно спутники – это многофункциональные устройства с несколькими параллельными стволами передачи и приема, каждый ствол часто образует отдельный ретранслятор. В состав бортовой аппаратуры спутника входят: приемопередающие антенные комплексы, приемопередающее оборудование, а также системы обеспечения теплового режима, ориентации, стабилизации и коррекции положения в пространстве.

В ретрансляторах обычно обеспечивается многостанционный доступ. Большинство ретрансляторов – многоствольные. Как указывалось выше *ствол ретранслятора* – тракт приемопередачи одного или нескольких радиосигналов, являющийся частью общего приемопередающего тракта с общим для этих радиосигналов выходным усилителем мощности. При этом каждому стволу ретранслятора отводится определенная полоса частот (например, 40, 80, 120 МГц), зависящая от объема передаваемой по нему информации и вида модуляции. Число стволов может достигать 20 и более. Радиосигналы стволов могут разделяться по частоте, пространству и поляризации. Число стволов и занимаемая ими суммарная рабочая полоса частот в значительной мере определяют пропускную способность системы связи [8.1].

Выходная мощность передатчика бортового ретранслятора во многом определяет качественные характеристики системы связи. Максимальная мощность ограничена ресурсом источников питания; возможностью отвода тепла во внешнее пространство; долговечностью и надежностью электронных приборов при повышении мощности; невозможностью работы выходных каскадов передатчиков в режиме, близком к режиму насыщения, из-за нелинейных искажений ретранслируемых радиосигналов. Выходная мощность отдельных стволов бортового ретранслятора обычно от нескольких единиц до сотен ватт.

К числу основных параметров ретранслятора обычно относят эффективную мощность излучения. Она выражается в децибел-ваттах (дБВт) и равна произведению мощности передатчика подведенной к антенне, на коэффициент усиления бортовой антенны. Например, в случае ретранслятора с антенной на линии вниз, с коэффициентом усиления около 15,5 дБ при мощности пе-

редатчика 10 дБВт за вычетом потерь в фидере, эффективная мощность составляет $10+15,5=25,5$ дБВт. Если на ретрансляторе установлены несколько передающих антенн или многолучевая антенна, то эффективную излучаемую мощность определяют для каждой антенны или луча. Число лучей также является параметром ретранслятора.

Мощность как первичных источников питания так и потребляемая аппаратурой являются важными параметрами бортовой аппаратуры, так как энергетические возможности на борту спутника ограничены и определяются, как правило, площадью панелей солнечных батарей. Во многих существующих спутниковых системах мощность первичных источников питания имеет порядок 1 кВт.

Важный параметр системы спутниковой связи – срок службы, т.е. время наработки до полного отказа стволов ретранслятора, определяемое с заданной вероятностью. В современных сетях связи срок службы спутника – 7 лет и более. Срок службы геостационарных спутников во многом зависит и от запасов топлива для двигателей, корректирующих орбиту. Аппаратура бортового ретранслятора должна отвечать ряду специфических требований:

1. Быть готовой к длительной эксплуатации в условиях космического пространства, для которого характерны вакуум, невесомость, радиация, отсутствие свободной конвекции, коронные разряды, потеря смазки, воздействие метеоров и др.

2. Иметь при заданных параметрах минимальную массу для снижения стоимости вывода спутника на орбиту.

3. Выдерживать ускорения и вибрации, возникающие при запуске спутника и коррекции траектории.

Эти и другие подобные требования противоречивы и трудновыполнимы. Так трудно реализовать значительную выходную мощность ретранслятора по необходимости минимальных массе и габаритам ретранслятора при больших перепадах температуры и сохранении стабильных параметров аппаратуры. По этим причинам бортовая аппаратура существенно отличается по конструкции от подобной аппаратуры, работающей в наземных условиях. Некоторые особенности этой аппаратуры указаны ниже [8.1]:

1. Во многих спутниках – ретрансляторах основное оборудование размещают в герметичных отсеках с газовой средой, что обеспечивает приемлемые температурные режимы аппаратуры, защищает ее от космических излучений, микрометеоров и т.п. Однако это приводит к увеличению массы спутника, усложнению технологии подготовки его к запуску и существенно возрастает опасность метеоритного поражения с последующей разгерметизацией, что может привести к выходу ретранслятора из строя. В свя-

зи с этим наметилась тенденция к более широкому использованию негерметизированных ретрансляторов.

Диэлектрические детали аппаратуры могут заряжаться в космосе электронами, входящими в состав космических лучей, а также вторичными электронами. При этом разность потенциалов между этими деталями и прилегающими к ним другими элементами конструкции может превышать критические напряжения пробоя или микроразрядов. Электроны с высокой энергией, проникающие извне в блоки ретранслятора, вызывают накопление зарядов на диэлектрических материалах этих блоков. Возникающие при этом разряды генерируют паразитные сигналы непосредственно внутри аппаратуры и не могут быть ослаблены внешними защитными устройствами.

2. В герметизированном отсеке, где размещается основная часть аппаратуры, автоматически поддерживается заданный температурный режим с помощью устройства обеспечения теплового режима. Такая система необходима из-за отсутствия естественной конвекции в космическом пространстве в условиях неравномерного нагревания спутника и отдельных его узлов при освещении Солнцем и полете в тени Земли: перепады температуры составляют от +60 до -150С. Из-за отсутствия конвекции имеет место только теплообмен через излучение.

3. Из-за отсутствия воздушной пленки между соприкасающимися металлическими поверхностями в космосе происходят потеря смазки и увеличение коэффициента трения, поэтому трущиеся поверхности деталей бортовых устройств изготавливают с применением золота, серебра и других ковких металлов, выполняющих в космосе функцию нелетучих смазочных материалов.

4. Радиационное воздействие вызывает изменение свойств металлов и органических материалов.

5. Поскольку ретранслятор необслуживаемый все операции на борту производятся автоматически либо по командам с Земли. Информация о состоянии бортовых систем поступает на Землю по каналу телеметрии.

6. Для ретранслятора характерны специфические системы питания: либо солнечные батареи, либо при нахождении спутника в тени Земли – аккумуляторы. Разрабатываются и другие перспективные источники питания.

8.10. Классификация бортовых ретрансляторов

Бортовые ретрансляторы могут быть разделены на гетеродинные; с однократным преобразованием частоты; с демодуляцией радиосигналов.

Ретрансляторы гетеродинного типа. Этот вид широко распространен на практике. Упрощенная схема ствола такого ретранслятора представлена на рис.8.7. Здесь $f_{\text{пм}}$ и $f_{\text{пд}}$ – частоты приема и передачи, МШУ – малошумящий усилитель радиочастоты, П1 и П2 – преобразователи частоты, УПЧ – усилитель промежуточной частоты, Г1 и Г2 – гетеродины, МВУ – мощный выходной усилитель СВЧ. Усилитель МВУ обычно собирается на ЛБВ, реже – на клистроне.

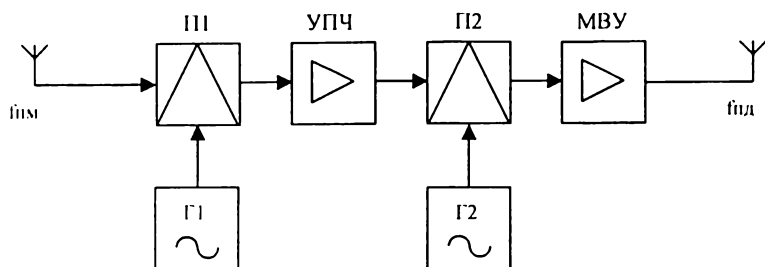


Рис. 8.7

В случае применения общей антенны для приема и передачи примерная схема ретранслятора имеет вид рис.8.8. Здесь УПЧ1 и УПЧ2 – усилители промежуточной частоты, АО – амплитудные ограничители, ПФ – полосовые фильтры. Тракты приема и передачи в этом случае развязываются с помощью поляризационного селектора ПС и фильтров Ф1 и Ф2. Преобразование частот в трактах приема и передачи осуществляется с помощью отдельных гетеродинов Г1, Г2. Разность частот гетеродинов равна величине сдвига частот. Применение общего выходного усилителя ОУ передатчика может сопровождаться возникновением на выходе ОУ значительных комбинационных составляющих со средними частотами вида $(mf_{\text{пд1}} + nf_{\text{пд2}})$, что составляет недостатки подобных структур. На рис.8.8 ПУ – предварительный усилитель, ФВ – ферритовый вентиль.

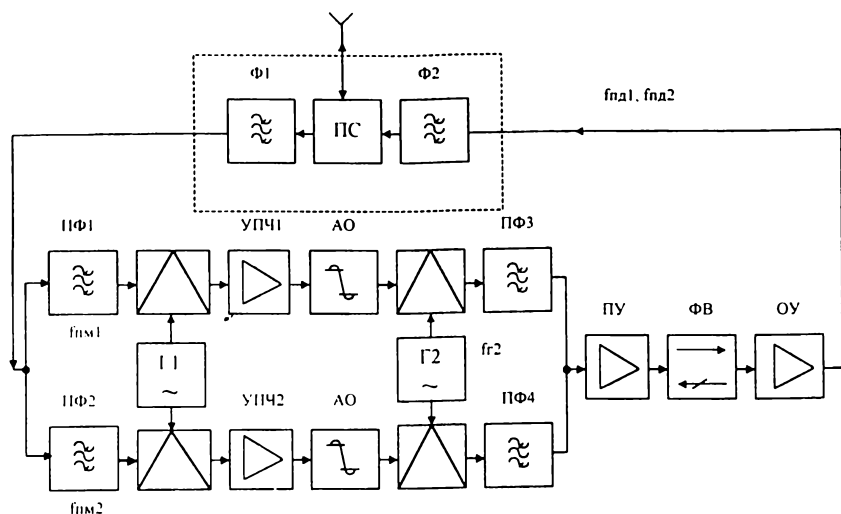


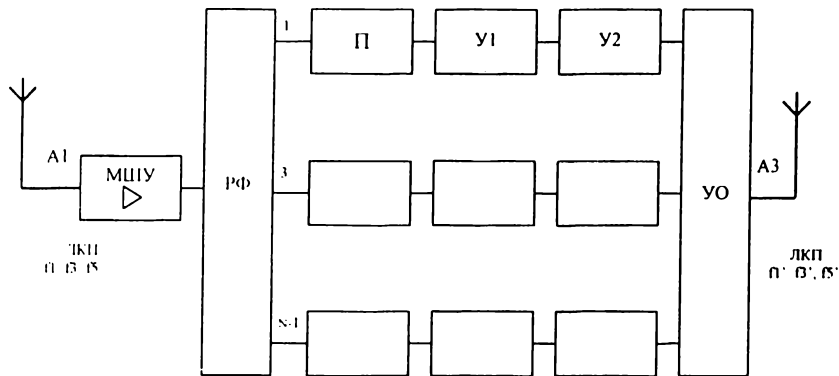
Рис. 8.8

Бортовые ретрансляторы с однократным преобразованием частоты. Такие ретрансляторы часто применяются в последнее время. В этом случае частота принимаемого радиосигнала ствола с частотой $f_{\text{пм}}$ сдвигается на величину $f_{\text{сдв}}$ и преобразуется в передаваемый СВЧ сигнал с частотой

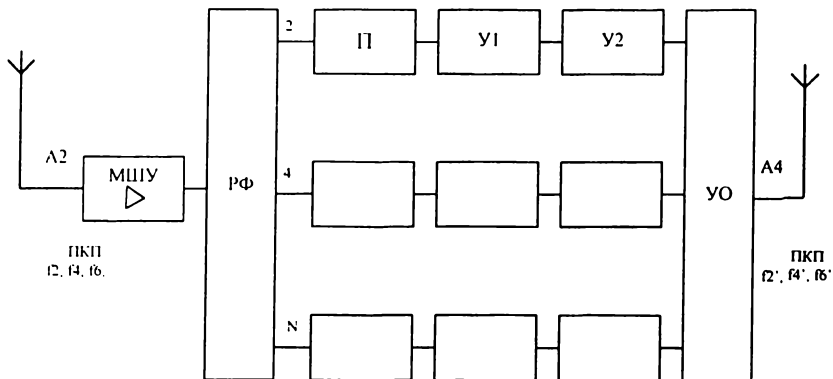
$$f_{\text{пд}} = f_{\text{пм}} \pm f_{\text{сдв}}$$

При этом тракт промежуточной частоты отсутствует, и в каждом стволе осуществляется лишь одно преобразование частоты, а не два, как в гетеродинном ретрансляторе (рис.8.8). Значение частоты сдвига $f_{\text{сдв}}$ зависит от используемых в данной сети радиосвязи полос частот. В широко распространенном случае $f_{\text{пм}}=6$ ГГц, $f_{\text{пд}} = 4$ ГГц, $f_{\text{сдв}} = 2$ ГГц. В других сетях радиосвязи $f_{\text{сдв}}$ может быть другой, например 750 МГц. Распределением усиления между трактами до преобразователя частоты и после него удастся получить устойчивый режим таких ретрансляторов.

Рассмотрим структурную схему многоствольного бортового ретранслятора с однократным преобразованием частоты и однолучевыми антеннами на линиях вверх и вниз. Одна из двух приемных антенн – А1 принимает сигналы нечетных стволов с левой круговой поляризацией ЛКП (рис.8.9,а), а вторая – А2 – сигналы четных стволов с правой круговой поляризацией ПКП (рис.8.9,б). Это позволяет упростить разделение по частоте сигналов соседних стволов. Принятые каждой антенной сигналы усиливаются общими маломощными усилителями МШУ и разделяются фильтрами РФ.



а)



б)

Рис. 8.9

Далее сигналы каждого ствола сдвигаются по частоте в преобразователях П и усиливаются предварительными и окончательными усилителями У1 и У2 на ЛБВ, объединяются в устройстве объединения УО и поступают к соответствующим передающим антеннам А3 и А4. Эти антенны также могут работать с ортогональными поляризациями. Для уменьшения объема оборудования МШУ и П в ряде случаев делают общими для группы стволов и объединяют в общую конструкцию – приемник.

Бортовые ретрансляторы с демодуляцией сигналов на борту. Демодулировать сигнал на борту ретранслятора целесообразно по следующим причинам: необходимость выделения и перестроения на борту многоканальных сообщений перед их отправлением к земной станции; целесообразность изменения ти-
246

па или глубины модуляции на линии вниз по сравнению с линией вверх; осуществление в ретрансляторе регенерации передаваемых с земной станции цифровых сигналов.

При оценке структуры ретранслятора с демодуляцией сигналов следует учитывать, что после запуска спутника невозможно изменить вид модуляции.

Однако подобные сети связи лишены универсальности, присущей сетям с ретрансляторами без демодуляции. Структурная схема такого варианта приведена на рис.8.10 [8.6].

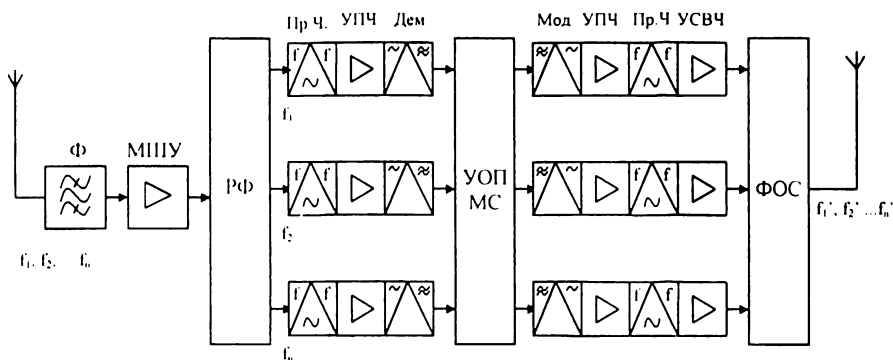


Рис. 8. 10

После фильтра Φ и усилителя принимаемых сигналов МШУ, разделения в цепи РЧ, преобразования в сигналы промежуточной частоты и усиления в УПЧ демодулированные в Дем сигналы поступают на входы устройства обработки и переформирования многоканальных сообщений УОП МС, в котором может осуществляться переформирование многоканальных сигналов, регенерация цифровых сигналов и т.д. Переформирование сигналов на борту целесообразно, если стремятся минимизировать количество оборудования на земной станции за счет усложнения бортового ретранслятора. При этом в передающей части каждой земной станции осуществляется многоадресное формирование стволов: многоканальное сообщение, передаваемое по единственному стволу данной земной станции, включает в себя информацию для различных земных станций. При единственном створе приема на каждой станции, в котором передаются сообщения для данной станции от других земных станций сети необходимо в УОП МС из исходных групповых сигналов сформировать новые, каждый из которых предназначен лишь для одной земной станции. Переформирование многоканального сигнала на борту перспективно для дальнейшего развития спутниковой связи.

8.11. Энергоснабжение в спутниковых системах связи

Энергоснабжение бортовых станций обеспечивает получение электрической энергии, ее распределение и хранение, когда не функционируют первичные источники. Основным средством электроснабжения бортовой аппаратуры служат фотоэлектрические солнечные батареи, основу которых составляют полупроводниковые фотоэлементы. Типовая мощность солнечной батареи на единицу площади от 10 до 110 Вт/м² со средним КПД от 7 до 11 %, в лучших образцах до 15 % (предел – 25 %). Срок жизни солнечной батареи ограничивается метеорной эрозией. Снижение мощности происходит в среднем на 8 % в год. Отношение массы батареи к ее площади составляет 3...13,5 кг/м². Каждый фотоэлемент обеспечивает ЭДС 0,3...0,4 В. Батареи крепят либо на корпусе спутника, либо на специальных откидывающихся панелях [8.1].

Мощность, потребляемая от солнечной батареи $P_{сб}$, складывается из максимальной необходимой мощности для питания оборудования и мощности, необходимой для зарядки аккумуляторов. Для обеспечения мощности $P_{сб}$ площадь поверхности батареи должна равняться отношению $P_{сб}/P_0$, где P_0 – удельная мощность батареи, создаваемая падающей солнечной радиацией к концу ее срока службы. Удельная мощность батареи зависит от точности ее ориентации на Солнце. При нормальной ориентации батарея площадью 1 м² может генерировать до 140 Вт. Обычно ориентировочно полагают $P_0 = 70...100$ Вт/м².

Создание тонкопленочных фотоэлементов путем напыления на фольгу кремния в вакууме арсенида галлия или сульфида кремния с площадью элементов 50...100 см² со слоем вещества 0,025...0,05мм позволяет уменьшить массу батареи. Однако КПД их составляет всего лишь 2...3%, вследствие чего их необходимая площадь увеличивается по сравнению с фотоэлементами из кристаллического кремния. Батареи, ориентированные на Солнце, используют при требуемой мощности больше нескольких сотен ватт, что характерно для многофункциональных спутников и особенно для спутников ТВ вещания. Характеристики солнечных элементов ухудшаются из-за деградации структуры вследствие бомбардировки ее электронами и протонами солнечного ветра. Для защиты солнечных элементов от радиации используется покрытие их кварцем или специальной пленкой с добавкой цезия.

8.12. Бортовые радиопередающие устройства

Главным параметром бортового ретранслятора, определяющим ресурс и характеристики системы связи, является мощность передатчика, максимальное значение которой ограничено рядом факторов: максимальной мощностью источников питания, возможностью отвода рассеянного тепла, снижением долговечности и надежности электронных приборов с повышением мощности, заданными габаритными размерами и массой, регламентированной плотностью потока мощности (не должна превышать 152 дБВт/м^2 в полосе 4 ГГц).

Обычно передатчики бортовых ретрансляторов строятся по схеме типа рис.8.11. Передатчик состоит из преобразователя частоты ПрЧ с генератором Г и мощного выходного усилителя У с необходимыми фильтрами и согласующими цепями СЦ. Обычно передатчики усиливают сигналы в полосе одного ствола, реже – нескольких. Усилитель У потребляет больше всего энергии, занимает самый большой объем и имеет наибольшую массу. В зависимости от назначения,требуемой мощности, диапазона частот, массы и габаритов, КПД, срока службы и т.п. в выходном усилителе применяют различные СВЧ приборы: ЛБВ, клистроны, мощные транзисторы.

Наиболее широко для бортовой техники используют ЛБВ, что объясняется их преимуществами по сравнению с другими приборами: высокий коэффициент усиления, широкополосность, возможность работы в импульсном и непрерывном режимах в широком интервале выходных мощностей, высокий КПД, компактность, малая масса, долговечность (до 20 000 ч) и надежность.

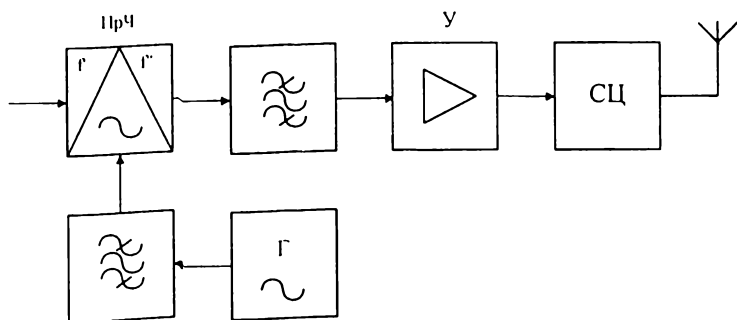


Рис. 8.11

В качестве оконечных усилителей иногда используют также клистроны с выходной мощностью 200...300 Вт. Их применение в бортовых устройствах ограничено из-за их сравнительной узкополосности. К достоинствам их следует отнести большую простоту, меньшее по сравнению с ЛБВ число питающих напряжений, несколько лучший КПД.

Применение в выходных усилителях мощности бортовых ретрансляторов твердотельных приборов связано с успехами в полупроводниковой электронике, позволившими значительно повысить их мощность. Развитие полупроводниковых передатчиков СВЧ для космической связи идет по двум основным направлениям: создание более мощных СВЧ транзисторов; суммирование мощностей полупроводниковых передатчиков. Преимущества твердотельных передатчиков по сравнению с электровакуумными: большая долговечность, меньшее напряжение источника питания, возможность применения технологии полупроводниковых приборов, существенное уменьшение массы и габаритных размеров, а также увеличение КПД, практически мгновенная готовность к работе мощных полупроводниковых приборов. Однако полупроводниковые приборы чувствительны к некоторым видам дестабилизирующих факторов и мощность их ограничена, причем с повышением частоты она уменьшается примерно по закону квадрата частоты; поэтому для существенного увеличения мощности используются специальные цепи сложения мощностей однотипных усилителей.

При суммировании мощностей с помощью многополюсных цепей к специальному устройству подключают большое число однотипных усилителей, выходные сигналы которых поступают в общую нагрузку; при суммировании с помощью фазированных антенных решеток сложение мощностей передатчиков происходит в пространстве от большого числа соответственно ориентированных излучателей, каждый из которых возбуждается от отдельного усилителя. Суммирование в общем резонаторе используется для сложения мощностей СВЧ генераторных диодов, которые располагаются в общем резонаторе. Первым способом удастся повысить мощность передатчика по отношению к мощности одного транзистора на 15...20 дБ, вторым – на 30...40 дБ, третьим – на 10...13 дБ.

Для перечисленных способов суммирования необходимо, чтобы мощность сигнала на выходе устройства сложения была бы равной или близкой к сумме номинальных мощностей $P_{ном}$ отдельных N усилителей; все усилители, мощности которых складываются, должны быть взаимно независимыми, выход из строя любого усилителя не должен влиять на режим работы и мощность других усилителей; при выходе из строя из общего числа m усилителей

мощность в нагрузке должна упасть не более чем на $P_{\text{ном}}/m$. Чаще всего сложение мощностей СВЧ усилителей осуществляют с помощью мостовых цепей, относящихся к классу направленных ответвителей, с попарным сложением сигналов.

8.13. Приемные устройства бортовых ретрансляторов

Задача входных приемных модулей ретрансляторов – обеспечить надежный прием сигналов с малым уровнем. Известно, что чувствительность собственно приемника определяется его собственными шумами, обычно оцениваемыми значением шумовой температуры $T_{\text{пр}}$ [8.5]. Минимальная шумовая температура приемного тракта бортового ретранслятора не может быть меньше эквивалентной шумовой температуры Земли T_3 , поскольку приемные антенны спутника обычно ориентируют в ее сторону. К тому же необходимо учитывать: шумы атмосферы (эквивалентная температура шумов атмосферы $T_{\text{атм}}$, для антенн геостационарных спутников в диапазоне 1...20 ГГц – 2...25 К); космические шумы (эквивалентная температура космических шумов $T_{\text{косм}}$ зависит от области неба, в которую направлена антенна, значения ее на частоте 1 ГГц не превышают 30 К и резко падают с увеличением частоты). Тогда шумовая температура входного приемного устройства бортового ретранслятора $T_6 = T_3 + T_{\text{атм}} + bT_{\text{косм}} + T_{\text{пр}}$, где $b=0,2...0,3$ – коэффициент, определяющий факт приема космических шумов только боковыми лепестками. Обычно $T_6=(5...10)T_{\text{пр}}$. Входные приемные устройства земных станций при использовании малошумящих усилителей имеют шумовую температуру 40...300°С. Соответственно шумовая температура T_6 может находиться в пределах 400...3000 К [8.1].

Наиболее широкое применение в качестве входных блоков бортовых ретрансляторов находят кристаллические преобразователи частоты благодаря их простоте и надежности в работе. В настоящее время в качестве преобразовательных элементов в таких преобразователях используют транзисторы, диоды с барьером Шотки, обычные кремниевые диоды с точечными контактами и иногда туннельные и обращенные диоды. Различают преобразователи однократные и балансные. В балансных преобразователях частоты используют диоды с барьером Шотки, реализующие шумовую температуру не выше 2500 К в диапазонах спутниковой связи до 20 ГГц.

На рис.8.12. приведены упрощенные схемы входных модулей приемников спутников связи и вещания с однократным преобразованием частоты при работе в диапазонах 6/4 ГГц (рис.8.12,а), 14/12 ГГц (рис.8.12,б) и 17/12 ГГц (рис.8.12,в). В этих диапазонах

используют следующие частоты: на линии земля – спутник: 5,925...6,425; 14...14,5 и 17,3...17,8 ГГц; на линии спутник – земля: 3,7...4,2; 11,7 12,2; 12,2...12,7 ГГц [8.1].

При работе в диапазоне 6/4 ГГц (рис.8.12,а) входные сигналы с частотой 6 ГГц усиливаются в двухкаскадном малошумящем усилителе МШУ на арсенид-галлиевых транзисторах и далее преобразуются в сигнал частоты 4 ГГц в кольцевом диодном преобразователе ПрЧ с частотой гетеродина 2,225 ГГц. На выходе ПрЧ включен режекторный фильтр РФ, ПрЧ со стороны входов и выхода развязан не показанными на схеме ферритовыми вентилями. Преобразованный сигнал частоты 4 ГГц усиливается до необходимого уровня двумя усилителями УПЧ-1 и УПЧ-2, каждый из которых состоит из двух каскадов на полевых транзисторах. Усиление первого усилителя – 27 дБ, второго – 25 дБ. Усилитель на 6 ГГц обеспечивает равномерное усиление во всей полосе пропускания порядка 24 дБ. Во всех усилителях на 6 и 4 ГГц имеются не показанные на схеме входные и выходные микрополосковые согласующие цепи, обычно – это двузвенные четвертьволновые трансформаторы, а также межкаскадные ферритовые вентили. Приемник диапазона 6/4 ГГц работает устойчиво в интервале температур от 2 до +55 °С, что обеспечивается специальными цепями термокомпенсации.

Частота гетеродина формируется следующим образом. От опорного кварцевого генератора с частотой 123,611 МГц напряжение подается на умножители частоты, усиливается и фильтруется. Микрополосковые фильтры обеспечивают ослабление побочных каналов приема на 80 дБ по отношению к несущей сигнала. Кварцевый генератор КГ термостатирован, его нестабильность менее $\pm 10^{-6}$ в интервале температур $-7...+35^{\circ}\text{C}$. Мощность гетеродина +6дБм при мощности сигнала на входе преобразователя частоты $-4...-8$ дБм, потери преобразования 6 дБ.

В диапазоне 14/12 ГГц (рис.8.12,б), структурная схема приемника аналогична схеме приемника 6/4 ГГц, однако усилитель на полевых транзисторах состоит из двух транзисторов, соединенных непосредственно для уменьшения размеров, что достигается исключением межкаскадного ферритового вентиля и подбора согласующих цепей. МШУ представляет собой конструктивно оформленный самостоятельный блок, который для повышения чувствительности приемника располагается непосредственно рядом с облучателем антенны. Шумовая температура МШУ – 120...240 К, а усиление – 26...40 дБ. Усилитель УПЧ на 11 ГГц по построению аналогичен УПЧ приемника диапазона 6/4 ГГц, включение в него аттенюатора АТТ на р-и-п диодах позволяет корректировать усиление УПЧ по командам с Земли.

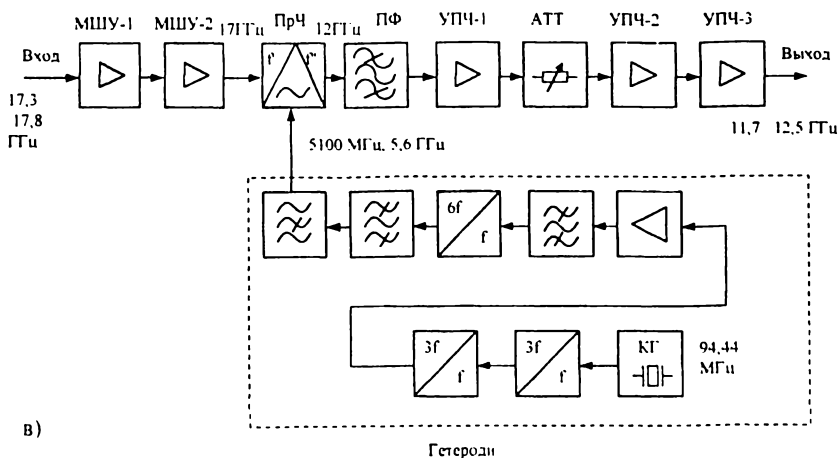
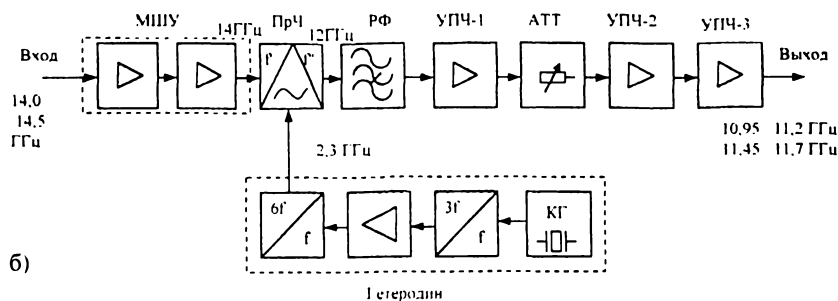
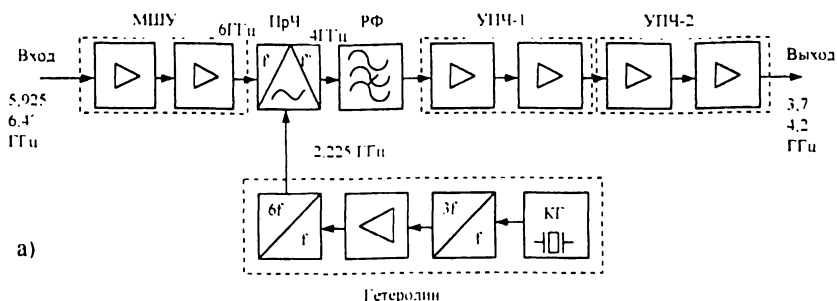


Рис. 8.12

Структурная схема приемника в диапазоне 17/12 ГГц показана на рис.8.12.в. Входные сигналы частоты 17 ГГц проходят через не показанные на схеме волноводно-полосковый переход и микрополосковый ферритовый вентиль на двухкаскадный МШУ-1 на арсенид-галлиевых транзисторах с шумовой температурой

300...350 К при номинальном усилении 15...17 дБ. Далее сигналы поступают через микрополосковый ферритовый вентиль ФВ на второй двухкаскадный транзисторный МШУ-2, идентичный первому, с микрополосковым ФВ на выходе. Сигнал с выхода ПрЧ поступает на семизвенный полосовой фильтр ПФ с полосой ствола 27 МГц, в состав ПФ входит корректор группового времени запаздывания. Усилители УПЧ-1...УПЧ-3 обеспечивают усиление каждого ствола в полосе 11,7 12,5 ГГц.

8.14. Общие сведения и требования к антеннам

Антенны земных станций. В спутниковой связи широкое применение нашли спутники на геостационарной орбите, но применяются и спутники на эллиптической орбите с апогеем около 40000 км. Угол места и азимут геостационарных спутников относительно земной станции должны быть фиксированными. Однако реально они изменяются в пределах от долей до единиц градусов. При эллиптической орбите эти параметры изменяются в широких пределах. В обоих случаях приходится обеспечивать слежение за спутником лучом антенны; для этих целей в составе антенных систем имеются механические приводы и устройства автоматического наведения.

Учитывая, что радиосигнал существенно ослабляется при распространении на трассах между бортовым ретранслятором и земными станциями, антенна должна иметь по возможности высокий коэффициент усиления и, следовательно, большие геометрические размеры. При заданной геометрической площади для получения по возможности большего усиления, необходимо обеспечить равномерное по амплитуде и постоянное по фазе распределение поля в раскрыве антенны. В реальных антеннах эти условия идеально выполнить не возможно, из-за чего реальное усиление антенны G оказывается ниже максимального. Для повышения отношения сигнал/шум в канале связи необходимо не только увеличивать усиление антенны, но и уменьшать суммарную шумовую температуру антенны, антенноволноводного тракта и малошумящего усилителя.

При разработке конструкции антенны учитывают заданные климатические условия, особенно рабочие и предельные скорости ветра, и необходимость защиты от обледенения и т.д. Таким образом антенны земных станций должны обеспечивать возможность наведения луча на спутник, иметь высокий коэффициент усиления и низкую шумовую температуру, обеспечивать необходимое постоянство электрических характеристик, надежную работу и сохранение конструкции в заданных климатических условиях. Антенны

земных станций должны иметь высокую экономическую эффективность, определяемую стоимостью антенны, затратами на ее эксплуатацию, а также обладать большим сроком службы (не менее 10 лет) и возможностью проводить ремонтно-профилактические работы на антенне без перерыва связи.

Преимущественно на земных станциях применяются зеркальные антенны. Диаметр основного зеркала, определяет сложность, стоимость и область применения антенны. Таким образом антенна земной станции состоит из зеркала с облучателем, антенно-волноводного тракта, опорно-поворотного устройства с электросиловым приводом, аппаратуры наведения и автосопровождения источника сигнала.

В развитии систем спутниковой связи и антенн земных станций, работающих в диапазонах 4/6 ГГц и создаваемых для новых диапазонов (11/14 и 20/30 ГГц) наметились следующие основные направления [8.1]:

1. повышение точности удержания спутника на орбите, поскольку при этом становятся более простыми опорно-поворотные устройства антенны, а также обеспечивается в диапазонах 4/6 и 11/14 ГГц точное наведение на спутник качанием контррефлектора;

2. удвоение пропускной способности земной станции на основе поляризационной развязки;

3. оборудование антенны лучеводом – рядом перископических зеркал, передающих сигнал от облучателя до контррефлектора и обратно. При этом появляется возможность разместить приемную и передающую аппаратуру непосредственно у облучателя в неподвижном помещении на уровне земли, что укорачивает антенно-волноводный тракт и тем самым существенно уменьшаются вносимые потери.

Для сохранения параметров антенны при снеге и гололеде искусственно подогревают зеркало и облучатель, для этих целей на задней поверхности зеркала монтируют электронагреватели. Для предохранения антенны от влияния солнечной радиации ее излучающие поверхности покрывают радиопрозрачными диффузионными красками.

Бортовые антенны спутника. К основным требованиям к бортовым антеннам относятся [8.6]:

- излучаемая антенной мощность должна быть сосредоточена только в зоне обслуживания, при этом плотность потока мощности должна быть максимально равномерной в пределах этой зоны;

- требуемые поляризационные характеристики и высокая пространственная избирательность должны сохраняться при изменении параметров спутников, применяемых в сети связи;

- антенны должны иметь малые габариты и массу, выдерживать большие ускорения и вибрации, сохранять работоспособность в условиях глубокого вакуума, при воздействии солнечной и ионизирующей радиаций.

По мере совершенствования систем стабилизации спутников и соответственно с повышением точной ориентации бортовых антенн на заданную зону обслуживания, а также уменьшения ее размеров диаграмма направленности антенны стала сужаться, стали применяться однонаправленные антенны в виде больших парабол или синфазных антенных решеток с большим количеством облучателей. Применение пространственно-временной коммутации сигналов на спутнике привело к появлению новых бортовых антенн с многолучевыми диаграммами направленности, соответствующими форме зоны обслуживания. Принцип действия подобной многолучевой антенны (в данном примере – трехлучевой) поясняется с помощью рис.8.13. На этом рисунке[8.6]: РТР – бортовой ретранслятор, АК – антенный коммутатор, РО – рупорный облучатель, АЛ – антенная линза, З – облучающая зона, ЗО – зона обслуживания. Облучатель РО1, расположенный в фокусе АЛ, формирует сферическую волну, которая проходя через АЛ, преобразуется в плоскую волну, распространяющуюся от АЛ (луч 1) в зону З1 на поверхности земного шара.

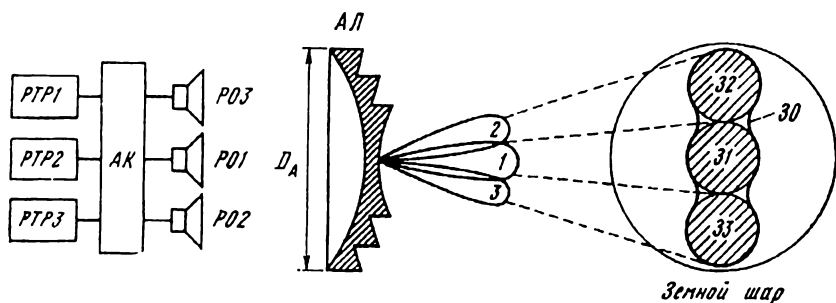


Рис. 8.13

Облучатели РО2 и РО3 несколько смещены относительно РО1, что вызывает соответствующее по величине, но противоположное по направлению смещение лучей 2 и 3 и зон З2 и З3. Линза АЛ уменьшает расфокусировку антенны из-за смещения облучателя относительно фокуса АЛ, и превращает сферическую волну в плоскую. При подключении всех трех РО к одному РТР на поверхности Земли формируется зона обслуживания, аппроксимирующая З1...З3 (см. рис.8.13). Изменением числа и взаимного расположе-

ние РО, формируют диаграмму направленности, соответствующую обслуживаемой территории. Чем больше число облучателей и размеры линзы, тем выше точность аппроксимации и эффективнее использование мощности излучения бортового передатчика.

8.15. Общие принципы построения космических систем телеконтроля и управления

Нормальный режим работы ретранслятора в системе связи обеспечивается специальным командно-измерительным комплексом КИК, контролирующим положение спутника на орбите и его ориентацию относительно центра тяжести. Комплекс КИК определяет траекторию движения спутника, обеспечивает прием от него информации о состоянии бортовых систем и передачу на спутник команд управления [8.6].

Поясним структуру КИК с помощью рис.8.14, из которого видно, что он включает в себя как наземные, так и бортовые радиотехнические средства. На земной поверхности располагается сеть командно-измерительных пунктов КИП, координационно-вычислительный центр КВЦ и центральный пункт управления ЦПУ, которые связаны между собой линиями связи и линиями передачи данных ЛПД. Центр КВЦ – это комплекс ЭВМ, работа которых программируется с ЦПУ. Каждый КИП включает в себя радиотехнические, лазерные и оптические средства для определения параметров движения спутников и обмена информацией с ним. Однако для непрерывного наблюдения за полетом спутника необходим ряд КИП с перекрывающимися зонами радиовидимости. Это связано во-первых с тем, что из-за взаимного движения Земли и спутника весьма ограничено время видимости спутника с одного КИП. Во-вторых, элементы орбиты, определенные радиоизмерениями из одной точки на поверхности Земли, имеют сравнительно низкую точность. В среднем число КИП составляет от 20 до 30, иногда доходит до 80 и более.

В состав КИП обычно входит несколько командно-измерительных станций, выполняющих различные задачи. Одни станции предназначены для обнаружения и наблюдения за неизвестными и "молчащими" спутниками, другие рассчитаны на работу по сигналу бортового радиомаяка спутника. Присутствие на одном КИП несколько одновременно работающих командно-измерительных станций создает взаимные помехи. Для борьбы с ними станции разносят в пространстве, а также используют разнесение рабочих частот, пространственную и временную селекцию сигналов. Предусмотрена привязка работы КИП к системе единого времени.

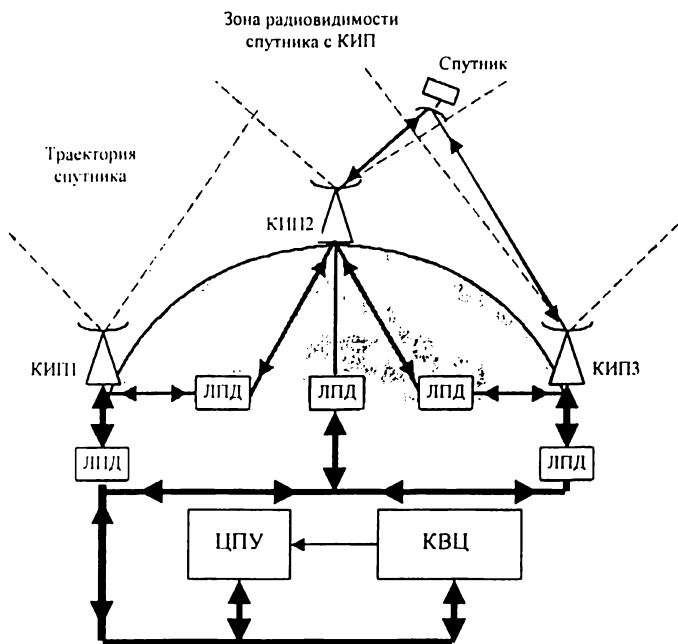


Рис. 8.14

Поскольку спутник удален от КИП, а мощности его бортовых источников питания ограничены, приходится использовать для траекторных измерений автономные бортовые радиомаяки. К тому же используют все известные способы повышения чувствительности приемных устройств [8.5]. Для уменьшения влияния доплеровских сдвигов частоты на качество приема, используют узкополосные следящие фильтры с их программным управлением. В космических командно-измерительных системах как правило совмещают систему траекторных измерений с телевизионной и телеметрическими системами, системой командного управления и средствами связи, что позволяет более рационально использовать на спутнике и КИП общие блоки. Однако при этом ограничивается выбор методов модуляции в каналах различных систем, позволяющие осуществить разделение информации.

Системы наведения антенн на спутник [8.4]. Применение на земных станциях остронаправленных антенн с максимальным усилением обуславливает точное наведение антенн на спутник и автоматическое слежение за его перемещениями по орбите.

Первоначальный поиск и наведение антенны на спутник могут осуществляться вручную или с помощью устройства программного наведения, которое вырабатывает команды управления азимутальным и угломестным приводам на основе исходных данных об орбите и траектории движения спутника. Расчет текущих значений азимута и угла места антенны, осуществляется либо автономно на земной станции, либо централизованно на вычислительном центре всей системы. Существенно усовершенствовать аппаратуру автоматического управления удастся использованием так называемого экстремального автомата. Этот автомат измеряет уровень сигнала, позволяющим обнаруживать уход спутника из диаграммы направленности антенны. Через заданные интервалы времени (5...20 мин) он подает команды на включение электросилового привода для единичных перемещений вначале по одной, а затем по другой координате. Сравнивая уровень сигнала, принятого после единичного перемещения, с первоначальным уровнем экстремальный автомат определяет направление необходимого перемещения антенны, таким образом осуществляется поиск экстремума диаграммы направленности. После нахождения экстремума автомат отключает привод, и затем цикл повторяется. Для повышения точности наведения антенн используют моноимпульсный метод или более широко известный метод конического сканирования [8.4].

8.16. Примеры систем спутниковой связи

Система "Интелсат" Через спутники этой системы передается около 2/3 международного телефонного трафика и производится почти весь ТВ обмен. Основные технические параметры земных станций системы "Интелсат" приведены в табл. 8.1 [8.1]: стандарты земных станций А и В – для диапазона 6/4 ГГц, а С – для диапазона 14/11 ГГц.

В системе применялись спутники "Интелсат IV" и "Интелсат IV А", а с конца 1980 г – "Интелсат V" Позже разработаны и введены в эксплуатацию спутники новых поколений "Интелсат VI", "Интелсат VII" Разрабатываются пять спутников следующего поколения "Интелсат VIII" Пропускная способность одного спутника "Интелсат IV А" составляет около 6000 дуплексных ТЛФ каналов и две телевизионные программы; "Интелсат V" – 12000 ТЛФ каналов и две телевизионные программы; "Интелсат VI" – 35000 каналов и три телевизионные программы. На спутнике "Интелсат IV" и "Интелсат IV А" используют только диапазон 6/4 ГГц, при этом на "Ин-

телсат IV A" применяется повторное использование частот за счет пространственного разделения восточного и западного лучей антенной системы. На "Интелсат V" и "Интелсат VI" с целью увеличения его пропускной способности кроме диапазона 6/4 ГГц применен диапазон 14/11 ГГц, а также метод повторного использования частот за счет ортогональной поляризации.

Таблица 8.1

Параметр	Значение параметра для стандарта земной станции		
	A	B	C
Отношение усиления антенны к шумовой температуре на входе облучателя G/T, дБ/К	$>40,7+20\log(f/4)$ при углах места выше 5° ; f – частота приема, ГГц	$>31,7+20\log(f/4)$ при углах места выше 5° ; f – частота приема, ГГц	$>41,0+20\log(f/11,2)$ при углах места выше 10° и ясном небе; f – частота приема, ГГц
Коэффициент усиления антенны, дБ (в скобках указан диаметр антенны)	≥ 57 на 4 ГГц ($\varnothing \approx 26...30$ м) ≥ 60 на 5 ГГц	≥ 50 на 4 ГГц ($\varnothing \approx 11...13$ м) $\geq 53,2$ на 6 ГГц	$\geq 64,2$ на 11,2 ГГц ($\varnothing \approx 18$ м) 66,3 на 14 ГГц
Поляризация	Вращающаяся	Вращающаяся	Вращающаяся и линейная
Рабочий диапазон, ГГц передача прием	5,925...6,425 3,7...4,2	5,925...6,425 3,7...4,2	14...14,5 10,95...11,2 11,45...11,7

К настоящему времени в системах типа "Интелсат" для передачи сигналов телефонии применяется МДЧР в двух вариантах: передача на одной несущей с ЧМ группы стандартных разделенных по частоте телефонных каналов и передача на одной несущей частоте одного телефонного канала (ОКН). При передаче телефонных сообщений методом ОКН используются аналогоцифровое преобразование сигнала канала тональной частоты методом ИКМ и фазовая манипуляция несущей. В трех стволах организована работа в режиме МДВР со скоростью 120,832 Мбит/с, пропускная способность ствола при цифровой интерполяции речи – 1500 дуплексных телефонных каналов.

Российская система "Орбита-2" Эта система имеет следующие основные характеристики [8.1]: несущая частота сигнала на участка спутник-Земля 3875 МГц; спутники – "Молния-3", геостационарные "Радуга" и "Горизонт"; плотность потока мощности, создаваемая спутником у поверхности Земли – не менее $2,5 \cdot 10^{-14}$

Вт/м² (-136 дБВт/м²). Ствол спутника "Радуга" и "Горизонт" с указанной выше частотой работает на направленную антенну (раскрыв диаграммы направленности 9x18°), ствол спутника "Молния-3" работает на глобальную антенну (17x17°), но благодаря более высокой мощности бортового передатчика (40 Вт) создается необходимая для работы станций "Орбита" плотность потока мощности сигнала у поверхности Земли. Вид модуляции – частотная; пиковая девиация частоты несущей ±15 МГц. Передача звукового сигнала телевидения – на поднесущей частоте 7 МГц с девиацией частоты ±150 кГц, девиация несущей сигналом поднесущей примерно до +1,5 МГц. На поднесущих частотах 7,5 и 8,2 МГц передаются сигналы звукового вещания, изображения газетных полос. Предусмотрена также возможность передачи сигнала звукового сопровождения ТВ передач или звукового вещания путем временного уплотнения видеосигнала. Качественные показатели ТВ канала, создаваемого системой "Орбита-2" в основном соответствует рекомендациям МСЭ-Р для магистрального канала передачи ТВ программ. Земные приемные станции системы "Орбита-2" – крупные сооружения. Антенна станции типа ТНА-57 с параболическим отражателем диаметром 12 м выполнена по двухзеркальной схеме, установлена на полноповоротном опорно-поворотном устройстве. Приемный модуль содержит на входе малошумящий охлаждаемый параметрический усилитель. Коэффициент усиления антенны G=52 дБ. Имеются ЗС с антенной до 25 м.

8.17. Системы низкоорбитальной спутниковой связи

Общие сведения. В последнее время активно развиваются системы связи на базе низкоорбитальных космических аппаратов. Подобные системы спутниковой связи строятся с помощью спутников, размещаемых на круговых орбитах с наклоном 0...90° относительно экваториальной плоскости с высотой орбиты (расстояние от спутника до проекции его на поверхность Земли) от 500...700 км до 2000 км. На орбитах высотой менее 500 км плотность атмосферы относительно высока, из-за чего происходит постепенное снижение высоты, а следовательно, для сохранения заданной орбиты необходимо увеличивать частоту маневров, что повышает расход топлива. К тому же снижение высоты орбиты уменьшает зону радиовидимости на Земле, что требует увеличения количества спутников для глобального охвата. Для обеспечения глобальной связи с непрерывным обслуживанием, число спутников в орбитальной группировке должно быть не менее 48. Период обращения спутни-

ка на этих орбитах составляет от 90 мин до 2 ч, максимальное время его пребывания в зоне радиовидимости не превышает 10...15 мин.

Наибольшее применение получили системы низкоорбитальной спутниковой связи с круговыми квазиполярными орбитами с наклоном 80...90°. В интересах передачи информации для широкого круга пользователей подобные системы стали осваивать с середины 90-х годов.

Системы низкоорбитальной спутниковой связи обладают значительными преимуществами по энергетическим характеристикам, но проигрывают в продолжительности сеансов связи и времени активного сосуществования космического аппарата. При периоде обращения спутника 100 мин, в среднем 30% времени он находится на теневой стороне Земли. Поэтому аккумуляторные батареи на его борту требуют приблизительно 5000 циклов зарядки/разрядки в год. Вследствие этого срок их службы, как правило, не превышает 5–8 лет.

Длительная работа электронной бортовой аппаратуры на орбитах выше 2000 км (в первом радиационном поясе Ван Аллена) затруднена без использования специальных методов защиты от радиационного излучения, что ведет к существенному усложнению бортовой аппаратуры и увеличению массы спутника. Масса спутников до 500 кг. Охват большой территории Земли обеспечивается несколькими плоскостями орбит. В системе предусматривается одна или несколько станций управления спутниками и сетью связи, а также шлюзовые станции для интерфейса с сетями телефонии общего пользования.

Низкоорбитальные системы обеспечивают персональную связь, включая радиотелефонный обмен и связь с подвижными объектами, с использованием сравнительно дешевых, малогабаритных земных терминалов, уровень сложности которых соизмерим с уровнем станций наземных сотовых систем связи. Поскольку дальность радиолинии "низкоорбитальный спутник – земная станция" в 20–50 раз меньше радиолинии "геостационарный спутник земная станция" упрощается создание многолучевых направленных антенн; излучаемая мощность снижается на 26...30 дБ. Однако при этом усложняется управление группировкой таких спутников и поддержание непрерывности связи. Низкоорбитальные системы на приполярных (квазиполярных) орбитах обеспечивают глобальную связь в полярных широтах и особенно в регионах со слабо развитой инфраструктурой связи и низкой плотностью населения.

Каналы связи для подвижной связи при использовании низкоорбитальных спутников значительно дешевле каналов обеспе-

чиваемых системами на геостационарных спутниках за счет сравнительно дешевых абонентских станций и простого (менее сложного) оборудования космического сегмента. Отметим также высокую живучесть системы при выходе из строя отдельных спутников. Реализация низкоорбитальных систем связи стала возможной благодаря последним достижениям в области вычислительных средств и системотехники.

Системы низкоорбитальной спутниковой связи можно разделить на три группы, отличающиеся набором предоставляемых услуг и сложностью технической реализации: системы пакетной передачи данных, системы радиотелефонной связи и системы высокоскоростной передачи данных.

Системы первой группы, как правило, обеспечивают передачу любых данных в любом виде с небольшими скоростями (от единиц бод до десятков Кбод). В подобных системах допускается использование спутников без коррекции положения на орбите (без двигательных установок на спутнике) с простейшей гравитационной системой ориентации. Поскольку подобные системы работают в УКВ диапазоне частот (130...400 МГц), на спутнике и в земных станциях возможно применение слабонаправленных антенн с коэффициентом усиления 0...3 дБ и передатчиком мощностью 2...10 Вт. Все это даёт возможность снизить вес спутника до 200...500 кг и сделать его сравнительно простым. При этом региональные земные станции как стационарные, так и перевозимые удешевляются и допускают неквалифицированное обслуживание. К системам пакетной передачи данных относятся "Orbcom" "Starsys", "Leosat", "Leocom-Spes", "Гонец", "СПС-Спутник" и др.

Вторая группа низкоорбитальных систем радиотелефонной связи обеспечивает передачу речевых сообщений с использованием персональных радиотелефонов с непрерывным обслуживанием абонентов в реальном масштабе времени. Для подобных систем связи характерны: стабилизированные на орбите спутники с трехосной системой ориентации и двигательными установками; увеличение числа радиотелефонных каналов на один спутник и связанное с этим расширение полос частот, что обусловило переход на более высокие диапазоны частоты (более 1.5 ГГц); непрерывность связи требует большого количества региональных станций с дорогим коммуникационным оборудованием. По этим причинам низкоорбитальные системы радиотелефонной связи более дорогие, чем системы пакетной передачи данных. К системам радиотелефонной связи относятся система "Иридиум" "Глобалстар", "Одиссей" в США, "Гонец-Р" "Курьер", "Сигнал" "Коскон" в России.

К системам третьей группы относятся "спутниковые системы второго поколения" Такие системы способны предоставить пользователям комплекс услуг высокоскоростной передачи данных и доступа к широкополосным интерактивным услугам мультимедиа, аналогичные услугам наземных широкополосных сетей на основе волоконно-оптических линий связи. К данным системам относятся "Skybridge" ("Alcatel" Франция), "Celestry" ("Motorola" США), и "Teledesic" (США).

Низкоорбитальные системы спутниковой связи по сравнению с геостационарными более эффективно расходуют частотный ресурс из-за многократного повторного использования полос радиочастот, абонентские терминалы в подобных системах связи соизмеримы с переносными телефонами наземных сотовых сетей связи, небольшое расстояние до спутников существенно снижает задержку сигналов в радиоканале.

Организация связи в системе. Отличительной особенностью систем низкоорбитальной спутниковой связи является наличие двух типов каналов: информационных, по которым передается коммерческая (оплачиваемая) информация и маркерных, по которым передается адресная информация о времени работы абонента, о частоте связи и т.д. В общем случае система низкоорбитальной спутниковой связи [8.7, 8.8] состоит из наземного и космического сегментов. Космический сегмент, как правило, включает в себя несколько десятков спутников (космических аппаратов), запускаемых в нескольких плоскостях по несколько спутников на наклонные орбиты. Число спутников и углы наклона зависят от типа космической системы связи. Земной сегмент включает в себя, как правило, абонентские терминалы; шлюзовые станции; сегменты управления системой и управления связью, сегмент запуска. Земные сегменты различных систем низкоорбитальной спутниковой связи имеют свою специфику.

При движении спутника по орбите передвигается его зона радиовидимости по поверхности земли (рис.8.15). Если абоненты находятся в зоне радиовидимости одного спутника, то обмен информацией производится в реальном масштабе времени. При этом возможен прямой непосредственный телефонный обмен. Если отправитель и получатель информации не находятся одновременно в зоне радиовидимости спутника информация может передаваться в режиме "электронной почты" Информация, полученная от отправителя, в начале запоминается и хранится в памяти спутника и затем передается получателю при его попадании в зону радиовидимости движущегося спутника.

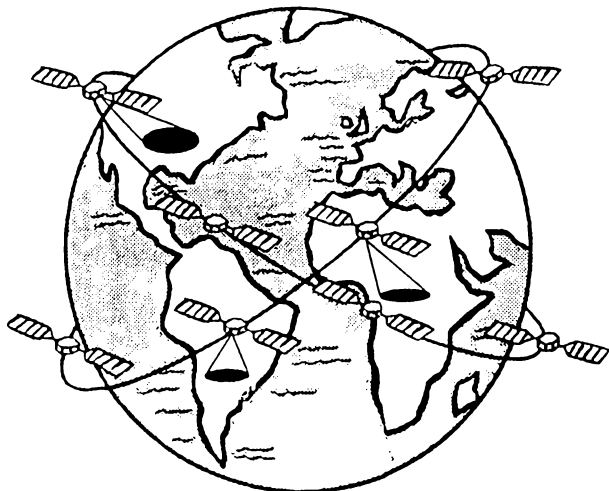


Рис. 8.15

Если каждый из двух абонентов находится в зоне радиовидимости "своего" спутника, то между ними радиотелефонная связь в реальном масштабе времени может быть установлена двумя путями. При первом вызывающий абонент связывается с "видимым" для него спутником, который через наземную шлюзовую станцию подсоединяет вызов либо к телефонной сети общего пользования, либо к другой шлюзовой станции, которая в свою очередь передает сигнал на спутник, находящийся в зоне радиовидимости вызываемого абонента. Далее сигнал со спутника направляется к адресату (рис.8.16, а). Таким образом осуществляется связь в системе "Глобалстар" Второй путь характерен для систем с межспутниковыми радиолиниями (например, система "Иридиум"). В такой системе сигнал от абонента 1 к абоненту 2 проходит от одного спутника к другому, находящемуся в зоне видимости абонента 2 (рис.8.16, б).

Для организации доступа пользователя в систему связи предусматриваются каналы синхронизации, по которым из космоса на землю передаются маркерные сигналы, оповещающие земные терминалы о факте нахождения данного спутника в зоне радиовидимости, а также информирующие абонентов об ограничении по режимам работы, частотным ресурсам и т.д., синхросигналы в основном для формирования в земных терминалах кадровой развертки запросного канала "Земля-Борт" ответно-запросная и технологическая информация для абонентов, в которую входит адресная информация, информация о виде обслуживания, объем сообщения и т.д.

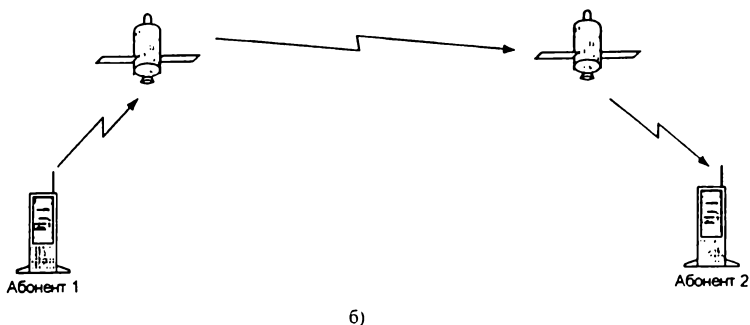
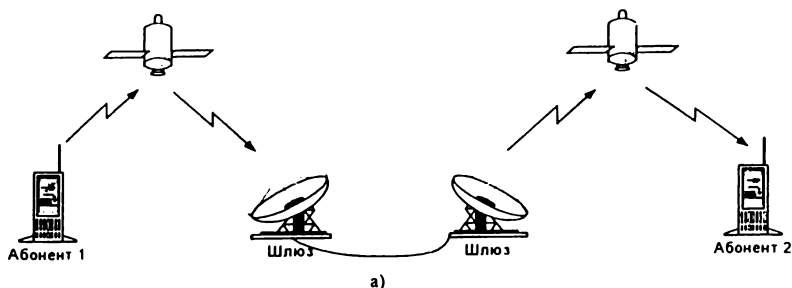


Рис. 8.16

Передача сообщений по информационным каналам производится либо в режиме передачи коротких пакетов, либо в режиме выделенных каналов и передачи длинных сообщений, либо в групповом режиме, или в режиме телефона. Передача коротких информационных пакетов осуществляется непосредственно без передачи предварительного запроса по каналу синхронизации, поэтому передачу запросных сигналов и коротких пакетов целесообразно осуществлять с помощью одних и тех же устройств. Многоканальный бортовой ретрансляционный комплекс обуславливает многократное использование частот на спутнике.

Существуют схемы "открытого" и "закрытого" типа, в системах "закрытого" типа абоненту необходимо в целях засекречивания сообщить на борт спутника код своей станции. Засекречивание передаваемой информации может обеспечиваться либо средствами системы, либо самих пользователей.

Организация индивидуального сеанса передачи данных осуществляется следующим образом. Включенный абонентский терминал ожидает появления спутника в зоне гарантированной радиовидимости. После приема со спутника маркерного сигнала терминал передает сигнал запроса о предоставлении канала для

заданного режима. По получении со спутника сигнала о разрешении на связь абонентский терминал уточняет дальность, выставляет временные развертки информационного канала и затем передает сообщение. При передаче короткого сообщения, терминал после приема маркерного сигнала, непосредственно передает сообщение без сигнала запроса. Необходимая технологическая информация о частотных ресурсах содержится в информационной части маркерного сигнала. При отсутствии подтверждения от бортового ретрансляционного комплекса терминалом производится повторная передача. При пролете над регионом расположения адресата спутник сбрасывает в автоматическом режиме предназначенные для абонента сообщения.

При большом числе активных абонентов в регионе, повысить пропускную способность системы в регионе и в целом возможно за счет сокращения времени обслуживания каждого абонента. При обслуживании достаточно большого числа однотипных абонентских терминалов, в том числе и размещенных в относительной близости, адресная и другая служебная информация оказывается достаточно общей для абонентов. Поэтому для повышения эффективности использования сеансного времени в этом случае целесообразна передача общей служебной информации одновременно для всех получателей [8.8].

Управление связью в групповых сеансах осуществляется региональными станциями. При вхождении спутника в зону гарантированной радиовидимости всех абонентов определенной группы, региональная станция инициирует передачу со спутника признака группового обслуживания данной группы, общей служебной информации и начала сеанса. После этого абоненты данной группы проводят обмен со спутниками данными в отведенных для каждого временных интервалах.

Для установки радиотелефонной связи абонент проводит предварительный анализ и выбирает один из спутников, находящихся в зоне его радиовидимости, и посылает на выбранный спутник запросный сигнал с номером адресата. При получении запроса от адресата спутник анализирует, находится ли связываемый абонент в зоне его радиовидимости, и если это так, то спутник сообщает абонентам время начала связи и максимальную длительность переговоров. Если абонент не находится в зоне уверенной связи спутника, то ему передается сообщение о возможности связи только в режиме передачи данных.

Каждый абонентский терминал регистрируется в национальной шлюзовой станции, ему присваивается кодовый номер и уточняется первоначальное территориальное размещение. Банк дан-

ных кодовых номеров абонентов каждой национальной шлюзовой станции содержит также данные о всех задействованных в системе шлюзовых станциях. При необходимости предусмотрен обмен банками данных между национальными шлюзовыми станциями. Обобщенный банк данных о пользовательских терминалах содержится в сегменте управления связью.

Управление орбитальной группировкой осуществляется станциями управления, которые уточняют положение на орбите каждого спутника; контролируют его состояние и запуски; проводят необходимые тестовые проверки; выводят спутник из состава орбитальной группировки. Указанные функции управления реализуются на основе командной и телеметрической информации каждого спутника орбитальной группировки. Управление системой осуществляется территориально разнесенными основными и резервными станциями. Сегмент управления связью осуществляет анализ, контроль и управление связью, в том числе шлюзовыми станциями. В нормальных условиях работы орбитальной группировки функционирование шлюзовых станций и пользовательских терминалов осуществляется автономно. В случае повышения нагрузки сверх предусмотренной, выхода из строя спутника орбитальной группировки, выхода из строя элементов шлюзовой станции, сегмент управления выдает ей инструкции для поддержания качества связи, в особых случаях предусматривается возможность реконфигурации сети.

Таким образом, принцип работы системы связи на низкоорбитальных спутниках можно сформулировать следующим образом: в момент соединения радиотелефона с ближайшим к нему спутником через наземную станцию сопряжения системы автоматически определяется его местонахождение. В зависимости от его совместимости и загруженности альтернативных систем связи выбирают средства связи, которые будут использованы для передачи сигнала: система спутниковой связи или сотовая телефония. При невозможности использования местной системы сотовой связи радиотелефон выходит на прямую связь с ближайшим спутником. Затем сигнал передается с одного спутника на другой до тех пор, пока он не будет принят радиотелефоном вызываемого абонента или земной станцией. Земная станция соединит спутниковую сеть с наземными инфраструктурами.

Помимо радиотелефонной связи и передачи данных в режиме электронной почты низкоорбитальные системы спутниковой связи предоставляют абонентам услугу по определению местоположения пользователя. Терминал абонента способен оценивать свое местоположение, анализируя сигналы, приходящие от разных спутников.

Терминал обрабатывает информацию, определяет задержку сигналов, пришедших от различных спутников, и вычисляет свое местоположение. Низкоорбитальные системы предоставляют также услугу персонального радиовызова. Абонент, имея в наличии пейджер, общается на станцию управления связью в каких зонах он может находиться. В эти зоны система будет передавать на его пейджер информацию. Проиллюстрируем построение систем низкоорбитальной спутниковой связи на нескольких конкретных примерах.

Российская система низкоорбитальной спутниковой связи "Гонец". Эта система предназначена для обеспечения персональной связи с пакетной передачей данных в глобальном масштабе между подвижными и стационарными абонентами. Система "Гонец" использует 45 спутников-ретрансляторов, вращающихся на орбитах высотой 1400 км (5 плоскостей по 9 спутников). Система обеспечивает прием и передачу любой цифровой информации (речь, факсы, телексы, графические изображения и др.). Земные терминалы – малогабаритные, переносные, быстро разворачиваемые, не требуют сложного обслуживания; предусмотрена работа в автоматическом режиме. Система "Гонец" осуществляет радиотелефонный обмен между абонентами и их глобальный персональный вызов; передачу любых данных в цифровой форме; сбор телеметрической информации с любых датчиков; определение местоположения подвижных объектов. Из технических соображений для использования в радиолиниях "Земля-Космос" (полоса 312...315 МГц) и "Космос-Земля" (полоса радиочастот 387...390 МГц) выбран диапазон 0,2...0,4 ГГц. В системе "Гонец" применяется частотно-временное разделение каналов, при этом на каждом космическом аппарате используется несколько частот, на каждой из которых передается несколько уплотненных каналов в режиме МДВУ

В состав системы входят (рис.8.17): космический сегмент, состоящий из малых космических аппаратов, размещенных на низкой околоземной орбите; земной сегмент, включающий сеть абонентских терминалов различного класса АТ и региональных станций, а также центр управления системой.

Бортовые ретрансляционные комплексы БРК каждого спутника ИСЗ осуществляют ретрансляцию информационных сообщений между абонентами, а также передачу служебной и телеметрической информации в центр управления системой. При этом в БРК производится полная обработка принимаемой информации с демодуляцией сигналов и хранением её в бортовом запоминающем устройстве. В зависимости от типа земных терминалов сообщения передаются со скоростью, которая может изменяться в пределах

от 64 кбит/с до 2,4 кбит/с. Работа БРК на прием и на передачу осуществляется через антенны с широкополосными диаграммами направленности, что позволяет исключить режим их наведения; при этом упрощается организация связи в системе в целом. Для обеспечения минимального использования энергетических ресурсов БРК предусмотрено регулирование излучаемой мощности бортовых передатчиков. Управление бортовой аппаратурой осуществляет бортовой комплекс управления БКУ

Земной сегмент системы "Гонец" включает в себя абонентские терминалы АТ трех типов в зависимости от требования потребителей. Для обеспечения прямого доступа абонентов к каналам предназначаются малогабаритные носимые абонентские терминалы АТ-М (рис.8.17) с простыми антеннами малых габаритов, работающие либо на основе встроенной операционной системы с памятью, либо сопрягающиеся с ПЭВМ. Вес АТ-М 1-3 кг. Стационарные терминалы АТ-С имеют антенны больших размеров, включают ПЭВМ, обеспечивают передачу пакетных данных со скоростью 9,6 кбит/с. Мощность передатчика АТ-С 5...10 Вт, масса до 6 кг. Питание от аккумулятора или стационарной сети переменного тока. АТ-С обеспечивает прямой автоматизированный доступ к спутнику по цепи "абонент-компьютер" или концентрирует информацию, поступающую в АТ-С через наземные линии связи.

Третий тип земных станций – региональные станции (РС) – передают большие объемы цифровой связной и управленческой информации со скоростью до 64 кбит/с. РС работает в диапазонах 300/400 МГц и 1,5/1,6 ГГц на небольшие направленные антенны, масса РС – 50 кг. Часть РС, обозначенные на схеме рис.8.17 как центры управления регистрацией сообщений – ЦУР, осуществляют переретрансляцию информации от спутника для ускорения её доставки к абоненту. Система может совмещаться с существующими национальными телефонными сетями НТС. Также земной сегмент может включать в себя передвижные абонентские терминалы АТ-П, размещаемые на транспортных средствах, и пейджеры П.

Абоненты системы "Гонец" с помощью клавиатуры только вводят информацию в память терминала и далее весь процесс связи осуществляется автоматически. При поступлении со спутника сигнала управления между ним и АТ устанавливается канал связи, по которому передается вся подготовленная информация с адресом доставки сообщения. Состоявшийся сеанс связи подтверждается квитанцией.

Центр управления системой (ЦУС) предназначен для обеспечения эксплуатации спутниковой системы связи: планирования и координации работ по развертыванию системы и восполнению

орбитальной группировки спутников, планирование элементов системы связи, приема и анализа телеметрической и командно-программной информации на спутник, оценку качества каналов связи и др.. Для решения этих задач в состав ЦУС входят: вычислительный центр (ВЦ), центр связи ЦС, командно-измерительная система, администрация.

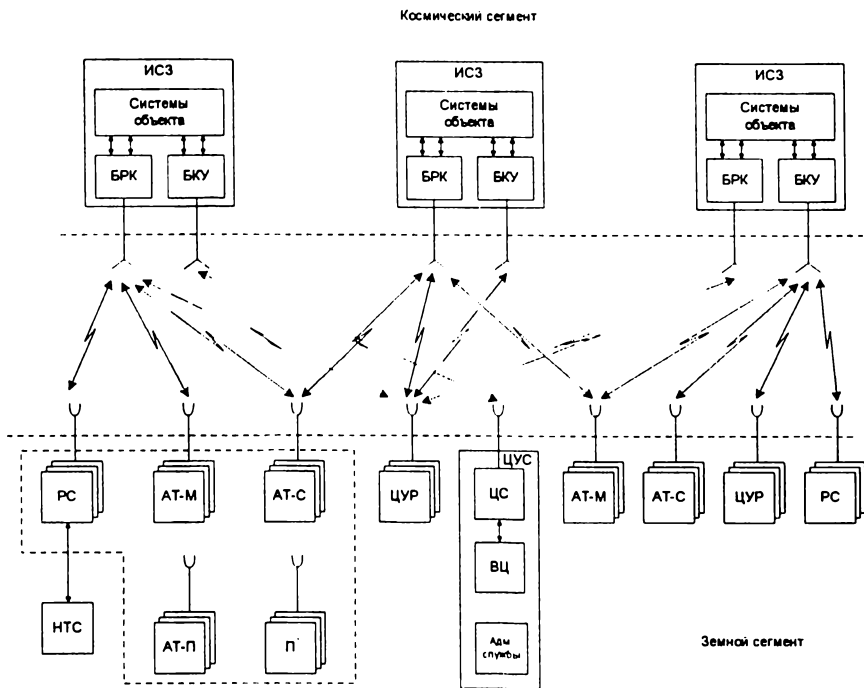


Рис. 8.17

Система низкоорбитальной спутниковой связи "Иридиум". Система "Иридиум" (США) обеспечивает глобальную персональную связь по принципу "каждый с каждым". Эта система предоставляет следующие виды связи: дуплексную телефонную связь, передачу данных, факс. Основные виды услуг: связь абонентов, оснащенных персональными терминалами либо между собой, либо с абонентами национальной сети телефонной связи и наоборот; определение местоположения абонента. Пользователю предоставляются терминалы: носимый, переносной (для офисов), мобильный (для автотранспортных средств), авиа и морской, а также пейджер. Время установления связи не превышает 2 с. Масса носимых терминалов не превышает 700 г., масса и габарит-

ные размеры переносных (для офисов), мобильных, авиа и морских терминалов идентичны весу мобильных терминалов наземной системы сотовой связи (2,5 кг).

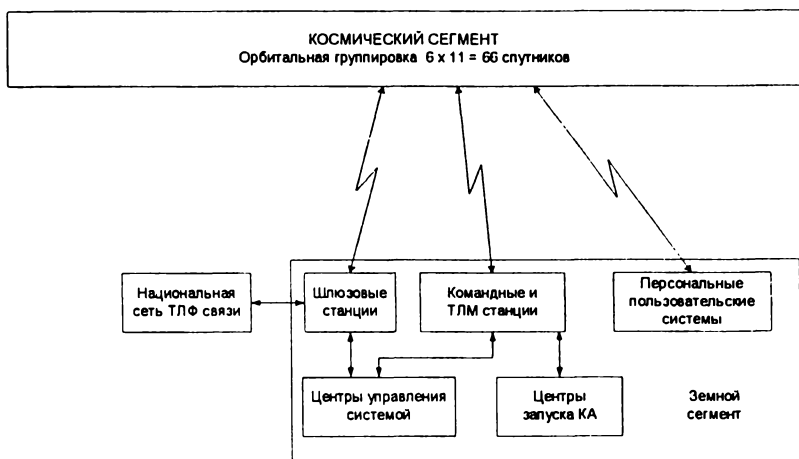


Рис. 8.18

Структурная схема "Иридиум" показана на рис. 8.18. Космический сегмент включает 66 спутников, распределенных в шести плоскостях квазиполярной круговой орбиты, в каждой плоскости предполагалось разместить по одному резервному спутнику. Высота орбиты 780 км, период обращения по орбите – 100 мин 28 с, масса спутника 700 кг. Связь осуществляется на частотах: на радиолинии "спутник-абонент" и "абонент-спутник" в диапазоне 1616...1626,5 МГц; "спутник-шлюзовая станция" в диапазоне 19,4...19,6 ГГц; "шлюзовая станция-спутник" в диапазоне 29,1...29,3 ГГц; "спутник-спутник" в диапазоне 23,18...23,38 ГГц; командная и телеметрическая: "земля-спутник" в диапазоне 29,1...29,3 ГГц, "спутник-земля" в диапазоне 19,6 ГГц.

Любой спутник из орбитальной группировки формирует с помощью шести антенных фазированных решеток 48 лучей, каждый из этих лучей освещает на поверхности Земли зону (соту) диаметром примерно 640 км. В результате все 48 лучей создают на поверхности Земли зону радиовидимости примерно 4500 км. В целом же вся орбитальная спутниковая группировка освещает практически всю поверхность Земли. Каждый спутник осуществляет программное сканирование лучей на соты. При нахождении абонента в зоне радиовидимости луча (в соте) осуществляется передача от абонента и прием абонентом в соответствии с установленными 272

интервалами времени приема и передачи. Благодаря использованию многолучевых антенн и сотовой структуры обслуживаемой зоны в системе "Иридиум" обеспечивается многократное использование рабочих частот. Так все смежные соты используют различные частоты, а каждая 8-я сотовая структура, создаваемая орбитальной группировкой, обеспечивает возможность повторения рабочей частоты. В результате частоты рабочего диапазона частот 1616...1626,5 МГц используется в системе более 150 раз. Частотный диапазон радиолинии "абонент-спутник" содержит 64 канала с разносом 160 кГц и полосой частот каждого 126 кГц, 9 каналов из 64 выделяется для управления. Частотный диапазон радиолинии "спутник-абонент" содержит 29 каналов с разносом 350 кГц и полосой частот каждого канала 280 кГц, 4 канала из 29 выделены для управления. В этих радиолиниях применяется временное разделение каналов. Формат многостанционного доступа сочетает временное разделение каналов для каждой соты и частотное разделение для смежных сот. В полосе 1616...1626,5 МГц обеспечивается пропускная способность 3835 дуплексных телефонных каналов связи. Каждый спутник может обеспечивать независимую связь с двумя шлюзовыми станциями, к тому же каждый спутник орбитальной группировки имеет радиосвязь с двумя соседними спутниками одной орбитальной плоскости и двумя спутниками в соседних орбитальных плоскостях слева и справа.

Земной сегмент системы "Иридиум" включает в себя шлюзовые станции ШС, центр управления системой ЦУС, командные и телеметрические станции КТС, персональные пользовательские терминалы АТ, центр запуска спутников ЦЗС. Шлюзовые станции взаимодействуют с помощью коммутационной аппаратуры сопряжения с национальной телефонной сетью связи. В шлюзовой станции регистрируется каждый абонентский терминал, обобщенный банк данных о АТ системы содержится в ЦУС. Число ШС может включать до 250 национальных ШС, на начальном этапе планируется развернуть от 5 до 20 ШС. Для России потребуется две ШС. Шлюзовая станция состоит из 3-х спутниковых терминалов (приемопередающих комплексов), один из которых резервный; быстросрабатывающего процессора и коммутационного оборудования с местной телефонной сетью общего пользования. Порядок функционирования спутниковых терминалов СТ следующий: положим 1-й СТ устанавливает связь с i -тым спутником, тогда 2-й СТ устанавливает связь с $(i+1)$ -м спутником; после ухода из зоны радиовидимости i -го спутника 1-й СТ устанавливает связь с $(i+2)$ -м спутником, а 2-й СТ после ухода из зоны радиовидимости $(i+1)$ -го спутника устанавливает связь с $(i+3)$ -м спутником и т.д.. Процессор

в ШС идентифицирует персональный АТ, участвующий в связи, и формирует адресацию в направлении АТ или абонента телефонной сети общего пользования.

Управление орбитальной группировкой осуществляется ЦУС и КТС. При этом обеспечивается: управление орбитой каждого спутника, контроль его состояния и запуска, проведение необходимых тестовых проверок, вывод спутника из орбитальной группировки. Управление системой осуществляется территориально разнесенными основными и резервными центрами. Центр запуска включает ракету-носитель и всё оборудование используемое при запуске спутника.

Абонентские терминалы в системе "Иридиум" нескольких типов, их число может достигать нескольких миллионов. Однако имеются сведения, что дальнейший ввод в эксплуатацию системы «Иридиум» приостановлен.

Система "Глобалстар". Идеология построения этой системы основана на методах сотовой связи при выносе в космическое пространство ретрансляторов базовых станций. При этом в основном использовался опыт создания сотовых систем связи с кодовым разделением каналов фирмы "Qualcomm"

Система "Глобалстар" предоставляет абонентам следующие виды услуг. Для передачи речи используется вокодер с линейным предсказанием и переменной скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с. Средняя скорость для предложенного алгоритма приблизительно равна 2,4 кбит/с. Данные передаются со скоростью от 2,4 до 9,6 кбит/с. Вероятность ошибки в канале передачи данных не более 10^{-6} . "Глобалстар" предоставляет также услуги передачи факсимильных сообщений с расширенными возможностями (с высокой разрешающей способностью и коррекцией ошибок), персональный вызов и определение местоположения.

В системе планируются два метода определения местоположения, производимые по сигналам собственных спутников: метод запроса станции сопряжения и пассивный метод. Метод определения координат на станции сопряжения может быть реализован, если существует возможность установления соединения через два спутника одновременно. Оценивая разность прихода во времени одного и того же сигнала, передаваемого терминалом по двум различным путям, можно вычислить координаты пользователя. Вместе с тем, если пользователю и станции сопряжения виден только один спутник, то на станции сопряжения имеется возможность запросного измерения дальности и накопления полученных значений по мере

перемещения спутника по орбите. На основании такой последовательной выборки возможна оценка координат абонента.

Система "Глобалстар" структурно разделена на три основных сегмента: космический, наземный и пользовательский (рис. 8.19). Космический сегмент состоит из 48 основных и 8 резервных спутников. Высота орбиты 1414 км. Спутники, расположенные в 8 орбитальных плоскостях по 6 КА в каждой, выводятся на круговые орбиты с наклоном к экватору 52° . Период обращения равен 114 мин. Фазовый сдвиг между спутниками в соседних орбитальных плоскостях составляет 7.5° . Структура космического сегмента обеспечивает одновременное наблюдение на средних широтах (в пределах от 70° с.ш. до 70° ю.ш.) – основном регионе обслуживания – не менее двух спутников.

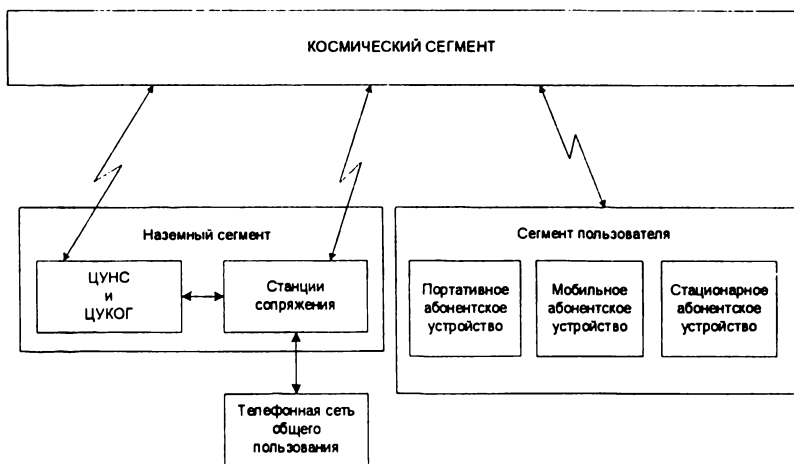


Рис. 8.19

В системе "Глобалстар" на спутниках не производится обработка информации (bent-pipe) и отсутствуют межспутниковые линии связи. Бортовой комплекс L/S диапазона содержит приемные и передающие активные фазированные антенные решетки. Всего формируется 16 лучей. Усиление и форма лучей подобраны так, чтобы у поверхности Земли формировалась многосотовая зона покрытия. Коэффициент усиления в периферийных лучах выше, чем в первом, что необходимо для создания равномерной плотности потока мощности. Антенна фидерной линии, работающая в диапазоне С, имеет два луча с различной поляризацией. Общая пропускная способность ретранслятора на один спутник – 2400 эквивалентных телефонных каналов. Масса каждого спутника –

450 кг, максимальная мощность солнечных батарей – 1100 Вт. Планируемый срок активного существования – 7.5 лет.

В состав наземной сети управления входят центр управления наземной сетью (ЦУНС) и центр управления и контроля орбитальной группировкой (ЦУКОГ). Обе подсистемы связаны между собой с помощью сети "Globalstar Data Network", к которой подключены и наземные станции сопряжения. Центр УКОГ совместно с командно-телеметрическими станциями производит контроль орбит, обработку телеметрической информации и формирование команд. В задачи ЦУНС входит планирование графика, выделение и закрепление сетевых ресурсов, а также слежение за функционированием системы. К тому же на ЦУНС возложена ответственность за контроль параметров и поддержание станций сопряжения в рамках выделенных спутниковых ресурсов.

Через станции сопряжения осуществляются все соединения с абонентами. Для глобального покрытия основных регионов земной поверхности потребуется построить 150–210 станций сопряжения, в том числе 9 в России. Такая технология позволит обеспечить большую надежность связи, чем использование для маршрутизации межспутниковых каналов связи. Станция сопряжения предназначена для организации информационного обмена в обслуживаемом регионе и распределения сетевых ресурсов, подключения абонентов "Глобалстар" к сетям общего пользования. Коэффициент усиления следящей параболической антенны станции сопряжения диаметром 5,5 м, равен 42,4 дБ. Номинальная эквивалентная изотропно-излучаемая мощность станции в пересчете на один канал составляет 40,3 дБВт. Шумовая температура приемного устройства не превышает 190 К. Сегмент пользователя включает в себя три базовых типа терминалов: портативные, мобильные и стационарные. Стационарные терминалы предназначены для работы только в системе "Глобалстар". Портативные и мобильные могут функционировать также в сотовой сети одного из стандартов GSM, CDMA, AMPS и PCS. Мощность мобильного абонентского терминала не превышает 3 Вт, портативного – 0,6 Вт. Портативные пользовательские терминалы напоминают сотовый телефонный аппарат. Это многомодовые (многорежимные) переносные устройства, которые работают через местную сотовую связь или "Глобалстар". Мобильные терминалы пользователей похожи на портативные аппараты. Они состоят из переносного устройства (трубки) и автомобильного комплекта. Пользователи стационарных терминалов работают только в системе "Глобалстар". Стационарные терминалы разработаны для работы в зонах, которые не обслуживаются сотовой сетью.

В системе "Глобалстар" используются шумоподобные сигналы (ШПС) и комбинация методов многостанционного доступа с кодовым и частотным разделением каналов. Это позволяет решить ряд проблем и, в первую очередь, проблему многократного использования частот и повышения пропускной способности. В отличие от узкополосных сигналов, предъявляющих жесткие требования к уровню развязки между лучами многолучевой антенны, ШПС сигналы позволяют существенно снизить требования к развязке между лучами. В результате можно использовать одни и те же частоты в разных лучах. Одновременно могут быть снижены требования к электромагнитной совместимости с другими системами, работающими в том же диапазоне частот на первичной основе. Другое преимущество ШПС сигналов состоит в возможности борьбы с помехами в виде отраженных сигналов путем их сложения с основным сигналом в многоканальном приемнике "Глобалстар". Приемник также позволяет принимать и обрабатывать разнесенные сигналы от разных лучей одного или нескольких КА. Для борьбы с замираниями в "Глобалстар" используются устройства временного перемежения, которые работают в кадре вокодера длиной 20 мс и будут эффективно подавлять средние и быстрые замирания.

Суммарная ширина полосы частот, отведенная для связи, равна 16,5 МГц. В этой полосе размещаются 13 частотных каналов. Ширина полосы каждого канала равна 1,25 МГц. Внутри каждого из частотных каналов разделение производится по форме сигналов, т.е. по номеру последовательности Уолша. Всего для связи используется 127 CDMA-каналов (последовательностей Уолша). В системе организуются абонентские и фидерные радиолинии, и также каналы для обмена командно-телеметрической информацией.

Для связи с подвижными абонентами в "Глобалстар" выделены два диапазона: диапазон S (2483,5...2500 МГц) для линии "спутник-терминал абонента" и диапазон L (1610...1626,5 МГц) для линии "терминал абонента-спутник". Многолучевые антенны обеспечивают одинаковую плотность потока мощности облучения в обслуживаемой области на Земле. В диапазонах L и S в каждом из 16 лучей используются спектральные участки шириной по 16,5 МГц. В каждом луче умещается 13 МДРЧ-каналов. Внутри канала для эффективной передачи голоса и данных используется расширенный спектр. В одном FDM-канале шириной 1,25 МГц может поддерживаться до нескольких речевых схем и схем данных. Данные в схемах разделяются с помощью уникальных псевдошумовых последовательностей. Благодаря этому один и тот же спектр будет использоваться многими пользователями МДКР

В "Глобалстар" для связи между станцией сопряжения (СС) и спутниками используется диапазон С. Для линии "СС-КА" используется диапазон 5090...5250 МГц. Для линии "КА-СС" – диапазон 6875,95 МГц – 7052,9 МГц. Эффективное использование спектра осуществляется благодаря повторному использованию частот и расширению спектра. В С диапазоне используется как правая круговая так и левая круговая поляризации. Таким образом, возможно использовать 8 частот для 16-ти лучей на спутнике.

В системе "Глобалстар" используется несколько видов каналов. По каналу пилот сигнала передается последовательность типа "все нули", она предназначена для контроля уровня сигнала в радиоканале. Все СС используют один и тот же короткий код, но с различным сдвигом относительно единой шкалы времени. Сдвиг кода однозначно идентифицирует СС, спутник и луч. По каналу синхронизации передается поток данных со скоростью 1200 бит/с. В нем содержится текущее время, код идентификации СС, эфемериды спутника, расписание каналов пейджерной связи. По каналу персонального вызова передается технологическая информация, необходимая для установления соединения (частота, код идентификации пользователя, номер вызываемого абонента). Прямой информационный канал предназначен для передачи информационных сообщений абонентам сети "Глобалстар" В канале используется тот же алгоритм перекодирования информационных потоков со скоростью 2.4...9.6 кбит/с в выходной поток 19.2 кбит/с. Все абоненты системы используют одну и ту же последовательность, но с различным (уникальным для каждого пользователя) временным сдвигом. Канал доступа предназначен для передачи запросных пакетов длительностью 60 мс. В канале используется протокол доступа типа синхронная АЛОХА. Пакет состоит из преамбулы и информационной части запроса. Преамбула представляет собой элемент псевдослучайной последовательности. Скорость передачи в канале доступа – 4.8 кбит/с. По обратному информационному каналу абонент передает сообщения на СС. В канале используется сверточное кодирование и поблочное перемежение пакетов символов длительностью 20 мс.

Переход абонента из зоны в зону в системе "Глобалстар" осуществляется плавно без прерывания связи и ухудшения качества приема информации. Это важно, так как позволит решить проблему затенения антенны рельефом местности и повысить надежность связи. Механизм смены зон обслуживания достаточно простой. В любом из 16 лучей каждого спутника передается свой пилот-сигнал, предназначенный для оперативного контроля уровня принимаемого сигнала. Как только происходит снижение уровня

пилот-сигнала в данном луче, абонентский терминал автоматически переключается на двухканальный режим работы. В этом режиме обеспечивается одновременный прием сигналов от двух разных лучей или от разных спутников. Двухканальный режим работы радиолинии происходит до тех пор, пока не поступит команда на отключение какого-либо луча. После этого обмен информацией будет производиться только один луч, лучшего качества. Таким образом, происходит плавное переключение абонента из одной зоны обслуживания в другую без перерыва связи и ухудшения качества.

Список литературы

Глава 1

- 1.1. *Лебедев В.И.* Очерки по истории точных наук. Вып. 5 – Как постепенно образовался первый круг сведений о магнетизме и электричестве. – М.: Изд-во Наркомпроса, 1919.
- 1.2. *Инженеру об изобретении.* – М.: Атомиздат, 1974.
- 1.3. *Законодательство СССР по изобретательству.* Т 1 – М.: 1987; Т.2 – М.. 1982.
- 1.4. *Лауэ М.* История физики. – М.. Гос. изд. технико-теорет. лит-ры, 1956.
- 1.5. *Дюшен Б.В.* Радиотелеграфия. – Берлин, Знание, 1925.
- 1.6. *Лонгинов А.С., Стариков В.И.* Радио – 90 лет. – М.. Знание, 1985.
- 1.7. *Кудрявцев-Схайф С.С.* Возникновение радио. – М.: Радиоиздат, 1938.
- 1.8. *Бренёв И.В.* Начало радиотехники в России. – М.: Советское радио, 1970.
- 1.9. *Бодри-де-Сонье А.* Радио, его чудеса и техника. – М.: Научное книгоиздательство, 1925.
- 1.10. *Родионов В.М.* Зарождение радиотехники. – М.. Наука, 1985.
- 1.11. *100 лет радио: Сборник статей.* – М.: Радио и связь, 1995.

Глава 2

- 2.1. *50 лет радио: Сборник статей.* – М.: Связьиздат, 1945.
- 2.2. *60 лет радио: Сборник статей.* – М.: Связьиздат, 1955.
- 2.3. *70 лет радио: Сборник статей.* – М.. Связьиздат, 1965.
- 2.4. *100 лет радио: Сборник статей.*– М.: Связьиздат, 1995.
- 2.5. *Очерки истории радиотехники.* – М.: Изд-во АН СССР, 1960.
- 2.6. *Лонгинов А.С, Стариков В.И.* Радио – 90 лет. – М.: Знание, 1985.
- Изобретение радио: Попов А.С. Документы и материалы.* – М.: Наука, 1996.
- 2.7. *Григорьян А.Т., Вяльцев А.Н.* Генрих Герц. – М.. Наука, 1968.
- 2.8. *Родионов В.М.* Зарождение радиотехники. – М.. Наука, 1985.

Глава 3

- 3.1. *Радиосвязь и вещание.* – М.. Связьиздат, 1961.
- 3.2. *Основы радиосвязи, радиовещания и радиорелейных линий.* – М.. Связь, 1976.
- 3.3. *Чистяков Н.И.* Основы радиосвязи и радиорелейные линии. – М.. Связь, 1979.

Глава 4

- 4.1. *Головин О.В.* Дециметровая радиосвязь. – М.. Радио и связь, 1990.
- 4.2. *Golovin O.V., Aguilar H.J.* Propuesta de un sistema de comunicaciones de reserva en la banda de los 10 m Para Mexico//ACTA MEXICANA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, vol. XIII, № 43, 1997
- 4.3. *Головин О.В., Гузеев В.Е., Дубровский В.А., Кротов А.В.* Экспериментальное исследование системы ДКМ радиосвязи с ретранслятором в гра-

- жданской авиации. // Техника средств связи. Серия «Системы связи». – 1991. – Вып. 3.
- 4.4. *Golovin O., Schwarz W.* Grundzüge eines automatisierten Kurzwellen – Nachrichtensystems // Nachrichtentechnik, Elektronik, Berlin 39(1989) № 6.
- 4.5. *Головин О.В. и др.* Использование КВ диапазона во взаимоувязанной сети связи Российской Федерации//Технологии электронных коммуникаций. Том «Корпоративные системы спутниковой и КВ связи». – М.: 1997
- 4.6. *Электросвязь*, 1996, № 3.
- 4.7. *Электросвязь*, 1996, № 7
- 4.8. *Служебные радиокоды*. – 2-е изд. – М.: Связьиздат, 1959.
- 4.9. *Патент США № 4.804.954*, опубл. 14.02.1989.
- 4.10. *Концепция развития связи Российской Федерации. Технологии электронных коммуникаций/Под ред. В.Б. Булгака*, том 61. – М.. 1996.
- 4.1. *Кюн Г* Современные системы радиосвязи для передачи информации и управления производством. Фирма «Роде и Шварц» (Мюнхен, ФРГ). – Л.: 1990.

Глава 5

- 5.1. *Системы радиосвязи: Учебник для вузов/Н.И. Калашников, А.Е. Крутицкий, И.Л. Дороднов, В.И. Носов; Под ред. Н.И. Калашникова*. – М.: Радио и связь, 1988.
- 5.2. *Маковеева М.М.* Радиорелейные линии связи: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1988.
- 5.3. *Тимищенко М.Г* Радиорелейные системы передачи прямой видимости: Учебное пособие для техникумов. – М.: Радио и связь, 1982.
- 5.4. *Рихтер С.Г Родионов В.В., Иванов Д.М.* Основные характеристики и принцип действия современной радиорелейной аппаратуры ГТТ-70. – М.: ИПК Минсвязи СССР, 1985.
- 5.5. *Минхин В.М., Рихтер С.Г* Принципы построения, особенности и перспективы развития цифровых радиорелейных линий: Учебное пособие. – М.. ИПК Минсвязи СССР, 1985.
- 5.6. *Чистяков Н.И.* Основы радиосвязи и радиорелейные линии. – М.: Связь, 1979.

Глава 6

- 6.1. *Ратынский М.В.* Основы сотовой связи/Под ред. Д.Б. Зимина. – М.: Радио и связь, 1998.
- 6.2. *Громаков Ю.А.* Стандарты сотовых систем подвижной радиосвязи. – М.. МТУСИ, 1994.
- 6.3. *Громаков Ю.А.* Цифровые сотовые системы подвижной радиосвязи с кодовым разделением каналов: Учебное пособие. – М. МТУСИ, 1996.
- 6.4. *Иевлев О., Николаев В.* Применение протоколов ОКС № 7 в системах и сетях сотовой радиомобильной связи стандарта GSM: Учебное пособие. – М.: МТУСИ 1998.
- 6.5. *Лагутин В., Полова А., Степанова И.* Характеристика федеральных стандартов на сотовые сети подвижной радиосвязи. – М.: Информсвязьиздат, 1996.

- 6.6. *Пустовойтов Е.Л.* Сотовые системы подвижной радиосвязи: Учебное пособие. – М.: МТУСИ, 1994.
- 6.7. *Панتيкиан Р., Шорин О.* Проектирование систем подвижной радиосвязи: Учебное пособие. – М.: МТУСИ, 1987
- 6.8. *Ли У.* Техника подвижных систем связи. – М.: Радио и связь, 1985.
Стандарты сотовой связи//CONNECT – Мир связи. – 1998. – № 6.
- 6.9. *Ламекин В.Ф.* Сотовая связь. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1997
- 6.10. *Громаков Ю.А.* Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз Ко, 1997
- 6.11. *Адрианов В.И., Соколов А.В.* Средства мобильной связи. – BHV-Санкт-Петербург, 1999.
- 6.12. *Лазарев В.Г., Пийль Е.Н.* Системы подвижной связи и перспективы их развития//Труды Международной академии связи. – 1997 – № 4.
- 6.13. *Зубарев Ю.Б., Быховский М.А., Трофимов Ю.К.* Основные подходы к внедрению систем подвижной связи 3-го поколения//Труды международной конференции «Переход к третьему поколению мобильной связи». – М.: 2000.
- 6.14. *Громаков Ю.А.* Архитектура стандартов радиоинтерфейсов IMT-2000//Труды Международной конференции «Переход к третьему поколению мобильной связи». – М.: 2000.

Глава 7

- 7.1. *Соловьев А.А., Смирнов С.И.* Техническая энциклопедия пейджинговой связи. – М., Эко-Трендз Ко, 1997
- 7.2. *Туляков Ю.М.* Система персонального радиовызова. – М.: Радио и связь, 1988.
- 7.3. *Головин О.В.* Радиоприемные устройства. – М.: Высшая школа, 1997
- 7.4. *Бочкарев Н.Б.* Радиоприемники систем персонального вызова. CHIP NEWS, 1996, № 1.
- 7.5. *Гудым Д.* Нетривиальные пейджеры: анализ технологической и маркетинговой конъюнктуры//Соппест – Мир связи, 1998, № 3.
- 7.6. *Структура пейджинговых систем.* Связь: Средства и способы. Вып. 8. //Радио, 1996, № 10.
- 7.7. *Синчуков А.* Пейджинговый протокол POCSAG//Радио, 1997, № 2.
- 7.8. *Калашников А.* Пейджинговый протокол FLEX//Радио, 1997, № 4.
- 7.9. *Калашников А.* Пейджинговый протокол ERMES//Радио, 1997, № 3.
- 7.10. *Адрианов В.И., Соколов А.В.* Средства мобильной связи. – BHV-Санкт-Петербург, 1999.

Глава 8

- 8.1. *Спутниковая связь и вещание/Под ред. Л.Я. Кантора.* – М.: Радио и связь, 1997
- 8.2. *Регламент радиосвязи.* Т.1. – М.: Радио и связь, 1985.
- 8.3. *Маковеева М.М.* Радиорелейные линии связи. – М.: Радио и связь, 1988.
- 8.4. *Быков В.Л. Мордухович Л.Г.* Проектирование земных станций спутниковых систем связи и телевизионного вещания. – М.: ИПК МТУСИ, 1992.

- 8.5. Головин О.В. Радиоприемные устройства. – М.: Высшая школа, 1997
- 8.6. Системы спутниковой связи/А.М. Бонч-Бруевич, В.Л. Быков, Л.Я. Кантор и др. Под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1992.
- 8.7 Корпоративные системы спутниковой и коротковолновой связи/ Под ред. А.А. Смирнова. Технологии электронных коммутаций. – М.: 1997
- 8.8. Персональная спутниковая связь. Технологии электронных коммутаций. – М.: 1996.
- 8.9. Адрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи. ВНУ-Санкт-Петербург, 1998.
- 8.10. Невдяев Л.М., Смирнов А.А. Персональная спутниковая связь. – М.: Эко-Трендз Ко, 1998.

Оглавление

Предисловие	3
1. Введение	4
1.1. Радиосвязь и ее значение для человечества	4
1.2. Радиоволны	6
1.3. Диапазоны радиоволн	17
1.4. Каналы радиосвязи	19
2. Этапы истории радиосвязи	
2.1. Начало формирования научных основ	20
2.2. Изобретение как итог науки	22
2.3. Первые устройства беспроводной связи	25
2.4. Радиосвязь во второй половине XX века – итоги и тенденции	41
2.5. Предыстория космической радиосвязи	44
3. Распространение радиоволн	47
3.1. Геофизические факторы, влияющие на распространение радиоволн	47
3.2. Распространение волн диапазонов СЧ, НЧ и ОНЧ	49
3.3. Распространение волн диапазона ВЧ	52
3.4. Распространение волн диапазонов ОВЧ, УВЧ и СВЧ	54
3.5. Помехи радиосвязи	56
4. Фиксированная и подвижная радиосвязь в диапазоне ВЧ	61
4.1. Значение и особенности ВЧ радиосвязи	61
4.2. Сигналы и помехи в ВЧ радиоподлинках	64
4.3. Структура автоматизированной сети ВЧ радиосвязи	67
4.4. Магистральная ВЧ радиосвязь	71
4.5. Особенности и структура зонной радиосвязи с вынесенным ретранслятором	73
4.6. Варианты структур сетей зонной радиосвязи диапазона ВЧ с вынесенным ретранслятором	80
4.7. Системы ВЧ радиосвязи в гражданской авиации	92
4.8. Сеть связи для чрезвычайных ситуаций	95
4.9. Ионосфера как ресурс комплексной пейджерной сети радиосвязи	101
4.10. Роль и проблемы ВЧ радиосвязи в комплексной системе связи Российской Федерации	108
5. Радиорелейные линии	128
5.1. Принципы радиорелейной связи	128
5.2. Состав оборудования РРЛ	131
5.3. Размещение станций	135
5.4. Выбор и чередование частот в радиорелейной связи	137
6. Подвижная радиосвязь	141
6.1. Этапы развития подвижной радиосвязи	141
6.2. Термины, классификация и особенности сетей подвижной радиосвязи	151

6.3. Варианты сетей наземной сотовой подвижной радиосвязи	157
6.4. Аналоговые и цифровые стандарты сотовых сетей	163
6.5. Радиотелефонная сеть общего пользования «Алтай-3М»	164
6.6. Сотовая система связи стандарта NMT 450	167
6.7. Сотовая система связи стандарта GSM	170
6.8. Развитие в России систем подвижной связи третьего поколения	180
7. Системы персонального радиовызова	182
7.1. Назначение и принципы построения систем персонального вызова	182
7.2. Структурная схема СПВ	185
7.3. Протоколы систем пейджерной связи	195
7.4. Особенности построения СПВ	201
7.5. Типы пейджеров	206
7.6. Характерные особенности построения приемников СПВ	207
7.7. Структурные схемы и основные показатели конкретных пейджеров	212
7.8. Приемник персонального вызова Telefind Corp. (США)	220
8. Спутниковая радиосвязь	224
8.1. Принципы спутниковой связи	224
8.2. Орбиты и зоны обслуживания спутниковых систем связи и вещания	225
8.3. Способы модуляции и уплотнения в радиоканалах спутниковой связи	228
8.4. Распределение полос частот и проблемы электромагнитной совместимости систем спутниковой связи	228
8.5. Многостанционный доступ и методы разделения сигналов	230
8.6. Классификация земных станций	233
8.7. Структурные схемы и основные характеристики земных станций	235
8.8. Принципы построения приемных и передающих устройств земных станций	238
8.9. Назначение, состав и основные параметры бортовой аппаратуры	241
8.10. Классификация бортовых ретрансляторов	244
8.11. Энергоснабжение в спутниковых системах связи	248
8.12. Бортовые радиопередающие устройства	249
8.13. Приемные устройства бортовых ретрансляторов	251
8.14. Общие сведения и требования к антеннам	254
8.15. Общие принципы построения космических систем телеконтроля и управления	257
8.16. Примеры систем спутниковой связи	259
8.17. Системы низкоорбитальной спутниковой связи	261
Список литературы	280