

Министерство образования и науки Российской Федерации

Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса (ВГУЭС)

**В.С. Богданов, Г.Г. Котов,
С.Н. Павликов, Е.И. Убанкин**

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Монография

Владивосток
Издательство ВГУЭС
2018

ББК 39.478
УДК 621.396 (075.8)
Б73

Рецензенты: В.А. Игнатюк, д-р физ-мат. наук, профессор, кафедра электроники ВГУЭС;
С.В. Глушков, д-р техн. наук, профессор, декан электромеханического факультета МГУ им. адм. Г.И. Невельского

Богданов, В.С.

Б73 **Системы связи** : монография / В.С. Богданов, Г.Г. Котов, С.Н. Павликов, Е.И. Убанкин ; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2018. – 228 с.

ISBN 978-5-9736-0493-6

Описаны основы построения систем и сетей связи, используемых в морской подвижной службе. Рассматриваются принципы построения и основные характеристики Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности морского судоходства, а также общие вопросы построения и характеристики систем и сетей связи общего пользования.

Будет полезна аспирантам и инженерно-техническим работникам, ведущим исследования в области эксплуатации судовых и береговых систем, сетей и средств связи.

ББК 39.478
УДК 621.396 (075.8)

ISBN 978-5-9736-0493-6

- © ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», оформление, 2018
- © Богданов В.С., Котов Г.Г., Павликов С.Н., Убанкин Е.И., текст, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ	5
1.1. Основные положения.....	5
1.2. Принципы построения сетей связи.....	7
1.3. Параметры систем связи.....	10
1.4. Критерии оценки качества систем связи.....	13
1.5. Система связи морской подвижной службы.....	15
1.6. Структура системы связи МПС и МПСС	17
Глава 2. НАЗЕМНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ	19
2.1. Общие сведения	19
2.2. Телефонные сети наземной связи.....	20
2.3. Телеграфные сети наземной связи.....	21
2.4. Проводные (кабельные) системы связи и линии передачи	25
2.5. Волоконно-оптическая связь.....	29
Глава 3. СИСТЕМЫ И СЕТИ РАДИОСВЯЗИ	42
3.1. Радиорелейные системы и сети связи	42
3.2. Тропосферные системы и сети связи	52
3.3. Спутниковые системы и сети связи.....	59
3.4. Наземные системы и сети радиосвязи.....	79
3.5. Транкинговые системы радиосвязи.....	82
3.6. Сотовые системы связи	93
3.7. Системы персонального радиовызова.....	108
Глава 4. ГЛОБАЛЬНАЯ МОРСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ ПРИ БЕДСТВИИ И ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	117
4.1. Основные принципы построения ГМССБ	117
4.2. Функции ГМССБ.....	119
4.3. Характеристика подсистем связи, используемых в ГМССБ.....	121
4.4. Состав судового радиооборудования ГМССБ.....	122
4.5. Построение наземных сетей связи в ГМССБ	127
Глава 5. МОРСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ.....	129
5.1. Морская система связи на средних волнах.....	129
5.2. Морская коротковолновая система связи	131
5.3. Морская система связи на метровых волнах	134
Глава 6. СИСТЕМЫ ТЕЛЕГРАФНОЙ (ТЕЛЕКСНОЙ) РАДИОСВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ	137
6.1. Общие сведения о судовой телеграфной радиосвязи	137

6.2. Помехоустойчивое кодирование	139
6.3. Системы передачи информации с обнаружением и исправлением ошибок	143
6.4. Судовая буквопечатающая аппаратура повышенной верности.....	145
6.5. Работа БАПВ в режиме ИВ (ARQ)	147
6.6. Работа БАПВ в режимах ЦВ (FEC) и ИВЦВ (SELFEC)	151
6.7. Процедура организации связи «судно-берег» с использованием БАПВ.....	153
6.8. Автоматические системы обработки телеграфной информации....	155
Глава 7. СЛУЖБА НАВТЕКС	162
7.1. Всемирная служба навигационных предупреждений.....	162
7.2. Характеристика службы НАВТЕКС.....	163
7.3. Формат сообщения службы НАВТЕКС	167
7.4. Судовая приемная радиоаппаратура службы НАВТЕКС.....	168
Глава 8. СИСТЕМА ЦИФРОВОГО ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ВЫЗОВА В ГМССБ	172
8.1. Характеристика системы.....	172
8.2. Технический формат вызова и эксплуатационные процедуры.....	174
8.3. Судовое оборудование ЦИВ	181
Глава 9. СИСТЕМЫ ФАКСИМИЛЬНОЙ СВЯЗИ.....	184
9.1. Основные понятия и определения	184
9.2. Структурная схема факсимильной связи	186
9.3. Элементы анализирующих и синтезирующих устройств	187
9.4. Параметры развертывающих устройств	189
9.5. Запись изображения в приемном факсаппарате	192
Глава 10. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ	195
10.1. Системы пространственной фильтрации сигналов.....	195
10.2. Пространственная фокусировка энергии излучателей	201
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	206
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	222

Глава 1. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

1.1. Основные положения

Под системой понимается совокупность элементов, для которых характерно наличие объединяющих качеств (свойств) и существенных связей между элементами, что позволяет выделить систему в виде целостного объекта. Элементами системы могут быть, например, материальные объекты, процессы и их математическое описание.

Системы электрической связи являются обслуживающими системами. Они предназначены для обмена абонентами информацией в форме сообщений различного вида. Передача сообщений от отправителей к получателям обеспечивает осуществление целенаправленных действий к вышестоящей системе, частью которой является система электрической связи. Абоненты как элемент системы связи определяют требования к качественным показателям функционирования системы и могут быть выделены из системы связи в качестве ее потребителей.

Система электросвязи функционирует в условиях конфликтующей среды, оказывающей влияние на распространение электрических сигналов. Это влияние ограничивает возможности удовлетворения потребности абонентов системы. Противоречие между ограниченными возможностями системы электросвязи и требованиями обслуживаемых ею потребителей часто может быть решено лишь при изменении параметров элементов системы, алгоритма функционирования системы или ее внутренней структуры, т.е. в условиях конфликтующей внешней среды для наиболее полного удовлетворения потребностей абонентов необходимо использовать адаптивные системы электросвязи.

Элементами системы электросвязи являются технические средства, обеспечивающие преобразование сообщений отправителей в электрические сигналы, передачу электрических сигналов в требуемом направлении и на требуемое расстояние, прием электрических сигналов и преобразование их в сообщение для получателей, а также организационно-эксплуатационные принципы использования технических средств данной системы. Параметры элементов системы должны быть согласованы между собой. Необходимость согласования параметров свидетельствует о наличии существенных связей между элементами системы.

Структура систем связи разного уровня может быть весьма многообразной, так как она отражает специфику решаемых системой задач, особенности обслуживаемых абонентов и ряд других факторов. Несмотря на многообразие структур, существуют общие принципы построения систем электросвязи.

Различают системы связи разного уровня интеграции, который определяется потребностями управления организацией связи между абонентами, возможностями технических средств каналов связи, а также задачами, решаемыми системой связи.

Простейшая одноуровневая структура является децентрализованной. Для неё характерно отсутствие взаимодействия входящих в систему сетей связи, что возможно лишь при полной автономности этих сетей, решающих частные задачи системы связи.

Обеспечение взаимодействия между различными сетями единой одноуровневой системы связи возможно при организации центра или нескольких центров взаимодействующих сетей. В первом случае образуется полностью централизованная одноуровневая система, во втором – многоцентровая.

Для указанных одноуровневых структур систем связи характерна принципиальная возможность организации канала связи для любой пары абонентов системы. Поэтому одноуровневые структуры целесообразны для систем связи, обслуживающих равнодоступных абонентов. Примером такой системы связи является городская телефонная система связи через АТС, которая является центром такой системы.

В тех случаях, когда обеспечение равнодоступности абонентов технически невозможно или нецелесообразно, используются многоуровневые структуры систем связи. Для таких систем характерно ограничение доступа абонентов низшего уровня к сетям связи высшего уровня. Регулирование доступа абонентов к сетям связи различного уровня может обеспечиваться ограничением технических возможностей некоторых абонентов или организационно, введением системы приоритетов. Второй способ является более гибким, поскольку для любого абонента имеется принципиальная возможность в чрезвычайных ситуациях воспользоваться сетями связи высшего уровня. Однако этот способ требует контроля приоритетов, что усложняет организацию. По сути дела в данном случае ограничивается доступ к сетям связи различного уровня не абонентов, а сообщений. Например, в обычной обстановке суда поддерживают связь с радиоцентром судовладельца, через который информация от них передается в вышестоящие органы управления флотом, спасательно-координационные центры через любые радиостанции. Поэтому введение приоритетов целесообразно в системах связи, которые имеют потоки сообщений различной значимости, требующих разного качества обслуживания. Многоуровневая структура обеспечивает возможность группировки сообщений равной значимости, абонентов низших уровней, в мощные потоки сообщений высших уровней, что также способствует более полному использованию сетей связи.

В системах связи большой интеграции структуру системы можно изменить путем наращивания или исключения уровней, изменения степени

взаимодействия сетей связи с целью более полного удовлетворения требований абонентов. Адаптация структуры системы связи имеет целью сохранение или оптимизацию качественных показателей обслуживания абонентов при изменениях условий функционирования системы. Изменение структуры системы связи является одним из способов обеспечения ее надежности и живучести.

1.2. Принципы построения сетей связи

В систему связи входит одна или несколько сетей связи. Каждая сеть включает в себя комплекс средств, объединенных единством решаемой задачи, с едиными требованиями к качественным показателям этих средств и едиными принципами их эксплуатации. Различают сети связи с разной степенью интеграции технических средств. Например, существуют сети связи промысловых судов в районе промысла, сеть связи судов с береговыми абонентами через ИСЗ, сети радиовещания и т. п.

Крупные сети связи, автономно решающие частные задачи системы связи, выделяются в подсистемы, что не исключает возможности их взаимодействия. Более мелкие сети связи, автономно решающие частные задачи подсистем связи, выделяются в службы связи.

Сети связи представляют собой совокупность ветвей и узлов связи. Узел связи – это пункт сети, в котором сообщения распределяются по различным ветвям. Ветви связи – совокупность каналов связи, соединяющих (без промежуточных узлов) пары узлов, оконечные пункты сети с ее узлами или эти пункты между собой по линиям связи. Для сетей связи многоуровневых систем связи оконечными пунктами сетей высших уровней являются узлы связи, общие с узлами сетей низших уровней. Для сетей связи низшего уровня оконечными пунктами являются устройства сопряжения системы связи с абонентами. Каналами электрической связи называют совокупность технических средств электрической связи связанных средой распространения, организационно-эксплуатационные принципы использования которых обеспечивают передачу с заданным качеством сообщений между двумя абонентами.

Под линией электрической связи понимают совокупность технических средств и среды распространения электрических сигналов, используемых для обеспечения связи между двумя или несколькими пунктами. Таким образом, линия связи может включать в себя несколько каналов. Линии и каналы связи могут быть телефонные, телеграфные, факсимильные и т. д.; односторонние и двусторонние. Каналы связи – симплексные, дуплексные, полудуплексные.

Канал связи является основной производственной единицей сети связи и системы связи в целом. Входы и выходы различных каналов сети могут соединяться в узлах с целью организации сквозного канала связи между

любой парой абонентов. Сети, образованные такими каналами, называются коммутируемыми, в отличие от некоммутируемых сетей, не содержащих узлов коммутации. Коэффициент (степень) использования каналов коммутируемых сетей, как правило, значительно выше, чем некоммутируемых.

В коммутируемых сетях, получивших наибольшее применение, используются два основных способа коммутации: коммутация каналов сети и коммутация сообщений в сети.

При коммутации каналов между абонентами с помощью узлов связи образуется сквозной канал, по которому передаются сообщения. При коммутации сообщений в узлах коммутации происходит прием и последующая передача сообщений. Таким образом, в первом случае через узел коммутации сигналы передаются без восстановления сообщений, а во втором с восстановлением в той или иной форме.

При коммутации каналов передача сообщений ведется в реальном масштабе времени, при коммутации сообщений – с задержкой во времени, которая используется для накопления пакетов сообщений или ожидания высвобождения канала.

Существует два метода обслуживания заявок на коммутацию каналов: обслуживание с отказами и обслуживание с ожиданием.

Особенно широко распространено сочетание способа коммутации каналов сети и обслуживание с отказами, а также сочетание способа коммутации сообщений в сети и обслуживание с ожиданием. Это сочетание позволяет наиболее полно реализовать преимущества каждого из способов коммутации и методов обслуживания.

Организация связи с использованием способа коммутации сообщений и обслуживания с ожиданием обеспечивает более полное использование каналов ветвей сети. При такой организации существует принципиальная возможность обслуживания каждой заявки, если допустимы задержки в передаче сообщений. Однако стоимость оборудования, обеспечивающего коммутацию сообщений, значительно выше стоимости оборудования коммутации каналов связи.

Сети одной системы связи могут использовать оба способа коммутации и метода обслуживания. В многоуровневых системах связи способ коммутации каналов используется, как правило, в сетях связи низших уровней, а способ коммутации сообщений в сетях связи верхних уровней.

Известны два основных вида структуры (конфигурации) сетей связи:

- полносвязная сеть, в которой оконечные пункты сети соединяются между собой через узлы связи по принципу "каждый с каждым" (рис. 1.1а);
- древовидная сеть, в которой оконечные пункты сети соединяются между собой через узлы связи или непосредственно без образования замкнутых путей (рис. 1.1б);
- комбинированные (рис. 1.1в, г, д, е).

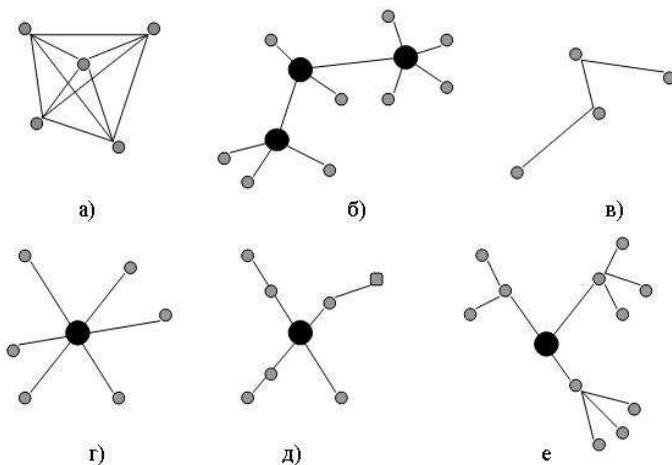


Рис. 1.1. Основные типы структур сетей связи:

- а) полносвязная; б) древовидная; в) линейная; г) звездообразная; д) радиальная; е) радиально-узловая

Полносвязная сеть служит основой для организации связи между абонентами с использованием некоммутируемых каналов связи, поскольку при такой структуре и достаточном числе каналов в ветвях сети нет необходимости в узлах коммутации. Преимуществом этой структуры является максимальная оперативность. Качество передачи сообщений по некоммутируемым каналам, как правило, выше, чем по коммутируемым. Включение в такую сеть абонентов с малыми, несистематическими объемами сообщений, не требующими высокой оперативности передачи сообщений, чаще всего нецелесообразно, поскольку каналы связи в этом случае используются не полностью. Недостатком полносвязной сети является большое число ветвей связи.

Наиболее полно каналы ветвей связи используются в древовидной структуре сети, так как в этом случае число ветвей минимально. Одна ко отсутствие избыточности ветвей уменьшает живучесть сети.

Сеть можно считать работоспособной, если при отказах узлов и (или) ветвей она остается связанной, т.е. не нарушается связь с сетью конечных пунктов, сеть не распадается на не соединенные между собой части, и качество обслуживания остается не хуже допустимого.

Живучесть сети зависит от ее структуры и обеспечивается системой управления, которая производит выбор оптимальных обходных направлений при отказах узлов и ветвей связи. В качестве критерия оптимальности используется минимум затрат на передачу сообщения или минимум узлов

коммутации при организации передачи сообщения от отправителя к получателю.

Различают два вида управления сетями: централизованное, при котором управление сетью сосредоточено в одном пункте управления или нескольких связанных между собой пунктах; децентрализованное, при котором пункты управления осуществляют автономное управление подчиненными им частями сети. Централизованное управление облегчает выбор оптимальных направлений при отказах узлов и ветвей связи, но недостаточно надежно, так как выход из строя центра управления может парализовать работу сети. Децентрализованное управление реализуется проще и позволяет осуществлять управление частью сети при выходе из строя одного или нескольких пунктов управления, что повышает надежность системы управления и живучесть сети связи.

Необходимость удовлетворения противоречивых требований к живучести сети связи и к полноте использования каналов обусловила широкое распространение комбинированных структур сети и систем управления.

1.3. Параметры систем связи

Представление системы связи в виде открытой системы позволяет разделить параметры, определяющие качество ее функционирования на внешние и внутренние.

К внешним относятся те параметры, которые определяют качество функционирования системы связи с точки зрения удовлетворения нужд абонентов. Такими параметрами являются следующие: вид услуг, предоставляемых системой связи; ее доступность; верность сообщений, переданных системой связи; скорость и стоимость передачи сообщений; надежность работы и живучесть системы связи.

Виды услуг, обеспечиваемых системой связи, определяются возможными формами предоставления информации в виде сообщений для передачи системой связи, а также возможными способами организации обмена сообщениями между абонентами. Форма представления информации может быть цифровой, аналоговой, телефонной, телеграфной и т. п. Организация связи может обеспечивать дуплексный или симплексный режим обмена сообщениями в реальном масштабе времени, обмен информацией с задержкой времени, многоадресный обмен и т. п.

Доступность системы связи характеризуется предоставляемой данной системой возможностью воспользоваться ее услугами. Количество абонентов, могущих одновременно использовать систему, как правило, меньше числа потенциальных пользователей ее. Поэтому в системе связи используются ограничения доступа абонентов, которые заключаются в отказах от обслуживания некоторых абонентов в данное время. Получившие отказ

абоненты вынуждены ожидать появления возможности их обслуживания или отказаться от услуг данной системы связи.

Верность сообщений, переданных системой связи, характеризует точность воспроизведения получателями сообщений, переданных отправителем. При оценке точности воспроизведения должны учитываться результаты коррекции, которой может подвергаться сообщение в процессе передачи.

Скорость передачи сообщений системой связи характеризует затраты времени на передачу единицы сообщения от отправителя к получателю. Эта скорость учитывает затраты времени непосредственно на передачу сообщения и потери на ожидание доступа, технические остановки, а также другие случайные потери времени при нормальном функционировании системы.

Стоимость передачи сообщений системой связи определяется удельными финансовыми затратами абонентов при пользовании услугами системы связи. Эти затраты зависят от стоимости ее создания, модернизации, эксплуатации и установленных норм накопления.

Надежность работы системы связи характеризует ее способность обеспечивать удовлетворяющие абонентов перечисленные ранее качественные показатели функционирования при нормальных условиях эксплуатации.

Живучесть системы связи характеризует ее способность функционировать с качественными показателями при наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации системы, обеспечивая минимально допустимые услуги абоненту, и восстанавливать нормальную работу с заданными качественными показателями за приемлемое для абонентов время.

Числовые характеристики внешних параметров систем связи называются частными показателями качества функционирования систем связи. Наиболее широко распространены числовые характеристики верности, скорости, стоимости и надежности передачи сообщений системами связи.

При передаче дискретных сообщений, например телеграфных, верность принятых сообщений измеряют средней вероятностью ошибок

$$P_{ош} = \lim N_{ош} / N, \quad (1.1)$$

$$N \rightarrow \infty$$

где N – общее число переданных/принятых элементов сообщения;

$N_{ош}$ – число элементов сообщения, принятых с ошибкой.

При передаче непрерывных (аналоговых) сообщений, например телефонных, верность передачи можно измерить среднеквадратичным отклонением принятого сигнала

$$\delta = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T [S(t) - S \odot(t)]^2 dt} \quad (1.2)$$

где T – время передачи сигнала $S(t)$;

$S'(t)$ – принятое значение сигнала $S(t)$.

Скорость передачи сообщений при разделении времени передачи и получения сообщения характеризуется удельными затратами времени на передачу сообщения от отправителя к получателю

$$R_c = W_c/T, \quad (1.3)$$

где W_c – объем сообщения; T – интервал времени от момента обращения абонента к системе с заявкой на передачу сообщения до момента получения сообщения получателем.

При организации связи в реальном масштабе времени скорость передачи сообщения системой связи целесообразно характеризовать удельными полезными затратами времени на передачу сообщения.

$$P = T_n/T, \quad (1.4)$$

где T_n – время, затраченное непосредственно на передачу сообщения.

Стоимость передачи сообщения измеряется удельными финансовыми затратами на передачу сообщений

$$\mathcal{E}_1 = M_c/W_c \text{ или } \mathcal{E}_2 = M_c/T_n, \quad (1.5)$$

где M_c – финансовые затраты абонентов на передачу сообщений. Первая формула – для передачи сообщений с разделением времени отправления и получения сообщения, вторая – для работы в реальном масштабе времени.

Надежность работы системы связи принято характеризовать коэффициентом (вероятностью) отказа. Под отказом следует понимать снижение хотя бы одного качественного показателя функционирования системы ниже допустимого уровня при нормальной эксплуатации системы связи.

Числовыми характеристиками, определяющими надежность системы связи, являются

– коэффициент отказа

$$K_{\text{отк}} = T_{\text{отк}}/T_{\text{раб}}, \quad (1.6)$$

где $T_{\text{отк}}$ – сумма интервалов времени, в течение которого система не функционировала по причине отказа; $T_{\text{раб}}$ – общее время действия системы связи,

– коэффициент готовности системы к работе после отказа

$$K_{\text{гот}} = T_{\text{ср}}/(T_{\text{ср}} + T_{\text{вос}}) \quad (1.7)$$

где $T_{\text{ср}}$ – среднее время работы системы связи между смежными отказами;

$T_{\text{вос}}$ – среднее время восстановления нормального функционирования системы связи после отказа.

Для систем связи важным параметром является интенсивность трафика (интенсивность нагрузки).

$$A = n \cdot T, \quad (1.8)$$

где n – средняя частота поступления вызовов в единицу времени; T – средняя продолжительность обмена.

Интенсивность трафика измеряется в Эрлангах – в честь датского ученого А.К. Эрланга (1878-1929 гг.), при условии, что и в n и в T использована одна и та же единица времени.

Внешние параметры системы являются функциями ее внутренних параметров. К числу основных внутренних параметров системы связи относятся: параметры технических средств передачи сообщений; параметры среды распространения сигналов; принципы эксплуатации технических средств передачи сообщений и организации каналов связи в среде распространения сигналов.

Важнейшими параметрами технических средств передачи сообщений являются энергетические параметры, от которых в значительной степени зависит структура системы связи. Параметры среды распространения в совокупности с энергетическими параметрами технических средств ограничивают достижимые значения верности, скорости и надежности передачи сообщений системой связи.

Принципы эксплуатации технических средств и организации каналов в среде распространения сигналов определяют структуру системы связи в целом, а также способы организации доступа к ее каналам. От них в значительной мере зависят надежность передачи сообщений, живучесть и доступность системы связи.

1.4. Критерии оценки качества систем связи

Сравнение и выбор вариантов построения систем связи, а также сравнение реальных и потенциальных возможностей существующих систем связи обычно осуществляется по критериям, учитывающим всю совокупность существенных внешних параметров систем.

Универсального критерия оценки качества систем связи не существует, так как он был бы громоздок вследствие необходимости включения в него всех внешних параметров и учета всех возможных ограничивающих факторов. Поэтому выбор критерия производится исходя из требований охвата этим критерием только наиболее важных внешних параметров системы и существующих ограничений.

К наиболее распространенным методам формирования обобщенных критериев относятся однопараметрические, аддитивные, мультипликативные и ценностные.

Однопараметрический метод предусматривает выбор одного из параметров системы связи в качестве обобщенного критерия оценки при учете остальных параметров путем введения на них ограничений. Если значения этих параметров не укладываются в заданные ограничения, то соответствующие варианты сразу же отбрасываются. Такой метод формирования обобщенного критерия прост и поэтому широко применяется.

Математическая задача поиска оптимального варианта в рассматриваемом методе формирования критерия оценки качества сводится к скалярной задаче принятия решения в условиях ограничений.

Основным недостатком метода является фактический учет только одного параметра.

Аддитивный и мультипликативный методы предусматривают преобразования наиболее существенных параметров системы.

Аддитивное преобразование производится путем приведения всех учитываемых параметров к единой основе с последующим суммированием. Чаще всего такой основой является стоимость достижения того или иного значения параметра, входящего в критерий. Наилучшим признается вариант, обеспечивающий минимум стоимости заданных значений параметров системы.

При мультипликативном формировании критерия качества используется произведение параметров системы связи, возведенных в степень.

Наиболее часто показатель степени принимает значение 1 или -1 , что отражает разный механизм воздействия того или иного параметра при одном и том же характере его изменения. Введением этих показателей добиваются того, чтобы воздействие параметров на критерий качества было одинаковым, например, увеличение каждого параметра должно вызывать лишь увеличение критерия качества.

Общим недостатком аддитивного и мультипликативного методов формирования критерия качества является возможность компенсации изменения одного параметра изменениями другого параметра (параметров) без учета важности параметра.

Метод формирования обобщенного критерия качества на основе ценности включаемых в критерий параметров является по существу развитием аддитивного и мультипликативного методов. Отличие заключается в том, что при выполнении преобразования для каждого параметра вводится коэффициент, отражающий ценность (полезность, важность учета) данного параметра при принятии решения о выборе того или иного варианта. Чаще всего при таком методе формирования критерия качества используется аддитивное преобразование параметров с присвоенными им коэффициентами полезности.

1.5. Система связи морской подвижной службы

Система связи морской подвижной службы (МПС) и морской подвижной спутниковой службы (МПСС) обеспечивает связь морских подвижных объектов (МПО) с наземными (береговыми) органами управления и службами, обеспечивающими безопасность мореплавания. МПО – это суда, плавучие буровые установки, исследовательские платформы и другие объекты, выполняющие производственные задачи, плавающие в акваториях морей и океанов. Связь с ними необходима для обеспечения безопасности их плавания, оперативного управления ими и обеспечения жизнедеятельности и безопасности находящихся на них людей.

Основным видом связи в МПС является радиосвязь, так как местонахождение МПО не позволяет использовать другие виды электросвязи. Кроме того, радиосвязь позволяет связываться с большим количеством абонентов, находящихся в различных направлениях, с объектами, местонахождение которых не всегда точно известно.

Однако, учитывая централизованный характер управления флотом в России, система связи морской подвижной службы (МПС) включает в себя развитую сеть наземных каналов связи между портами, пароходствами, Департаментом морского транспорта и другими береговыми объектами управления. Аналогичные системы существуют для флота рыбной промышленности и речного флота.

Основными задачами радиосвязи МПС являются:

- обеспечение безопасности мореплавания и охраны человеческой жизни на море;
- обеспечение оперативно-диспетчерского руководства работой флота и подразделений отрасли;
- обеспечение удовлетворения потребностей людей, связанных с эксплуатацией флота.

При решении указанных задач с помощью средств связи МПС осуществляются следующие операции:

- обмен сообщениями судов с судовладельцами и Департаментом морского транспорта;
- обмен сообщениями между судовладельцами, Департаментом морского транспорта и взаимодействующими ведомствами;
- обмен сообщениями между судами, судовладельцами, Департаментом и иностранными организациями;
- обмен частными сообщениями членов экипажей и пассажиров судов с абонентами наземных сетей связи;
- обеспечение членов экипажей и пассажиров судов общественной корреспонденцией.

Радиосвязь в системе МПС осуществляется посредством береговых и судовых радиостанций и радиостанций морских спасательных средств.

Береговые радиостанции осуществляют связь с судовыми радиостанциями, находящимися на обслуживании, и с радиостанциями морских спасательных средств независимо от их ведомственной или государственной принадлежности, а также с береговыми отечественными и иностранными радиостанциями.

Береговые радиостанции МПС, являясь узлами связи, помимо радиоканалов используют проводные, радиорелейные и спутниковые каналы связи для связи с организациями и ведомствами, участвующими в жизнедеятельности и производственной деятельности флота, а также с организациями других государств.

Береговые и судовые радиостанции, а также радиостанции морских спасательных средств и сил используют для организации связи как радиоканалы непосредственной связи, так и радиоканалы связи через ретрансляторы ИСЗ.

Характерными особенностями систем связи МПС являются:

- необходимость осуществления связи между радиостанциями различной ведомственной и государственной принадлежности, а значит, необходимость межведомственного и международного регламентирования вопросов радиосвязи;

- значительная географическая разобщенность объектов радиосвязи и, следовательно, широкий диапазон изменения протяженности и условий линий и каналов связи;

- многочисленность обслуживаемых радиостанций;

- широкий ассортимент технического оборудования радиостанций;

- сравнительно малые объемы и нерегулярный обмен сообщениями на радиоканалах связи для судовой станции и большие объемы сообщений, проходящих через береговые станции;

- необходимость передачи по радиоканалам сообщений различного вида;

- различные требования к качественным показателям передачи сообщений различного вида;

- ограниченность диапазонов радиоволн, выделенных для связи МПС;

- регламентация энергетических параметров судовых и береговых передающих устройств;

- нестабильные условия прохождения радиоволн в условиях различных радиолиний;

- размещение судовых средств радиосвязи в условиях ограниченного пространства на борту судна и др.

Перечисленные особенности накладывают отпечаток на структуру и организацию системы радиосвязи МПС.

1.6. Структура системы связи МПС и МПСС

В соответствии с решаемыми задачами в системе связи МПС выделяются четыре подсистемы:

- подсистема обеспечения безопасности мореплавания и охраны человеческой жизни на море;
- подсистема обеспечения оперативно-диспетчерского руководства флотом;
- подсистема наземной связи между подразделениями отрасли;
- подсистема обеспечения нужд экипажей и пассажиров судов.

Указанные подсистемы различаются требованиями к качественным показателям передачи информации, организацией взаимодействия структурных элементов системы связи, принципами использования технических средств, а в ряде случаев и самими техническими средствами.

В особую подсистему выделяют ведомственный радиоконтроль выполнения требований организации радиообмена и использованию технических средств. Спецификой этой подсистемы является ее непроемкий характер.

Составными частями подсистем являются службы радиосвязи. К таким службам относятся: служба радионаблюдения, служба радиосвязи, службы радиоосведомления и радиоопределения.

Система связи МПС является многоуровневой и обладает глобальной сетью связи, покрывающей все районы Мирового океана.

Первый (низший) уровень сети радиосвязи МПС составляют полносвязные сети, состоящие из радиолиний небольшой протяженности и построенные по принципу связи "каждый с каждым". Такие сети используются для связи радиостанций, расположенных в территориально ограниченном районе и требующих высокой оперативности радиообмена между собой. К ним относятся сети рейдовой и внутривертолетной радиосвязи, сети радиосвязи судов группового плавания, сети радиосвязи судов прибрежного плавания с береговыми радиостанциями.

Второй уровень единой сети связи МПС составляют сети радиосвязи судов с судовладельцами по средствам радиостанций-посредников, в качестве которых могут выступать как зональные радиоцентры МПС, так и любые другие береговые радиостанции, территориально отделенные от места расположения судовладельца. Частным случаем такой связи является радиосвязь через суда-посредники, базовые суда экспедиции и т.п.

Третий уровень сети связи МПС составляют ведомственные сети береговой связи, обеспечивающие связь береговых радиостанций МПС с

береговыми абонентами организаций, предприятий и служб судовладельцев, отвечающих за эксплуатацию судов, а также безопасность судов, их экипажей и пассажиров. Сети этого уровня состоят из находящихся в распоряжении ведомства радио, проводных, радиорелейных и других линий связи, как правило, арендованных у Министерства связи. Они обеспечивают связь береговых радиостанций с береговыми абонентами при помощи каналов прямого соединения (без коммутации), а также связь между береговыми службами, отвечающими за эксплуатацию судов, их безопасность и безопасность экипажей и пассажиров.

Четвертый уровень сети связи МПС составляют сети связи, состоящие из радио, проводных, радиорелейных и других линий связи между пунктами (узлами) ведомственной сети связи и береговыми абонентами, а также линии межведомственной, внутригосударственной и международной связи.

Управление сетью связи МПС децентрализовано и сосредоточено в узлах коммутации различных уровней (радиостанциях-посредниках, береговых радиостанциях, центрах коммутации сообщений и каналов береговых сетей связи).

На последних трех уровнях сети используются спутниковые линии связи через международные и национальные геостационарные и низкоорбитальные ИСЗ и наземные узловые станции связи, соединенные международными, национальными и ведомственными линиями связи с ведомственными, общегосударственными и международными сетями. Характерной особенностью использования спутниковых линий связи в нашей стране является то, что наземные (береговые) станции спутниковой связи находятся в ведении ДМТ.

В 1973 г. Международная морская организация (ИМО) приняла резолюцию А.283(VIII), пересматривающую техническую политику в отношении разработки систем связи, используемых при бедствии на море. В основу было заложено использование спутниковой связи и автоматизированных систем оповещения о бедствии и передачи информации, связанной с безопасностью мореплавания.

Этим была заложена база для разработки и внедрения Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ).

Глава 2. НАЗЕМНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

2.1. Общие сведения

Наземные системы и сети электросвязи строятся на общих принципах и объединяются между собой для решения задач управления промышленностью, транспортом и удовлетворения потребностей населения.

По своему назначению они подразделяются на телефонные и телеграфные системы и сети связи индивидуального пользования. Все остальные виды связи обеспечиваются с помощью этих двух систем. Узловые станции позволяют стыковать эти системы, используя для передачи сообщений общие линии связи. Отдельно следует рассматривать системы, предназначенные для передачи массовых сообщений (проводное и радиовещание, телевидение), хотя в ряде случаев для магистральной трансляции программ могут использоваться общие линии связи.

По своему значению все они подразделяются на локальные (местные), общегосударственные и международные. Тенденцией развития наземных сетей является их интеграция в глобальные сети и сети связи, обеспечивающие связь по всей территории земной суши. В настоящее время автоматическая телефонная связь охватывает территории всех европейских государств, североамериканского континента, ряд азиатских государств. Абонент такой автоматической телефонной сети имеет возможность, используя телефонные коды автонабора, соединиться с другим абонентом на территории практически любой страны, передать по линиям телефонной связи факсимильное сообщение. Телефонные каналы автоматической телефонной сети используются для передачи данных персональных компьютеров и информационно-вычислительных центров. Связь осуществляется в реальном масштабе времени. Аналогично развивается сеть телеграфной связи.

Названные системы и сети связи строятся на базе кабельных, оптоволоконных, радиорелейных, тропосферных и спутниковых линий связи. Кроме того, используются линии радиосвязи, работающие в диапазоне коротких и ультракоротких волн. Для более полного использования указанных линий применяется уплотнение каналов связи. Линии радиосвязи относятся к малокабельным линиям, обеспечивающим передачу 1-4 каналов передачи сообщений (телеграф или телефон). Остальные виды линий связи позволяют организовать передачу значительного количества каналов. Учитывая различие свойств проводных воздушных линий (ВЛ), кабельных линий на базе симметричного кабеля (СК), коаксиального кабеля (КК), сверхпроводящего кабеля (СПК), волновода (В) и оптического кабеля (ОК), емкость этих линий можно охарактеризовать табл. 2.1.

Емкость радиорелейных линий связи достигает 6000-8000 каналов, тропосферные линии связи способны передавать до 120 телефонных каналов, а спутниковые линии связи могут ретранслировать свыше 20000 каналов связи. В данном разделе рассматриваются общие принципы построения, характеристики и особенности различных систем и сетей, использующих так называемые физические линии связи (проводные и кабельные).

Таблица 2.1

Тип линии	ВЛ	СК	КК	СПК	В	ОК
f , Гц	до 10^5	до 10^6	до 10^7	до 10^9	10^{10} - 10^{11}	10^{14} - 10^{15}
Число каналов	10	100	1000	1000		10000

2.2. Телефонные сети наземной связи

Структура построения автоматической телефонной связи показана на рис. 2.1. Основой ее являются автоматические телефонные станции (АТС) различного уровня. Городские (ГАТС) и районные (РАТС) станции крупных городов или районов края (области) обеспечивают связью абонентов местной сети. На них могут замыкаться производственные (учрежденные) станции (ПАТС) крупных предприятий имеющие «выход в город».

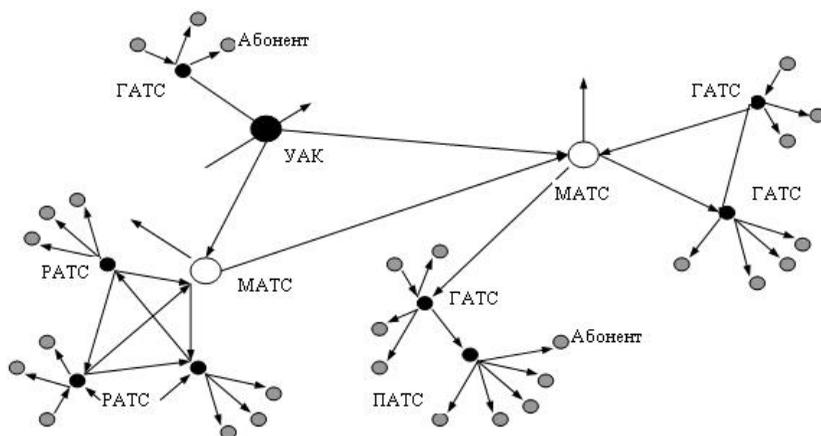


Рис. 2.1. Схема построения общегосударственной автоматической телефонной сети

ГАТС и РАТС связаны между собой по принципу «каждый с каждым» пучками кабельных линий связи, что позволяет абонентам разных районов города связываться между собой. ГАТС и РАТС связаны с междугородними (МАТС) станциями города или района области, которые в свою очередь связаны с узлами автоматической коммутации (УАК), выполняющими транзитные соединения. УАК подразделяются на два уровня. Междугородняя телефонная сеть нашей страны имеет двенадцать УАКІ (первого уровня), связанных пучками телефонных каналов по принципу «каждый с каждым». Каждый УАКІ является центром коммутации, обслуживающим определенный географический район страны.

Узлы автоматической коммутации второго уровня (УАКІІ) являются промежуточными звеньями между УАКІ и МАТС данной территории. Некоторые МАТС могут быть связаны с УАКІ, а некоторые с УАКІ и УАКІІ. Коммутационные устройства АТС и УАК строятся на базе декадно-шаговых, квазиэлектронных и электронных АТС разных поколений, соединительные линии – на базе телефонных кабелей, оптико-волоконных кабелей, радиорелейных, тропосферных и спутниковых линий связи.

Основным каналом телефонной сети является стандартный канал тональной частоты (канал ТЧ) с шириной спектра 300...3400 Гц, который обеспечивает качественную передачу речи без преобразования частоты речевого сигнала. Для повышения эффективности соединительных линий осуществляется частотное или временное уплотнение каналов связи, когда по одной линии передается несколько (от единиц до тысяч) телефонных каналов, каждый из которых имеет стандартную полосу 3100 Гц. Уплотнение и разделение каналов производится на узловых станциях и узлах автоматической коммутации.

Кроме телефонных сообщений, по линиям телефонной сети передаются факсимильные сообщения абонентов, имеющих абонентские факсимильные аппараты, а также производится среднескоростной обмен данными между абонентскими пунктами сети.

Соединение абонентов телефонной сети между собой достигается набором телефонного адреса, представляющего собой комбинацию цифр – номер. В нашей стране принят зональный принцип нумерации. В соответствии с этим принципом вся страна разделена на зоны с семизначной нумерацией. Территория зон нумерации совпадает с территорией зон сети первого уровня обслуживаемых УАКІ. Всего таких зон в границах бывшего СССР 171. Емкость сетей в зоне нумерации не превышает восьми миллионов.

2.3. Телеграфные сети наземной связи

Второй по величине и значению системой связи является общегосударственная телеграфная система связи, объединяющая три сети. Основ-

ной, наиболее крупной и нагруженной, является телеграфная сеть общего пользования, которая объединяет большое количество различных предприятий связи: городских и сельских отделений, районных узлов и телеграфных станций на территории страны. Сеть общего пользования предоставляет услуги телеграфной связи населению, предприятиям, организациям через отделения связи. Второй по масштабам сетью является сеть абонентского телеграфирования (АТ), которая обслуживает госучреждения, предприятия и организации с помощью оконечных телеграфных аппаратов, установленных непосредственно у абонентов. Абонентский телеграфный аппарат предоставляет каждому абоненту возможность в любое удобное для него время связаться с любым другим абонентом сети для проведения переговоров или передачи телеграмм. Сеть АТ охватывает всю страну, объединяет крупнейшие предприятия и организации во всех городах страны и является одной из крупнейших в мире.

В состав общегосударственной телеграфной системы связи входят также элементы международной сети Телекс. Международная абонентская сеть Телекс объединяет абонентов большинства стран мира. В нее включены предприятия, организации и фирмы различных городов нашей страны, имеющие постоянные экономические и другие связи с предприятиями, фирмами и организациями зарубежных стран. Число абонентов, включенных в эту сеть, составляет около миллиона. В настоящее время ведутся разработки по объединению сетей Телекс и АТ на территории России. Абонентом сетей АТ и Телекс может стать любое юридическое и физическое лицо, имеющее потребность в подобном виде связи, оплатившее установку абонентского аппарата и вносящее абонентскую плату за пользование сетью. В этих сетях используется обмен телеграфной информацией со скоростью 50 Бод с помощью буквопечатающих аппаратов-телетайпов или персональных компьютеров, выполняющих ту же функцию.

Телеграфные сети, предназначенные для передачи индивидуальных сообщений, как и все другие подобные сети, имеют радиально-узловую структуру построения. При этом сеть состоит из узловых пунктов связи (УП), а также соединяющих их абонентских линий (АЛ) и каналов телеграфной связи (КТ). Пункты связи бывают оконечные и узловые. Телеграфные сети нашей страны имеют узловые пункты трех уровней. Все оконечные пункты, расположенные на территории районов, включаются в узловые пункты первого уровня (УП1) – районные узлы (РУ). В свою очередь все РУ области или края соединяются с узлом второго уровня (УП2) – областным телеграфным узлом (ОУ). Последние связаны с узлами третьего уровня (УП3) – главными узлами зон, регионов (ГУ). Все главные узлы сети связаны между собой по принципу «каждый с каждым». Особое место в государственной телеграфной сети занимает Центральный телеграф города Москвы. Являясь самым крупным УП, он выполняет функции руководящего в оперативном отношении узла сети. Наиболее многочислен-

ными пунктами сети являются оконечные пункты, в которых начинается и заканчивается процесс передачи каждого сообщения. Оконечные пункты связаны с узловыми абонентскими линиями связи. Связь между УП осуществляется по телеграфным каналам, образуемым с помощью многоканальных систем передачи. Принцип построения телеграфной сети показан на рис. 2.2.

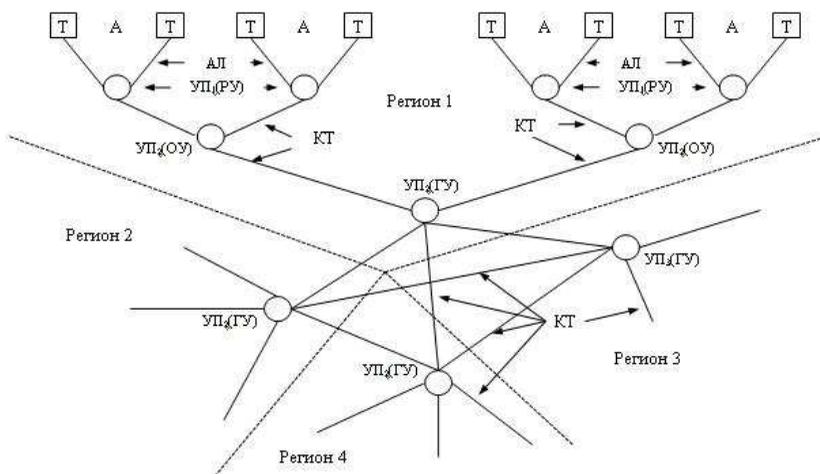


Рис. 2.2. Принцип построения телеграфной сети

При радиально-узловом принципе построения сети все сообщения в процессе передачи проходят через УП. Промежуточных узлов может быть от одного до шести.

На телеграфных сетях используются два способа передачи сообщений: передача сообщения в реальном масштабе времени с применением коммутации каналов связи и передача сообщения с задержкой во времени за счет накопления сообщений в узлах связи и последующей их передачи в виде пакетов сообщений – коммутация сообщений. Узловые пункты второго и третьего уровней могут использовать смешанные способы передачи сообщений. Коммутация каналов и сообщений в них производится с помощью так называемых центров коммутации каналов и сообщений, построенных на базе ЭВМ. Смешанный способ применяется на телеграфной сети общего пользования. Такая сеть получила название сети прямых соединений (ПС). Способ передачи телеграмм каждой станцией выбирается автоматически в зависимости от загрузки исходящих каналов. При наличии свободных каналов в нужном направлении осуществляется прямое соединение (коммутация канала); если каналы заняты, сообщение посту-

пает в накопитель и передается дальше после освобождения канала (коммутация сообщений).

В сетях АТ и Телекс используется способ коммутации каналов, обеспечивающий непосредственное соединение абонентов и обмен сообщениями в реальном масштабе времени.

Узловые пункты сетей АТ и Телекс оборудованы автоматическими станциями коммутации каналов, которые позволяют устанавливать непосредственное соединение между абонентами. Устройство и работа станций коммутации каналов, а также процесс установления соединений на сетях АТ и Телекс во многом аналогичен телефонной сети, поэтому автоматические станции коммутации каналов в сетях ПС, АТ и Телекс имеют много общего с АТС. Абоненты сети Телекс через коммутационную станцию Центрального телеграфа в Москве, которая является узловой станцией третьего уровня, или другие УПЗ выходят на иностранных абонентов по международным линиям связи. Внутри страны абоненты сети Телекс используют национальные линии связи. Телеграфные каналы сетей АТ и Телекс образуются путем вторичного уплотнения телефонных каналов с помощью аппаратуры уплотнения телеграфных каналов связи.

Телеграфные сети, так же как и телефонные, используются для передачи данных. Для этого обычно используются сети АТ. Передача данных ведется со скоростью до 200 Бод, что позволяет использовать узкополосные телеграфные каналы связи. Для среднескоростных систем передачи данных со скоростью до 9600 Бод (Бит/с) используются телефонные каналы связи, а для больших скоростей групповые каналы, объединяющие несколько телефонных каналов связи.

В качестве оконечной аппаратуры систем передачи данных используется аппаратура, обеспечивающая повышенную степень верности принятых сообщений (см. 6 раздел), и модемы, обеспечивающие формирование сигнала, передаваемого в канал связи, и его демодуляцию при приеме.

Соединение абонентов телеграфной сети между собой осуществляется путем набора (передачи) телеграфного адреса, представляющего собой комбинацию цифр – номер.

Нумерация абонентов сети прямых соединений (ПС) строится по следующей системе. Абонентам сети ПС (отделениям связи) присвоен шестизначный номер сети. Первые три цифры являются индексом области (края, республики) или города (для крупных городов), а остальные три – номер отделения связи на территории области или города.

Например: 213014 – номер ПС, соответствующий 14-му отделению связи в городе Владивостоке Приморского края.

Абонентский телеграф использует аналогичную нумерацию. Для соединений в сети АТ используются дополнительные индексы, предваряющие номер АТ, которые обеспечивают коммутацию узловых пунктов для выхода на необходимую зону – узловые индексы.

Кроме общегосударственной системы телеграфной связи, в нашей стране существуют ведомственные, обеспечивающие функционирование различных отраслей: транспорта, рыбного хозяйства и т. п. В этих системах используются сети связи, построенные как на базе коммутации каналов и сообщений, так и на базе некоммутируемых каналов связи, обеспечивающих прямое соединение наиболее важных абонентов между собой. Каналы связи этих сетей могут быть собственностью ведомства или арендуются у других ведомств, главным образом у Министерства связи РФ.

2.4. Проводные (кабельные) системы связи и линии передачи

В большинстве проводных линий передачи электрические сигналы передаются по проводникам, которые являются направляющей средой для сигналов. Проводные линии связи можно подразделить на воздушные и кабельные. По месту прокладки различают кабельные линии надземные, подземные и подводные, по назначению – магистральные, зоновые и местные, по конструкции – симметричные и коаксиальные линии.

Любая двухпроводная линия может быть представлена четырехплюсником, эквивалентная схема которого показана на рис. 2.3.

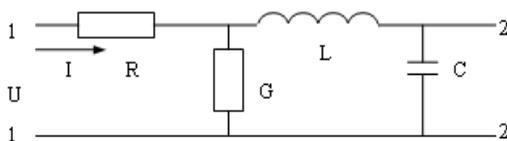


Рис. 2.3. Эквивалентная схема двухпроводной линии

R , G , L , C – сопротивление проводников, проводимость изоляции, индуктивность и емкость линии являются первичными параметрами линии.

При значительной длине линии они являются распределенными и определяются как погонные для одного километра линии. При прохождении сигнала, характеризующегося током I и напряжением U на R и L , происходит падение напряжения, а через G и C утечка тока. В результате на каждом отрезке линии сигнал затухает. Затухание зависит также от частоты сигнала.

Линия связи характеризуется также и вторичными параметрами: Z_v – сопротивление кабеля для электромагнитной волны, несущей сигнал (волновое сопротивление), α – погонное затухание, характеризующее ослабление сигнала на 1 км длины линии. Оба параметра зависят от частоты сигнала. На рис.2.4 показана такая зависимость для коаксиальной линии.

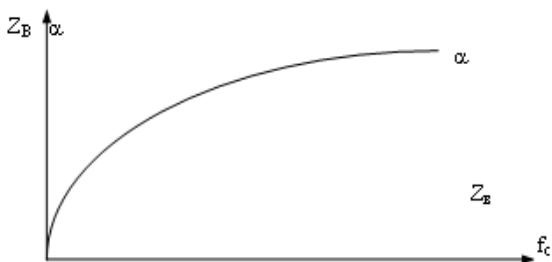


Рис. 2.4. Зависимость вторичных параметров коаксиальной линии от частоты сигнала

Дальность передачи сигналов по физическим цепям определяется, прежде всего, затуханием сигнала, поэтому дальность зависит от мощности передатчика, чувствительности приемника и параметров самой линии. Так, например, при мощности входного сигнала 1 мВт и чувствительности приемника 1 мкВт дальность связи по симметричному кабелю с диаметром жил 0,5 мм не превышает 25 км. Для увеличения дальности связи используются промежуточные усилители, расположенные на промежуточных усилительных пунктах или встроенные в сам кабель и получающие по нему же энергию для работы. На рис. 2.5 показан график изменения мощности сигнала при усилении его в промежуточных пунктах.

Сигналы абонентов с помощью каналообразующей аппаратуры (КОА) объединяются в многоканальный сигнал, усиливаются усилителем передачи (УП) и поступают в линию (кабель). Линейные усилители (ЛУ) компенсируют потери мощности сигнала. ЛУ устанавливаются на промежуточных, как правило, необслуживаемых, усилительных пунктах (НУП). ЛУ используются в системах с частотным уплотнением каналов. В системах с временным уплотнением каналов вместо ЛУ используются регенераторы, восстанавливающие параметры импульсных сигналов, то же самое применяется в системах с цифровой передачей сигналов.

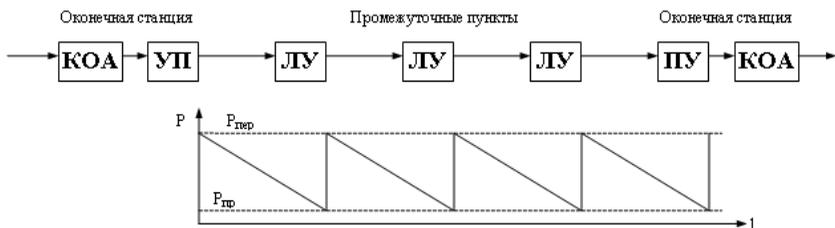


Рис. 2.5. Структурная схема кабельной системы связи и график изменения мощности сигнала в длинной линии связи при усилении сигнала в промежуточных пунктах

В зависимости от типа кабеля, типа каналообразующей и усилительной аппаратуры на оконечных станциях, числа каналов и метода уплотнения длина усилительных участков составляет от 1,5 до 20 км. Длина регенерационных участков до 5 км.

Воздушные линии передачи состоят из металлических проводов, подвешенных на опорах с помощью изоляторов и специальной арматуры. Первая воздушная телефонная линия большой протяженности была построена в 1854 году между Петербургом и Варшавой. В начале 70-х годов прошлого века была построена телеграфная линия от Петербурга до Владивостока протяженностью около 10000 км. До 1940 года воздушные линии были доминирующими на междугородних линиях связи. В настоящее время воздушные линии находят применение на распределительных сетях проводного вещания в качестве магистральных и распределительных линий в городах и абонентских линиях в сельской местности, а также на внутрипроизводственных сетях.

К достоинствам воздушных линий необходимо отнести низкую стоимость и малые сроки строительства. Недостатки: незащищенность линий от внешних факторов, недолговечность, большое затухание сигнала, малокабельность (3-12 каналов). Длина усилительных участков воздушных линий может достигать 250 км. Это объясняется возможностью передачи сигналов с большими амплитудами.

В отличие от воздушных линий, кабельные линии связи обладают долговечностью, защищенностью от внешних факторов, позволяют передавать значительное количество каналов, но требуют больших материальных затрат при прокладке. Достоинством кабельных линий связи является возможность их прокладки по дну морей и океанов (подводные кабели).

Затухание сигнала в кабеле зависит от частоты сигнала и возрастает с ростом частоты. Симметричные кабели обладают большим затуханием по сравнению с коаксиальными. Возрастание затухания с ростом частоты ограничивает диапазон частот, передаваемых по кабельной линии связи частотами 10^7 – 10^8 Гц, а, следовательно, и количество каналов, которое можно организовать по кабельной линии. Так, по симметричному кабелю можно организовать от 50 до 500 каналов, а по коаксиальному до 30000 телефонных каналов связи с использованием частотного уплотнения каналов и до 2000 телефонных каналов с временным уплотнением.

Как уже отмечалось выше, кабели подразделяются на симметричные и коаксиальные. Они отличаются количеством пар проводников, типом изоляции и защиты от окружающей среды. На магистральных линиях связи применяются комбинированные кабели. Сечение комбинированного кабеля магистральной связи КМ-8/6 показано на рис. 2.6.

Маркировка КМ-8/6 обозначает, что это коаксиальный междугородний кабель (КМ), имеющий восемь средних и шесть малогабаритных коаксиальных пар; кроме того, кабель имеет одну четверку, восемь симметрич-

ных пар и шесть отдельных жил. Средние коаксиальные пары используются для организации телефонных каналов и каналов телевидения. По малогабаритным коаксиальным парам обеспечивается распределение телефонных каналов между городами вдоль трассы. Симметричные линии и одиночные жилы используются для служебной связи, сигнализации и телемеханики по магистрали.

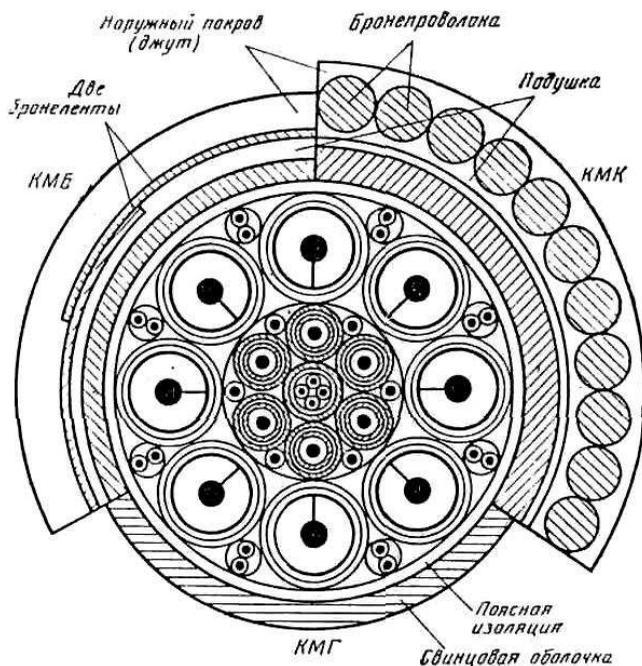


Рис. 2.6. Комбинированный кабель КМ-8/6

Разновидностями проводных линий связи являются волноводные линии и линии, использующие сверхпроводящие кабели. Обладая пропускной способностью, соизмеримой с коаксиальным кабелем, они отличаются целым рядом свойств. Волноводные линии связи просты по конструкции, характеризуются сравнительно малым затуханием, но передача сигналов по ним возможна только в миллиметровом диапазоне волн. Кроме того, к прокладке и монтажу волноводных линий предъявляются исключительно жесткие требования. Сверхпроводящие кабели обладают исключительно малым затуханием в области до 10^9 Гц по сравнению с обычными кабелями, повышенной защищенностью от внешних помех. Недостатки: высокая стоимость кабеля, значительные затраты на сооружение и эксплуатацию, так как через каждые 10-20 км трассы необходимо иметь криогенную

станцию для прокачки по кабелю хладогена (жидкого азота, водорода или гелия), создающего нужную низкую температуру проводников (близкую к 0К).

Перечисленные недостатки ограничивают применение волноводных и сверхпроводящих линий опытными участками или небольшими по протяженности специальными линиями связи.

2.5. Волоконно-оптическая связь

Изобретение в 1958 году лазера (Н.Г. Прохоров и А.М. Басов) привело к созданию волоконно-оптических систем связи. В качестве направляющей среды для электромагнитных волн оптического диапазона используются одно-, двух- и многослойные стеклянные волокна – волоконные световоды. Световоды, способные передавать световой сигнал с очень малыми потерями, были получены в начале 70-х годов, тогда же были созданы полупроводниковые лазеры, работающие в непрерывном режиме при комнатной температуре. Для передачи по волоконным световодам используются электромагнитные волны оптического диапазона в полосе частот 10^{14} - 10^{15} Гц.

Волоконно-оптические световоды изготавливаются из кварцевого стекла – двуокиси кремния SiO_2 . Стандартное волокно имеет двухслойную структуру с диаметром сердцевинки 50 мкм, диаметр оболочки 125 мкм.

Физические процессы, происходящие в волоконном световоде при передаче сигналов, удобно пояснить на примере, показанном на рис. 2.7.

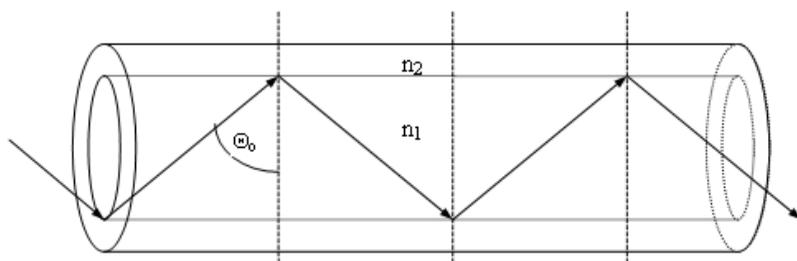


Рис. 2.7. Двухслойный световод

Если луч света направить на входной торец световода, то при определенных условиях он будет распространяться внутри сердечника путем последовательных отражений от границы раздела двух сред: сердечника и оболочки. Подобное распространение луча наблюдается при одновременном выполнении условий:

– луч должен падать на границу раздела под некоторым углом $\Theta > \Theta_0$, где Θ_0 – предельный угол отражения;

– оптическая плотность сердечника должна быть больше оптической плотности оболочки;

– коэффициент преломления сердечника n_1 должен быть больше коэффициента преломления оболочки n_2 .

Принципиально различают два типа волокон: ступенчатое и градиентное. У ступенчатого волокна коэффициент преломления сердечника постоянен по всему поперечному сечению. У градиентного сердечник многослойный и коэффициент преломления плавно уменьшается от центра к периферии. На границе сердечника и оболочки коэффициенты преломления $n_1 = n_2$.

Структура электромагнитного поля внутри волоконного световода очень сложная. На рис. 2.8 показаны различные типы световодов.

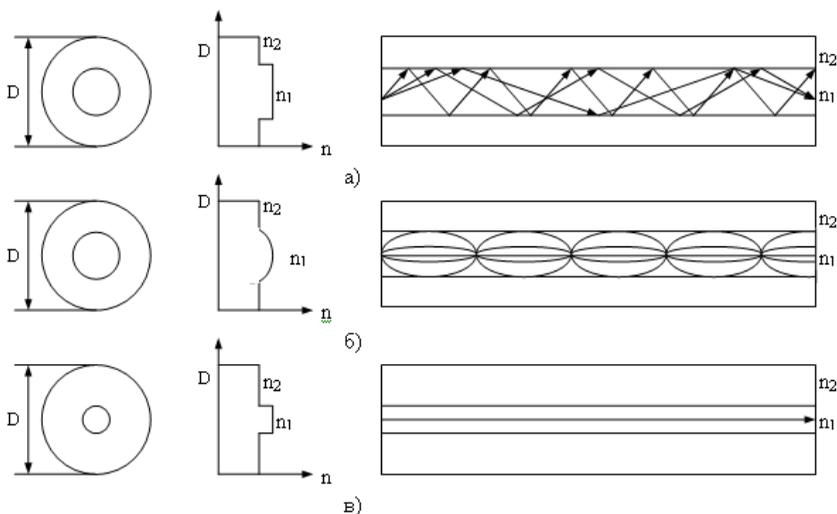


Рис. 2.8. Типы световодов: а) ступенчатый многомодовый; б) ступенчатый градиентный; в) одномодовый

В зависимости от соотношения между диаметром световолокна и длиной волны в световоде может распространяться одна волна (одномодовый режим) или одновременно много типов волн (многомодовый режим). В свою очередь многомодовый режим подразделяется на ступенчатый и градиентный.

Одномодовый режим сложен из-за того, что диаметр сердечника должен быть порядка 6 мкм. Многомодовые световоды имеют диаметр сердечника 50-100 мкм, поэтому задача его возбуждения и соединения участков значительно проще. Несмотря на сложность одномодового режима, в новых разработках ВОКС используется одномодовый режим. Причинами

этого являются уменьшение в несколько раз затухания сигнала и искажений сигнала, вызванных дисперсией, значительно более широкая полоса передаваемых частот.

В оптических системах передачи применяются в основном те же принципы образования многоканальной связи, что и в обычных системах передачи по электрическим кабелям, а именно частотное и временное уплотнение каналов. В первом случае сигналы различаются по частоте и имеют аналоговую форму передаваемого сообщения. Во втором случае каналы различаются по времени, а импульсы имеют дискретный вид. Это соответствует цифровой передаче с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ). Электрический сигнал создаваемый тем или иным методом модулирует оптическую несущую, а затем передается по оптическому кабелю.

Возможны два вида модуляции: внешняя и внутренняя.

Электрический сигнал после прохождения электронной части аппарата модулирует оптический сигнал для обеспечения возможности передачи его по оптическому кабелю. Оптический сигнал создается в оптическом передатчике, в качестве которого чаще всего используется светоизлучающий диод или полупроводниковый лазер. Исходный электрический сигнал либо непосредственно подается на излучатель, в результате чего осуществляется прямая (внутренняя) модуляция мощности излучения электрическим сигналом, либо управляет работой внешнего модулятора, на вход которого от источника поступает непрерывное или импульсное излучение с постоянными параметрами. Для систем с полупроводниковыми лазерами применяется, как правило, внутренняя модуляция.

В основном используется метод модуляции интенсивности оптической несущей, при котором по закону изменения амплитуды электрического сигнала изменяется мощность оптического излучения, подаваемого в кабель. Частотная и фазовая модуляция не могут применяться из-за шумового характера полупроводниковых источников излучения работающих в оптическом диапазоне, т.е. сигнал не будет синусоидальным, частотный спектр которого имеет конечную ширину. Тем не менее, данные виды модуляции могут быть реализованы путем изменения соответствующих параметров модулирующего сигнала.

Выбор метода модуляции интенсивности для оптических систем передачи обусловлен также простой реализацией их на передающем и приемном концах линии. На передающем конце используется полупроводниковый лазер обеспечивающий преобразование электрического сигнала в оптический сигнал. Прием осуществляется фотодетектором с квадратичной характеристикой, выходной ток фотодетектора пропорционален входной мощности. Следовательно, при преобразовании оптического сигнала в электрический сигнал его форма сохраняется.

Современные оптические системы передачи, как правило, цифровые. Это объясняется тем, что передача аналоговых сигналов требует высокой

степени линейности промежуточных усилителей, которую трудно обеспечить в оптическом диапазоне. При емкости, достигающей десятков тысяч телефонных каналов, скорости передачи достигают 2000 МБит/с.

Наиболее распространенной волоконно-оптической системой связи (ВОСС) является цифровая система с временным уплотнением каналов и импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) интенсивности излучения источника. Двусторонняя связь осуществляется по двум волоконным световодам. В обоих направлениях сигналы передаются на одной и той же оптической несущей. Структурная схема волоконно-оптической системы связи с ИКМ приведена на рис. 2.9.



Рис. 2.9. Структурная схема волоконно-оптической системы связи

В состав системы входят оптический передатчик, оптический приемник и волоконно-оптическая линия связи на базе оптического кабеля (ОК). Аналоговые информационные сигналы преобразуются в цифровые с помощью импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). ИКМ сигналы проходят через преобразователь кода (ПК) формирующий требуемую последовательность импульсов, согласующий уровни по мощности между электрическим и оптическим лазером, или светодиодом на передающем конце и фотодетектором на приемном конце. Кроме того, ПК осуществляет преобразование двухполярного квазитроичного кода, принятого в аппаратуре ИКМ, в двухуровневые сигналы, используемые для передачи по ОК.

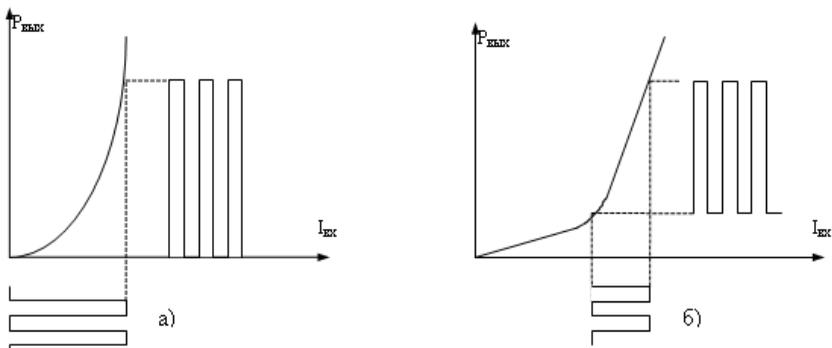


Рис. 2.10. Зависимость $P_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$ для а) светодиода и б) полупроводникового лазера

Передача осуществляется с помощью преобразователя электрического сигнала, выполненного на фотодиоде (ФД), в оптический (ОЭП). Зависимости мощности оптического излучения от величины входного тока светодиода и полупроводникового лазера показаны на рис. 2.10. Согласующие устройства (СУ) служат для согласования элементов схемы.

В процессе распространения оптического сигнала вдоль ОК энергия его уменьшается из-за затухания создаваемого средой распространения.

Величина затухания определяется длиной волны светового луча и материалом, из которого изготовлен световод. Кроме того в процессе распространения наблюдается дисперсия сигнала, обусловленная различными скоростями распространения сигналов с разными длинами волн и различной длиной пути, пройденного оптическими сигналами в световоде.

Возникновение дисперсии иллюстрируется рис. 2.11.

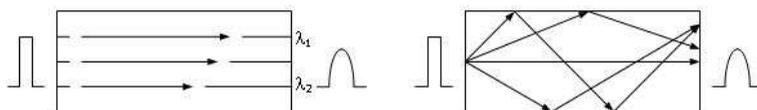


Рис. 2.11. Дисперсия оптического сигнала в световоде

Для компенсации влияния затухания и дисперсии оптического сигнала в оптическом кабеле через определенные расстояния (10...70 км) вдоль оптической линии располагаются линейные регенераторы (ЛР), в которых сигнал восстанавливается и усиливается до требуемого уровня. В регенераторе содержатся два полукомплекта (для двусторонней связи), в которых оптический сигнал преобразуется в электрический, регенерируется (восстанавливается по форме), усиливается, вновь преобразуется в оптический и передается далее по ОК. В принципе возможно применение чисто оптических регенераторов на основе оптических квантовых усилителей.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) широко используются для межстоечных соединений в цифровых коммутаторах и новых АТС. Широкое применение ВОЛС получили на магистральных линиях связи, в том числе и на трансокеанских.

Волоконно-оптические световоды изготавливаются из кварцевого стекла – двуокиси кремния SiO_2 . Стандартное волокно имеет двухслойную структуру с диаметром сердцевины 50 мкм, диаметр оболочки 125 мкм.

Измерение потерь светопропускания световода дает возможность построить зависимость затухания оптической мощности светового сигнала, отнесенного к единице длины волокна, от длины оптической волны (спектр потерь пропускания). Такая зависимость для кварцевого волокна приведена на рис. 2.12.

Величина затухания (потери, отнесенные к длине волокна) определяется по формуле

$$B = (1/L) \cdot 10 \lg(P_{\text{вх}}/P_{\text{вых}}),$$

где L – длина измеряемого отрезка, км; $P_{\text{вх}}$ – мощность лазерного излучения, введенная во входной торец световода; $P_{\text{вых}}$ – оптическая мощность, зафиксированная фотодиодом на выходном торце световода.

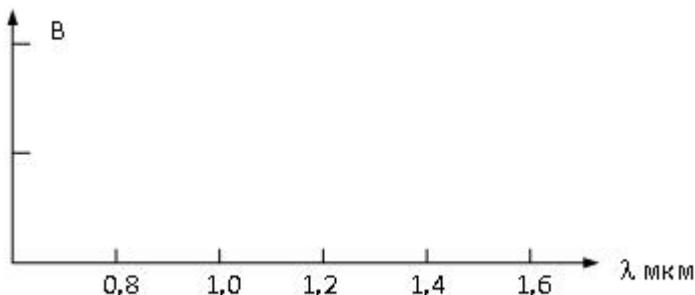


Рис. 2.12. Спектр потерь пропускания в кварцевом волокне

Исследования двухслойных кварцевых световодов показывают, что величина потерь пропускания не является константой, а зависит от длины волны используемого излучения, причем эта зависимость одноптипа для разных образцов кварцевых волокон. Пики потерь пропускания обусловлены гидроксильными группами ОН, от которых полностью не удается избавиться, и механизм поглощения носит резонансный характер на некоторых определенных длинах волн. Между пиками потерь имеются участки с минимальным затуханием, и в целом затухание с ростом длины волны уменьшается. Потери, обусловленные рассеянием на собственных неоднородностях чистого кварца (так называемое релеевское рассеяние), представляют собой неустранимые фундаментальные потери. Их значение определяет теоретический предел прозрачности кварцевых волокон. Руководствуясь зависимостью, приведенной на рис. 2.9, можно сделать вывод, что наименьшие потери энергии в световоде будут для длин волн $\lambda = 0,82$ мкм (B около 2,5 дБ/км), $\lambda = 1,3$ и 1,55 мкм ($B = 0,4-1,4$ дБ/км).

Дальнейшее развитие ВОЛС связано с продвижением в более длинную волновую инфракрасную область. Здесь значительно меньше релеевские потери. Оценки показывают, что при $\lambda = 2-2,5$ мкм могут существовать "окна прозрачности" с потерями на уровне 0,001 и даже 0,0001 дБ/км. При этом возникает необходимость использовать для изготовления волокна вместо кварца другие материалы, например тетрафторид циркония или фторид бериллия. Передатчики и приемники излучения также должны строиться на другой основе.

В настоящее время при изготовлении волокон используются стекла с высоким содержанием SiO_2 , многокомпонентные стекла и пластики. Лучшими характеристиками для получения необходимой разности показателей преломления сердечника и оболочки обладают волокна, изготовленные из двуокиси кремния с добавлением других окислов металлов и компонентов (например, P_2O_5 ; F; GeO_2). Многокомпонентные стекла и пластики нашли ограниченное применение в электросвязи, так как их характеристики значительно уступают характеристикам волокон, изготовленных из кварцевого стекла.

Для получения высококачественного оптического волокна, применяется метод химического осаждения из газовой фазы, а слои легированной двуокиси кремния наносятся как на внутреннюю поверхность трубы, так и на внешнюю поверхность стержня, изготовленных из кварцевых стекол.

Наиболее широкое применение получили химические структуры $\text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{F}$ и SiO_2 при формировании оболочки; $\text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{GeO}_2$ и $\text{SiO}_2 - \text{GeO}_2$ – сердечника.

В основном ВОЛС характеризуются тремя параметрами: длиной волны (короткая 0,82 мкм, длинная 1,3 и 1,55 мкм); типами волокон (многомодовое и одномодовое); источником излучения (лазер или светодиод). Затухание оптических волокон уменьшается с увеличением длины волны до наступления молекулярной абсорбции. В своем развитии ВОЛС прошли три этапа (поколения), характеризующиеся применением различных длин волн оптического излучения (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Этапы развития ВОЛС

Этапы	1-е поколение 70-е годы	2-е поколение 80-е годы	3-е поколение 90-е годы	Перспектива
λ (мкм)	0,82	1,3	1,55	2–4
Тип волокна	Кварц-многомодовое	Кварц-одномодовое	Кварц-одномодовое	Фториды
Затухание	2,5 дБ/км	0,4-0,6 дБ/км	0,2-0,4 дБ/км	< 0,1 дБ/км
Тип излучателя и приемника	Гетеролазер GaAlAs, кремниевый p-i-n фотодиод и лавинный диод	Гетеролазер InGaAsP, фотодиоды на основе InGaAsP	Гетеролазер InGaAsP, фотодиоды на основе InGaAsP	Акустооптический и оптико-акустический преобразователи

Этапы	1-е поколение 70-е годы	2-е поколение 80-е годы	3-е поколение 90-е годы	Перспектива
Пропускная способность (каналы)	500-2000	2000-5000	5000-8000	30000 и более
Длина регенерационного участка (км)	20-30	до 100	до 250	свыше 1000

При создании ВОСС используются оптические кабели, состоящие из большого количества волокон. Конструкция ОК может быть различной, но существующие типы ОК можно подразделить на четыре группы:

- 1) кабели повивной концентрической скрутки;
- 2) кабели с профилированным (фигурным) сердечником;
- 3) плоские кабели ленточного типа;
- 4) кабели пучковой скрутки.

Некоторые из них показаны на рис. 2.13. Оптические волокна 1 повивного кабеля свободно размещаются внутри полиэтиленовых трубок 2, скручиваются вокруг сердечника 3 и скрепляются полиэтиленовой лентой 4. Сверху накладывается оболочка 5. Для повышения прочности кабеля сердечники выполняются из стального тросика, в некоторых случаях используется кевлар.

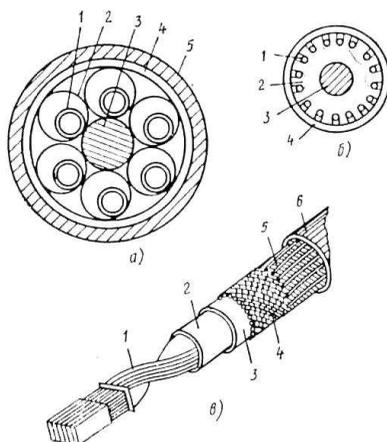


Рис. 2.13. Оптические кабели: а) повивной, б) фигурный, в) ленточный

Основой ленточной конструкции оптического кабеля является пластмассовая лента с запечатанными в ней стекловолокнами. В кабеле может располагаться от одной до 12 скрепленных между собой и скрученных лент 1; в каждой из них до 12 волокон. На ленты накладывается термоизоляция 2, поверх которой наносится внутренняя оболочка 3 из полиэтилена. Внешняя оболочка состоит из жгутов полипропилена 4, проволоки из нержавеющей стали 5 и полиэтилена высокой прочности 6.

В кабеле с профилированным сердечником оптические волокна 1 размещаются в пазах фигурного сердечника 2. Пазы расположены по винтовой линии для того, чтобы уменьшить продольные нагрузки на волокна. В центре фигурного сердечника находится силовой элемент 3 из высокопрочного синтетического волокна. Вся конструкция покрыта полиэтиленовой оболочкой 4.

В структуру некоторых оптических кабелей включаются медные проводники для дистанционного питания промежуточных регенераторов, цепей дистанционного контроля и т.п. Сравнительная характеристика металлических и оптических кабелей связи приведена в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Характеристика	МК	ОК
Уровень потерь	Высокий	Низкий
Протяженность ретрансляционного участка	25-30 км	до 100 км
Помехоустойчивость	Низкая	Высокая
Зависимость затухания от роста температуры	Затухание возрастает	Не влияет
Заземление	Необходимо	Не требуется
Утечка информации	Возможна	Затруднена
Влияние коррозии	Подвержены	Не подвержены
Влияние ЭМИ	Подвержены	Не подвержены
Масса	Большая	Малая
Тенденция к снижению стоимости	Не ожидается	Прогрессирует

ВОЛС главным образом эксплуатируются на наземных сетях связи. Широкое применение они получили в США, Японии, Франции, Великобритании и других странах. Во Франции принят план сооружения оптической кабельной сети, которая к 1995 году охватит 50 % абонентов страны. Взят курс на полный перевод системы электросвязи на ВОСС. ВОЛС США охватывают большинство штатов страны (рис. 2.14).

В 1976 г. на восточном побережье США начала функционировать волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) длиной 1000 км. Первая ВОСС в США для междугородней связи начала действовать 10 февраля 1983 г. между Нью-Йорком и Вашингтоном, затем была продолжена в другие города и имела общую протяженность 1250 км (около 80000 км волокна). В 1986 г. проложена трансконтинентальная ВОЛС длиной 4000 км между западным и восточным побережьями США.

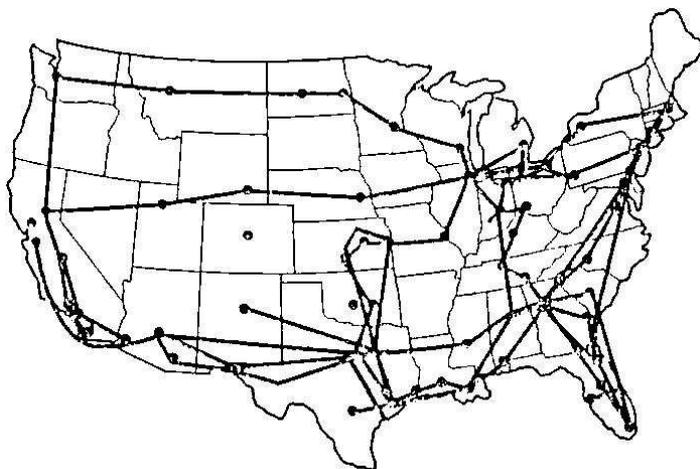


Рис. 2.14. Национальная ВОСС США

В последние годы, начиная с 1987 г., в США производится примерно по 1,5 млн км оптического волокна в год. Всего в США проложено свыше 7 млн км оптических волокон. Причем 80% из них в одномодовом варианте.

Наиболее успешно ВОСС используются в Японии. Общая протяженность ВОЛС измеряется сотнями тысяч километров. Ведутся работы по созданию сверхскоростных ВОСС со скоростями свыше 1,6 Гбит/с. Технические характеристики некоторых ВОСС Японии приведены в табл. 2.4.

В 1985 г. в Японии вступила в эксплуатацию ВОСС (3400 км), соединившая города Ассасикава (о. Хоккайдо) и Кагасима (о. Кюсю), названная «Японской меридиональной магистралью».

Ожидается, что в мире к 2000 году почти все вводимые линии будут волоконно-оптическими. Предполагается, что средняя длина регенерационного участка ВОЛС к 2000 году составит 50...100 км, а скорость передачи по одномодовым волокнам достигнет 0,5-2 Гбит/с.

К сожалению, в нашей стране, несмотря на открытия в области оптоэлектроники, волоконно-оптическая связь развивается значительно более медленными темпами, чем за рубежом. Только в 1987 г. была сдана в

опытную эксплуатацию ВОЛС между Ленинградом и Сосновым Бором протяженностью всего 121 км. В настоящее время предпринимаются попытки сократить это отставание. Заканчивается строительство одноименной магистрали Санкт-Петербург – Минск протяженностью 1000 км. Намечено строительство новых междугородних и зональных линий. В целом ряде городов действуют оптические соединительные линии между АТС с цифровыми системами передачи ИКМ-120.

Таблица.2.4

Тип линейного кода	СМ1	8В1с	10В1с	10В1с
Скорость передачи (Мбит/с)	64; 128	111; 689	445; 837	1820; 90
Число телефонных каналов	480	1440	5760	23040
Длина волны (мкм)	1,3	1,3	1,3	1,3
Регенерационный участок (км)	10	10	40	40
Тип волокна	Многомодовое	Одномодовое		
Источник излучения	InGaAsP – лазерный диод			
Фотоприемник	Ge – лавинный фотодиод			

Создание оптических волокон с малым затуханием сигнала позволило начать строительство подводных ВОЛС. В 1985 г. проложена подводная ВОЛС через Ла-Манш. В последующие годы проложены ВОЛС между Великобританией и Бельгией, Бельгией, Нидерландами и Германией. В Японии проложены подводные ВОЛС вдоль побережья островов Кюсю и Окинава.

В 1988 году была сооружена ВОЛС через Атлантический океан для связи США с Великобританией и Францией протяженностью 6700 км

(ТАТ-8), а в 1989 году – тихоокеанская линия «Япония – Гавайские острова – США» протяженностью 13400 км (ТРС-3). Второй этап развития подводных ВОЛС относится к 1991-1995 годам. Производится строительство трансатлантической линии ТАТ-9 между США, Канадой, Великобританией, Францией, Испанией (9300 км), транстихоокеанской линии «Австралия – Гуам – Америка» (13000 км) и др. В этих ВОЛС предполагается использовать излучение с длиной волны 1,55 мкм, скорость передачи 560 Мбит/с на 7680 каналов, длины трансляционных участков – 100 км и более.

В США к 2000 году планируется проложить трансатлантическую ВОЛС протяженностью 6000 км, не содержащую регенераторов. С этой целью предполагается использовать оптическое волокно, изготовленное из тетрафторида циркония, обладающего на волне 2,5 мкм затуханием 0,01 дБ/км или фторида бериллия с затуханием 0,005 дБ/км на длине волны 2,1 мкм.

Сотрудничество различных стран мира в различных областях экономики, науки и культуры требует создания международной сети связи для передачи всех видов информации. Современное состояние волоконно-оптической связи позволяет решить эту задачу путем создания глобального волоконно-оптического кольца цифровой связи, охватывающего четыре континента (Европа – Америка – Азия – Австралия) и три океана (Атлантический, Тихий, Индийский). Существующие, строящиеся и проектируемые ВОЛС, включающиеся в кольцо, показаны на рис. 2.15.

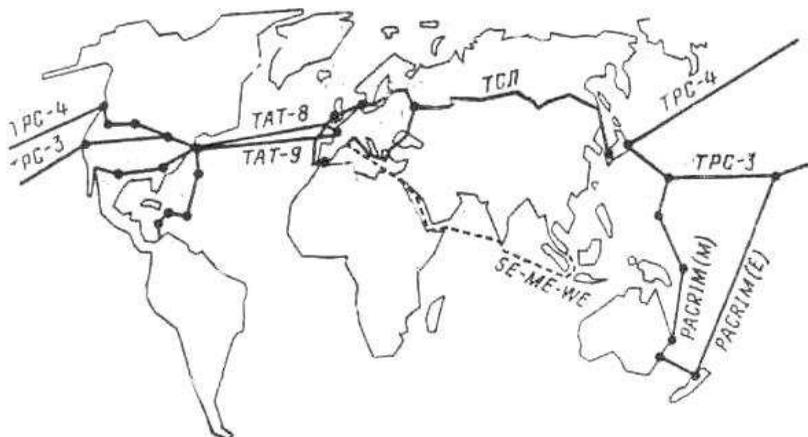


Рис. 2.15. Глобальное кольцо волоконно-оптической связи

Как видно из рисунка, в состав кольца войдут уже существующие ВОЛС (TAT-8, TAT-9, TPC-3), строящиеся (TPC-4, PAGRIM (M) и (E)) и проектируемые (SE-ME-WE Европа – Сингапур).

В глобальном кольце связи большое место отводится так называемой «транссоветской волоконно-оптической линии» – ТСЛ (название дано до распада СССР). ТСЛ пройдет по всей территории России и свяжет Восток и Запад страны со странами Европы, Азии и Америки. ТСЛ будет включена в мировую межнациональную сеть связи и замкнет глобальное кольцо. Строительство ТСЛ осуществляется совместно с инофирмами США, Дании, Японии, Италии, Франции и Германии. Трасса ТСЛ по территории нашей страны показана на рис. 2.16. На востоке ТСЛ пройдет через Находку на Пусан (Южная Корея) и Ямада (Япония). В январе 1994 г. началось строительство этого участка ТСЛ. На западе ТСЛ разветвляется на северную линию, которая пройдет через Санкт-Петербург на Копенгаген (Дания) и далее на Великобританию, и южную линию, которая пройдет через Харьков – Севастополь на Палермо (Италия). Общая протяженность линии порядка 18000 км.

Оптический кабель будет содержать 8-12 одномодовых волокон. Система передачи ИКМ-7680 со скоростью 565 Мбит/с. Длина волны 1,55 мкм. Длина регенерационных участков около 100 км. На первом этапе по ТСЛ будет задействовано порядка 8000 каналов, на втором – 16000 каналов. Максимальная емкость – 30 000 каналов. Во всех случаях половина каналов используется в интересах развития связи в нашей стране. Предполагаемое окончание строительства 1999–2000 гг.



Рис. 2.16. Трасса ТСЛ

Существующие и проектируемые ВОЛС должны иметь большую надежность и большой срок службы. Считается удовлетворительным, если средний срок наработки на отказ не менее 8 лет, оптимальный срок службы 24 года. Несмотря на высокую стоимость как ВОЛС, так и ВОСС в целом (имеется тенденция к снижению стоимости) по сравнению с проводными системами связи, ВОСС постепенно вытесняют проводные системы в наиболее развитых странах мира.

В перспективе развития ВОСС использование частотного разделения каналов, усиление и преобразование сигналов в регенераторах непосредственно на оптических частотах, преобразование речевых телефонных сигналов в оптические и наоборот с помощью акустооптических преобразователей создание активных волокон, способных усиливать распространяющийся по ним световой сигнал, освоение инфракрасного диапазона, позволяющего уменьшить потери энергии сигнала в световоде.

Глава 3. СИСТЕМЫ И СЕТИ РАДИОСВЯЗИ

3.1. Радиорелейные системы и сети связи

Передача сигналов с помощью радиоволн занимает широкую полосу частот, в общем, для всех пространстве (эфире), поэтому передача широкополосных сигналов, таких как телевизионный, групповой сигнал многоканальной связи, возможна только в УКВ диапазоне. Известно, что радиоволны этого диапазона распространяются только в пределах прямой видимости. Загоризонтные связи нерегулярны и неустойчивы. При высоте антенн 40–50 м это расстояние обычно не превышает 40–60 км. Связь на большие расстояния возможна при организации радиолинии с ретрансляцией сигналов.

Радиосистема передачи, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется радиорелейной системой связи (РРСС). В РРСС используют диапазоны дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн.

Первые РРСС появились в середине 30-х годов. В США была построена первая радиорелейная линия (РРЛ) прямой видимости с шестью ретрансляционными станциями между Нью-Йорком и Филадельфией. В короткий срок этот вид связи стал одним из основных при создании линий передачи информации в большинстве зарубежных стран. Быстрому развитию радиорелейной связи способствовали преимущества по сравнению с другими видами связи того времени, и в первую очередь возможность передачи любой информации; относительная простота сооружений линий при меньших затратах на их строительство и эксплуатацию; легкость решения задач развития и реконструкции сетей; небольшие затраты времени и простота восстановления связи; компактность конструкций; малая потребляемая мощность и малая металлоемкость цветных металлов; возможность создания мобильных систем связи и т.д. Благодаря своим преимуществам радиорелейная связь стала доминирующей. В США две трети междугородних телефонных связей и передача междугородних телевизионных программ обеспечивалась с использованием РРЛ. В западной Европе 50% национальных телефонных и 95% телевизионных сетей построены с использованием РРЛ. В Японии РРЛ составляли 50% всех имевшихся линий связи и 98% линий междугородней передачи телевидения. Кроме телефонной связи и передач телевидения, радиорелейные сети и системы связи широко используются для передачи данных, радиовещания, обслуживания газо- и нефтепроводов, линий электропередач и железных дорог, для создания местных локальных сетей связи между городскими и районными АТС, а также в вооруженных силах.

В России РРЛ широко используются как составные части общегосударственной системы связи для передачи телефонных, телеграфных и те-

левиционных сообщений, а также как самостоятельные системы связи в труднодоступных для прокладки кабелей местностях.

В морских системах связи РРЛ прямой видимости используются для связи между радиобюро, приемными и передающими станциями морских радиопунктов. В ряде городов РРС используются для обеспечения межстанционной связи городских АТС.

РРЛ состоит из цепочки станций, в которой имеются оконечные (ОС), промежуточные (ПС) и узловые (УС) станции (рис. 3.1).

Ввод и вывод сообщений на ОС и УС осуществляется через стандартную каналообразующую аппаратуру (КОА). Задача промежуточных станций заключается в ретрансляции сигналов, т.е. в приеме, усилении и последующей передаче их в направлении следующей станции. В отличие от ПС на УС есть возможность выделения части передаваемых сообщений и введения новых или отвлечения части сигналов для передачи по другим системам связи.

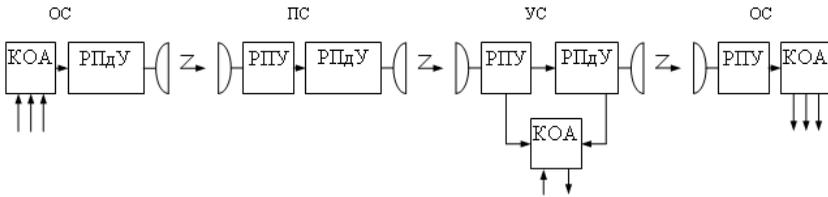


Рис. 3.1. Структурная схема однонаправленной радиорелейной системы связи

Прием и передача радиосигналов на всех видах станций осуществляется комплектом приемопередающего оборудования, состоящего из двух полукомплектов, обеспечивающих передачу и прием сигналов в обоих направлениях. Как правило, используются общие для передатчика и приемника антенны.

Энергетику РРЛ прямой видимости можно охарактеризовать приведенными ниже соотношениями.

Мощность сигнала на входе приемника РРС определяется уравнением передачи

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер. ф}} \cdot G_{\text{пер. А}} \cdot G_{\text{пр. А}} \cdot \eta_{\text{пр. ф}} \cdot V_o^2 \cdot V_{\text{доп}}^2 \quad (3.1)$$

где $P_{\text{пер}}$ – мощность передатчика на входе передающего фидера;

$\eta_{\text{пер. ф}}$, $\eta_{\text{пр. ф}}$ – КПД передающего и приемного фидеров;

$G_{\text{пер. А}}$, $G_{\text{пр. А}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

V_o – ослабление сигнала в свободном пространстве;

$V_{\text{доп}}$ – ослабление сигнала за счет дополнительных потерь в среде распространения радиосигналов.

В теории систем связи часто пользуются понятием потерь энергии в среде распространения $L = 1/V^2$.

В этом случае уравнение передачи может быть записано как

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер. ф}} \cdot G_{\text{пер. А}} \cdot G_{\text{пр. А}} \cdot \eta_{\text{пр. ф}} / L_0 \cdot L_{\text{доп.}} \quad (3.2)$$

Потери энергии в свободном пространстве определяются длиной волны λ и расстоянием между передающей и приемной антеннами r и могут быть найдены из следующего выражения

$$L_0 = 16\pi^2 \cdot r^2 / \lambda^2. \quad (3.3)$$

Величина дополнительных потерь $L_{\text{доп}}$ зависит от многих факторов: от рельефа местности и электрических параметров земной поверхности на трассе линии, от высоты установки антенн над поверхностью Земли, от длины волны сигнала и вида поляризации радиоволн; характера неоднородностей тропосферы и метеорологических условий на трассе (дождь, снег, туман и т. п.). Из-за случайного характера изменений неоднородностей тропосферы и метеоусловий величина $L_{\text{доп}}$ является случайной величиной, а ее изменения во времени – случайным процессом.

Подобно кабельным системам связи РРСС прямой видимости обеспечивают организацию большого числа телефонных и телеграфных каналов, каналов телевидения и звукового вещания.

Принцип размещения станций РРСС прямой видимости на поверхности Земли показан на рис. 3.2.

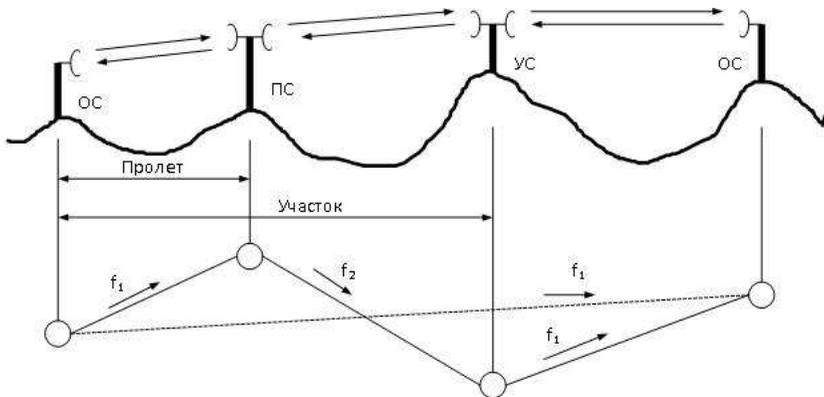


Рис. 3.2. Принцип размещения станций РРСС прямой видимости на поверхности земли

Станции РРЛ располагаются так, чтобы сигналы станций линии могли быть приняты только соседними ретрансляционными станциями. Для этого они не должны размещаться на одной прямой, их антенны должны

иметь узкую диаграмму направленности, а радиопередатчики должны иметь ограниченную мощность. Кроме того, соблюдается чередование рабочих частот для уменьшения возможности приема сигналов от удаленных станций. ПС, как правило, необслуживаемые, строят вблизи источников электроэнергии (населенных пунктов, линий электропередач).

Расстояние между двумя соседними РРС называется пролетом РРЛ, а расстояние между оконечной и узловой или двумя узловыми станциями – участком РРЛ. При выполнении «зигзагообразности» линии следует учитывать необходимость размещения станций на доминирующих высотах, вблизи источников электроэнергии, населенных пунктов, автомобильных или железных дорог. Расстояния между РРС определяются задачами организации связи, рельефом местности, типом аппаратуры и высотой установки антенн.

Связь на РРЛ является устойчивой, если выполняется условие

$$T(V_{min}) \leq T_{доп} = 0,1 \cdot l_{ррл} / 2500 (\%), \quad (3.4)$$

где $T(V_{min})$ – суммарный расчетный процент времени ухудшения качества связи на РРЛ из-за глубоких замираний сигнала;

$T_{доп}$ – допустимый процент времени ухудшения качества связи на РРЛ;

$l_{ррл}$ – протяженность РРЛ.

Суммарный процент времени ухудшения качества связи на всей РРЛ определяют как сумму процентов времени, вносимых каждым из пролетов,

$$T(V) = \sum_{i=1}^n T_1(V_{min}). \quad (3.5)$$

Главной причиной замираний сигнала на пролете РРЛ являются условия распространения радиоволн. Как известно, все пространство, окружающее точки передачи и приема, разделено зонами Френеля (рис. 3.3). Эти зоны представляют собой эллипсоиды вращения с фокусами в центрах передачи и приема (рис. 3.3, точки А и В).

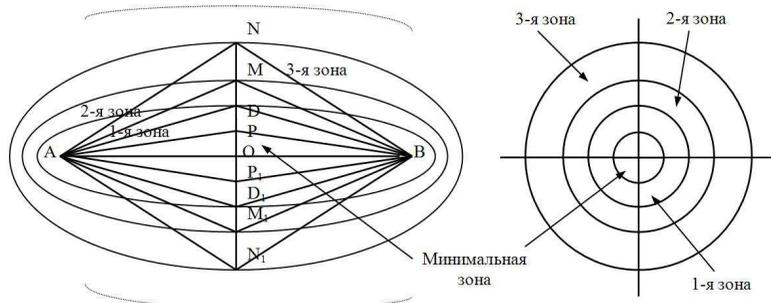


Рис. 3.3. Эллипсы, соответствующие зонам Френеля на плоскости

С точки зрения связи любое частичное экранирование пространства неровностями рельефа местности ослабляет излучение, исходящее из некоторых зон Френеля, что уменьшает мощность сигнала на входе приемника РРС. На рис. 3.4 показана кривая изменения напряженности поля в точке приема в зависимости от просвета H (расстояние между линией, соединяющей центры передающей и приемной антенн, и наивысшей точкой рельефа местности с учетом кривизны земной поверхности) на пролете трассы.

Осциллирующий характер зависимости обусловлен противофазностью суммарных полей, создаваемых в точке приема вторичными излучателями соседних зон Френеля. Убывание амплитуды осцилляций при увеличении просвета вызвано уменьшением напряженности полей, создаваемых в точке приема разными зонами с ростом номера этих зон.

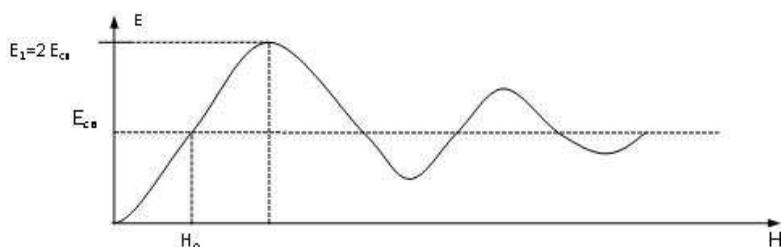


Рис. 3.4. Кривая зависимости напряженности поля в точке приема от просвета H на трассе РРЛ

При бесконечном увеличении просвета напряженность поля стремится к напряженности поля свободного пространства $E_{св}$, которая примерно вдвое меньше напряженности поля, создаваемого первой зоной Френеля, радиус которой определяется соотношением

$$H_1 = \sqrt{R_0 \cdot \lambda \cdot k(1-k)}, \quad (3.6)$$

где $k=R_1/R_0$ – относительная координата точки определения радиуса зоны (рис. 3.5).

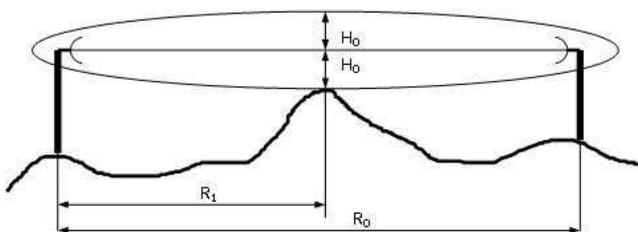


Рис. 3.5. Профиль пролета РРЛ с минимальной зоной Френеля

Таким образом, при увеличении просвета, уменьшении расстояния между точками передачи и приема и укорочении длины волны, увеличивается количество открытых зон Френеля, и напряженность поля в точке приема становится близкой к напряженности поля свободного пространства.

Если просвет на пролете таков, что первая зона Френеля является полностью открытой, то мощность сигнала в точке приема максимальна. При расчетах РРЛ используют также понятие минимальной зоны Френеля, граница которой определяется разностью хода лучей $APB - AB = \lambda/6$ (рис. 3.3). Напряженность поля, создаваемая этой зоной в точке приема, также равна $E_{св}$. Это обстоятельство положено в основу расчета просвета и, следовательно, высоты установки антенн. Минимальная зона должна быть свободна от препятствий. Радиус минимальной зоны Френеля в любой точке пролета

$$H_0 = \sqrt{R_0 \cdot \lambda \cdot k(1-k)/3}. \quad (3.7)$$

В РРС прямой видимости в тропосферных и спутниковых системах связи используют направленные антенны с узкой диаграммой направленности. С учетом принципа обратимости одна и та же антенна может быть использована как для передачи, так и для приема. Развязка сигналов осуществляется с помощью поляризационных селекторов и ферритовых циркуляторов. Применяемые антенны подразделяются на апертурные и осевого излучения. К апертурным антеннам относятся однозеркальные и двухзеркальные параболические, рупорно-параболические и рупорнолинзовые антенны, перископические антенные системы и пассивные ретрансляторы. К антеннам осевого излучения относятся спиральные и директорные антенны.

Задача, решаемая антенной РРС, заключается в преобразовании сферического фронта волны в плоский и согласовании фидерного тракта со свободным пространством. Физические свойства, параметры и конструкции антенно-фидерных трактов достаточно подробно описаны в [41]. Для увеличения высоты установки антенн используют мачты высотой до 40-60 м, естественные возвышенности, высокие здания и сооружения. Структурные схемы аппаратуры оконечной, промежуточной и узловой РРС показаны на рис. 3.6 и 3.7.

В составе аппаратуры каждой оконечной станции имеются радиоприемные устройства (РПУ) и радиопередающие устройства (РПДУ), а на промежуточных и узловых станциях по два полуккомплекта приемопередающей аппаратуры.

Передача ведется на частотах, отличных от частот приема, во избежание взаимных помех. В состав оконечных и узловых станций входит каналобразующая аппаратура, в которой из исходных сигналов формируется групповой сигнал методами частотного или временного уплотнения. На

входящей станции этот сигнал является модулирующим. Разделительно-полосовой фильтр (РПФ) необходим для того, чтобы на одну антенну могли работать одновременно несколько передатчиков (пунктир на рисунке), каждый из которых формирует сигнал в определенной полосе частот.

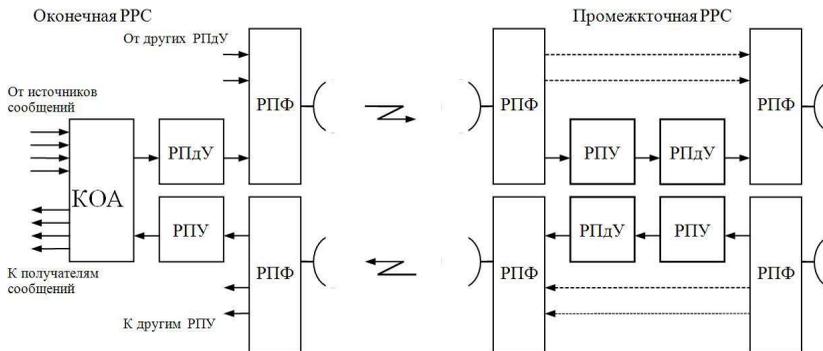


Рис. 3.6. Структурные схемы оконечной и промежуточной РРС

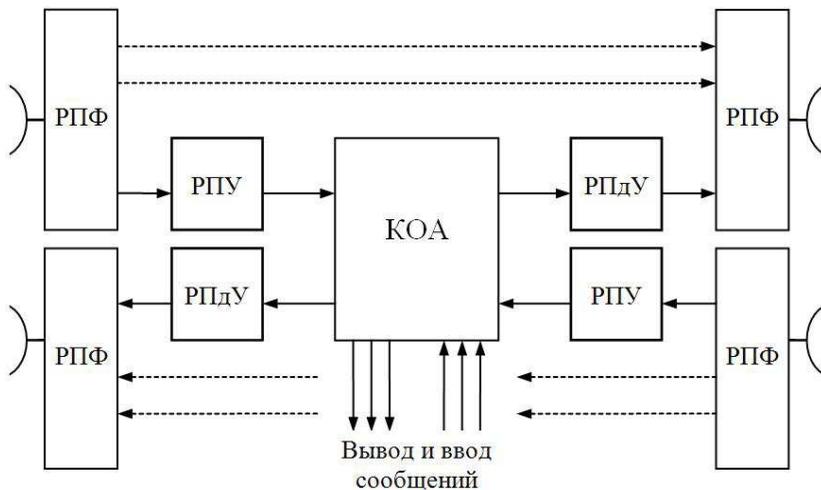


Рис. 3.7. Структурная схема узловой РРС

При приеме РПФ позволяет подключать входы нескольких приемников, получающих сигналы в своей полосе частот от одной антенны. На ОС и УС из принятого радиосигнала выделяется групповой, который с помощью КОА разделяется на исходные сигналы.

Для увеличения пропускной способности РРЛ на каждой станции действует несколько комплектов приемопередающей аппаратуры, кото-

рые через РПФ подключаются к общей антенне. Совокупность радиорелейных станций с одним комплектом однотипной приемопередающей аппаратуры и РПФ, установленных на каждой станции, образует так называемый высокочастотный ствол, или радиоствол РРЛ. Как правило, РРЛ имеют несколько радиостволов.

Современные РРЛ позволяют организовывать свыше тысячи телефонных каналов, каналов для передачи телевизионных программ и звукового вещания.

РРС прямой видимости по пропускной способности делятся на:

- многоканальные (свыше 300 телефонных каналов);
- средней емкости (60-300 телефонных каналов);
- малоканальные (менее 60 телефонных каналов).

По способу передачи и уплотнения каналов различают – цифровые, аналоговые; с частотным и временным уплотнением каналов.

По диапазону частот – дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

Отдельные параметры аналоговых РРС отечественного производства приведены в табл. 3.1. Зарубежные аналоговые РРС представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Тип станции	Диапазон частот, ГГц	Число стволов	Число тлф каналов	Емкость ТВ ствола	Дальность действия, км
Р-6002МВ	3,4-3,9	4	600	ЧБТВ+1зв	2500
РАССВЕТ	3,4-3,9	4	720	ЦТВ+2зв	2500
ВОСХОД	3,4-3,9	до 8	до 1920	ЦТВ+4зв	12500
ДРУЖБА	5,67-6,17	до 8	до 1920	ЦТВ+4зв	2500
КУРС-4	3,4-3,9	4 или 8	до 720	ЦТВ+2зв	2500
КУРС-6	5,67-6,17	4 или 8	до 1320	ЦТВ+2зв	2500
КУРС-2М	1,7-2,1	3	до 300	ЦТВ+2зв	1400
КУРС-8	7,9-8,4	4	до 300	ЦТВ+2зв	1400
ГТГ-8000/960	7,9-8,4	4	960	ЦТВ+4зв	2500
ТРАЛ-8-60/120	7,9-8,4	2	до 120		1400
ТРАЛ-400/24	0,39-0,47	2	24		800

Окончание табл. 3.1

Тип станции	Диапазон частот, ГГц	Число стволов	Число тлф каналов	Емкость ТВ ствола	Дальность действия, км
КОНТЕЙНЕР	0,39-0,47	2	до 12		300
ОБЛАСТЬ	7,9-8,4	1	до 300		200

Таблица 3.2

Страна	Тип станции	Диапазон частот, ГГц	Число тлф каналов	Мощность передатчика, Вт	Потребляемая мощность, Вт
Япония	TR-11G2700	10,7-11,7	2700	7	130
Япония	TR-4G3600	3,6-4,2	3600	31,5	220
Япония	900В-24/60/120	0,83-0,96	24,60,120	5	65
Германия	FM-1800	5,9-6,4	1800	15	–
Германия	FM-24	0,6-0,9	24	10	170
Франция	FN-750	6,4-7,1	2700	20	225
Великобритания	H7200	1,7-2,3	24,72,132,300	2	100
США	AR6A	6	6000	0,3	–
США	LR2-400	0,33–0,47	24,60,72	1; 10	24; 60

В большинстве аналоговых РРС используется метод частотного уплотнения каналов, а для передачи по радиоканалу – частотная модуляция. РРС выполняются на транзисторах и микросхемах. В РРС большой емкости более 1800 каналов, в выходных ступенях передатчиков в сантиметровом диапазоне используют ЛБВ.

В производстве РРС и строительстве систем большое значение придается созданию аппаратуры, обладающей высокой надежностью и способностью работать в экстремальных климатических условиях. Это особенно важно для промежуточных ретрансляторов, работающих в автономном, необслуживаемом режиме. Такие станции могут устанавливаться в труднодоступных местностях и подвергаться сильным климатическим воздействиям. Целый ряд станций устанавливается в специальных контейнерах и

имеет автономное питание от аккумуляторов, заряжаемых с помощью дизель-генераторов с автоматическим запуском.

Совершенствование РРС привело к созданию аналого-цифровых, а затем и полностью цифровых РРС с большими скоростями передачи информации. Первая за рубежом цифровая РРС была разработана в Японии в диапазоне 2,11-2,29 ГГц и имеет 6 дуплексных стволов (один из них резервный). Она предназначена для работы на линиях протяженностью до 200 км (интервал 25 км). По каждому стволу можно передавать до 240 телефонных каналов с ИКМ. В станции используется четырехпозиционная фазовая манипуляция. Предпочтительными видами модуляции для цифровых РРЛ являются 4-уровневая (4-ОФМ) и 8-уровневая (8-ОФМ) фазовая манипуляция и 16-уровневая квадратурная амплитудная манипуляция (16-КАМ) в совокупности с ИКМ, используемой для преобразования аналогового сигнала в цифровой. В некоторых видах РРС используется дельта-модуляция. Широко используется защита информации от ошибок путем применения помехоустойчивого кодирования.

Для увеличения пропускной способности систем используются методы частотного, временного и кодового уплотнения каналов связи.

Отдельные параметры зарубежных аналого-цифровых и цифровых РРЛС приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.3

Параметр	Европа					Япония				
	Скорость, Мбит/с	2,05	8,45	34,4	139,3	560-840	1,5	6,31	32,06	97,7
Число каналов	30	120	480	1920	7800-11520	24	86	480	1440	5760

Таблица 3.4

Страна	Тип станции	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Число тлф каналов	Мощность передатчика, Вт	Длина интервала, км	Число стволов
Аналого-цифровые РРЛС							
Япония	20L-P1	17,7-21,2	400	5760	0,15	3	9

Окончание табл. 3.4

Страна	Тип станции	Диапазон частот, Гц	Скорость передачи, Мбит/с	Число тлф каналов	Мощность передатчика, Вт	Длина интервала, км	Число створов
Япония	20G-400M	17,7-21,2	260	2880	0,07	2,5-6	10
Франция	FHN-1350	12,8-13,8	52	720	0,25		6
США	DR-18A	17,7-19,7	274	4032	0,2	2,5-6	8
Цифровые РРЛС							
Япония	11S-P2	10,7-11,7	100		3		
США	MRD-6	5,92-6,42	90; 258		5		
США	AN/GRC-103	0,22-1,85	1544			50	
Великобритания	TRIFFID	0,22-0,4	250; 500			10-50	

3.2. Тропосферные системы и сети связи

Открытие в начале 50-х годов эффекта дальнего тропосферного распространения УКВ позволило создать тропосферные линии (ТРЛ) связи с расстояниями между соседними станциями 200...350 км, а в отдельных благоприятных условиях распространения – 600...800 км.

Совокупность всех составных частей, оконечного, промежуточного оборудования и самой среды распространения называют тропосферной системой связи (ТРСС).

ТРСС является разновидностью РРСС, в которых используется дальнее тропосферное распространение ультракоротких волн.

Тропосфера – это нижняя часть атмосферы Земли (от нескольких сотен метров до 10–15 км).

Дальнее тропосферное распространение радиоволн на тропосферных линиях связи происходит из-за неоднородностей тропосферы, вызванных происходящими в ней физическими процессами.

Относительная диэлектрическая проницаемость воздуха зависит от метеорологических параметров:

$$\varepsilon = 1 + \frac{1,55 \cdot 10^{-4} (p + 4810 \cdot e / T_k)}{T_k}, \quad (3.8)$$

где T_k – температура по шкале Кельвина; p и e – парциальные давления воздуха и водяного пара (гПа).

С диэлектрической проницаемостью связан коэффициент преломления

$$n_n = \sqrt{\varepsilon} \quad (3.9)$$

Для так называемой нормальной тропосферы зависимость ε от высоты h над поверхностью Земли характеризуется экспоненциальной зависимостью (рис. 3.8)

$$\varepsilon = 1 + \Delta\varepsilon_0 \cdot \exp(g \cdot h / \Delta\varepsilon_0), \quad (3.10)$$

где $\Delta\varepsilon_0$ – отклонение ε от единицы у поверхности Земли; $g = d\varepsilon/dh$ – вертикальный градиент диэлектрической проницаемости воздуха у земной поверхности ($g < 0$).

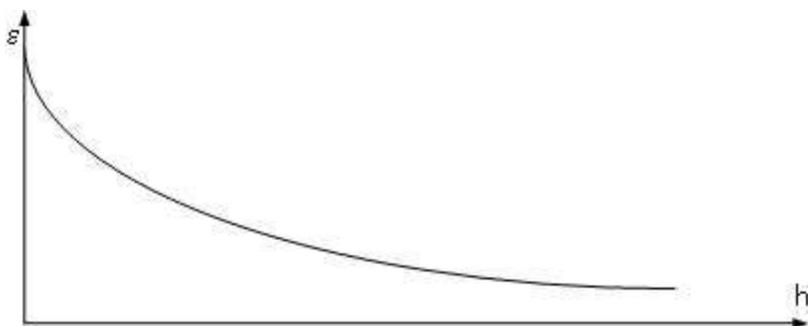


Рис. 3.8. Зависимость ε от высоты над поверхностью Земли

Данная зависимость позволяет рассматривать нормальную тропосферу как сферически-слоистую среду, в которой ε зависит только от расстояния до поверхности Земли.

В реальной тропосфере всегда имеют место случайные отклонения зависимости $\varepsilon(h)$ от экспоненциальной. Причиной этого является наличие слоистых и турбулентных неоднородностей в тропосфере. Слоистые неоднородности обусловлены температурными инверсиями и наличием облаков. Причиной возникновения турбулентных неоднородностей являются быстрые вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс. Кроме этого, на распространение радиоволн большое влияние оказывают гидromеторы (дождь, снег, туман и т. п.).

В ТРСС используется диапазон 0,3-9 ГГц. При рассмотрении влияния тропосферы на распространение радиоволн указанного диапазона следует учитывать следующие основные факторы: рефракцию радиоволн, отражение, переизлучение радиоволн неоднородностями тропосферы, ослабление радиоволн газами и гидromетеорами и деполяризацию. Механизм распространения радиоволн на линии тропосферной связи иллюстрируется рис. 3.9.

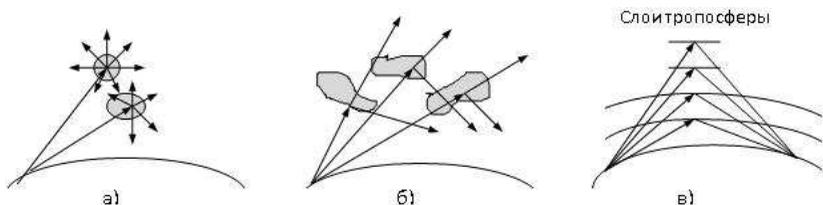


Рис. 3.9. Механизм распространения радиоволн в тропосфере: а) переизлучение, б) отражение, в) рефракция

В переизлучении радиоволн участвует объем тропосферы, ограниченный пересекающимися основными лепестками диаграмм направленности передающей и приемной антенн, который называется объемом переизлучения (рис. 3.10).

Максимальная дальность распространения радиоволн из-за переизлучения зависит от толщины тропосферы h . При гладкой поверхности Земли и стандартной рефракции эта зависимость выражается следующим образом:

$$r_{\max} \approx \sqrt{8 \cdot R_3 \cdot h_T} . \quad (3.11)$$

При $R_3 = 6500$ км и $h_m = 15$ км $r_{\max} \approx 880$ км. Из формулы 3.11 следует, что при заданной длине пролета r высота нижней точки объема рассеяния над Землей

$$h_0 \approx r^2 / 8 \cdot R_3 .$$

В точку приема приходит часть рассеянного неоднородностями сигнала. Несмотря на использование направленных антенн, происходят очень значительные потери энергии. Значения потерь на пролете ТРЛ могут достигать 200...250 дБ, что требует значительных затрат мощности на излучение сигнала.

Принцип построения ТРСС не отличается от РРСС прямой видимости. К достоинствам следует отнести большую дальность скачка, что позволяет в ряде случаев значительно удешевить линию связи, а в отдельных случаях ТРСС является единственным экономически целесообразным видом связи.

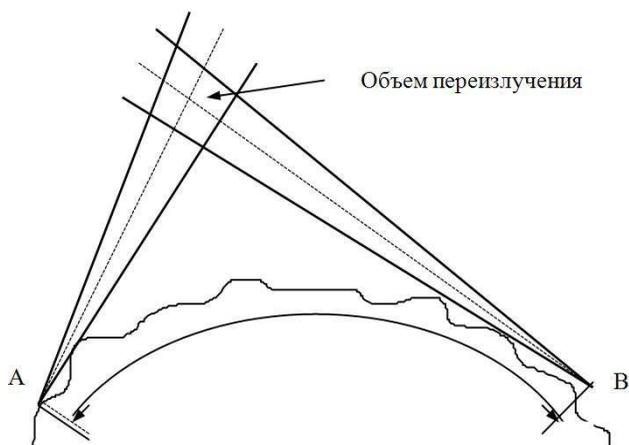


Рис. 3.10. К определению дальности тропосферной связи

На первом этапе развития ТРЛ (1953–1967 гг.) было сооружено более 100 тыс. км стационарных ТРЛ, внедрено ряд мобильных систем, построено несколько линий передачи черно-белых телевизионных программ. Для этих целей были разработаны передающие устройства мощностью 1...10 кВт и более в непрерывном режиме, приемные устройства с малошумящими параметрическими усилителями с температурой шума 100...200 К, антенны площадью до 1000 м², а также ряд систем борьбы с замираниями сигнала, вызванными многолучевой структурой принимаемого сигнала.

Привлекательность тропосферной связи в эти годы определялась большими расстояниями ретрансляций, что позволило быстро и экономично сооружать коммерческие и военные линии в отдаленных и труднодоступных районах, таких как Крайний Север, пустыни Африки, и тем самым связать развивающиеся районы с центром и между собой. Число телефонных каналов ТРЛ (до 60) полностью удовлетворяло потребителей.

Следующий этап (1967-1977 гг.) характеризуется дальнейшим развитием техники тропосферной связи, однако на магистральных направлениях связи использование ТРЛ все более ограничивается. Это объясняется тем, что, во-первых, пропускная способность аналоговых ТРЛ, хотя и была увеличена до 120 каналов, перестала удовлетворять потребителей на магистральных направлениях связи и, во-вторых, развились и стали более экономичными и надежными спутниковая связь, а также автоматизированные, необслуживаемые РРЛ прямой видимости. В этих условиях для коммерческих целей ТРЛ стали служить лишь дополнением, вторым или третьим обходным направлением, повышающим надежность сети связи. Вместе с тем возросла их роль для создания одно- или двухскачковых внутрizonовых и местных сетей связи, ответвлений от магистрали, обеспечение мор-

ских буровых установок, создание мобильных тактических сетей. Пропускная способность ТРЛ вполне достаточна для этих целей, а спутниковая и радиорелейная связь экономически менее эффективна.

В настоящее время в мире насчитывается примерно 170 систем тропосферной связи общей протяженностью около 200 тыс. км. Из них более 75% принадлежат военным ведомствам.

Основные особенности дальнего тропосферного распространения УКВ заключаются в значительно большем (на 60...100 дБ) медианном затухании сигнала и наличии и быстрых, и медленных замираний по сравнению с затуханием в свободном пространстве. В связи с этим при разработке ТРСС пришлось создавать аппаратуру с лучшими энергетическими параметрами по сравнению с РРС прямой видимости. Кроме того, для борьбы с быстрыми интерференционными замираниями был разработан ряд методов, позволивших существенно улучшить надежность работы ТРСС.

В подвижных станциях антенны диаметром, не превышающим 12 м, перевозятся в сложенном состоянии; в стационарных ТРС антенны имеют значительную площадь, например 18x18 м².

Учитывая, что большинство станций работают в сложных природных условиях, антенные устройства приспособлены для работы при сильных ветровых нагрузках (иногда до 65 м/с) и чрезвычайно низкой температуре (так, для сети ТРС на Аляске был предусмотрен обогрев антенн). Энергия сигнала ВЧ от аппаратуры к антенне передается либо по коаксиальному кабелю, либо по герметизированному волноводу.

Передающие устройства мощностью от нескольких сот ватт до 10 кВт, а на уникальных сверхдальних линиях до 100 кВт используют в выходном каскаде многорезонаторные клистронные усилители (в диапазоне

800 МГц) или мощные ламповые усилители (в диапазоне 300...600 МГц). В остальной аппаратура ТРС строится на транзисторах и ИМС.

Для приемной аппаратуры ТРС характерна глубокая АРУ, уменьшающая на 35...40 дБ колебания сигнала на входе детектора. Наиболее распространенными в ТРС способами борьбы с замираниями сигнала являются способы пространственного и частотного разнесения.

При пространственном разнесении прием ведется на две антенны, установленные на некотором расстоянии друг от друга. Антенны разносятся в направлении, перпендикулярном направлению ТРЛ. Частотное разнесение осуществляется за счет одновременной передачи сигналов на двух частотах.

Одновременное использование пространственного и частотного разнесения получило название счетверенного приема. Структурная схема системы, использующей счетверенный прием, приведена на рис. 3.9.

На каждой станции имеются две антенны, удаленные друг от друга примерно на сто длин волн. К антеннам А1 и А2 подключены радиопередатчики РПДУ 1 и 2, на входы которых подается один и тот же сигнал.

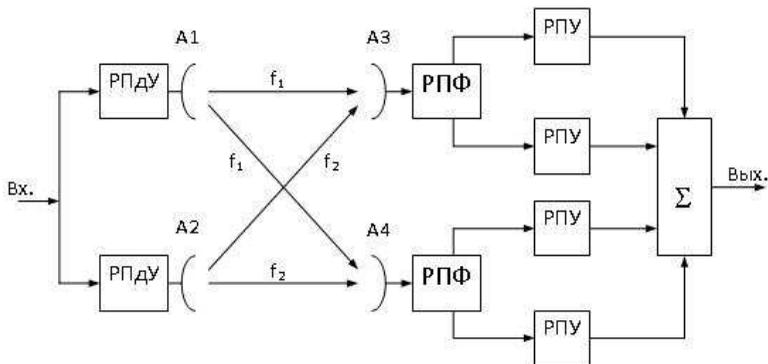


Рис. 3.11. Структурная схема счетверенного приема (однонаправленная передача)

Каждый радиопередатчик формирует сигнал на своей несущей частоте $f_1 = f_2$. В пункте приема к антеннам А3 и А4 через разделительные полосовые фильтры РПФ подключено по два радиоприемника. Каждая антенна принимает радиосигнал как на частоте f_1 , так и на частоте f_2 . Замирания радиосигналов на разных частотах неодинаковы, т.е. если на одной частоте наблюдается замирание, то на другой его может и не быть.

Аналогичное явление отмечается и при приеме на пространственно разнесенные антенны. При наличии замираний, например, при приеме на антенну А3, в этот же момент при приеме на антенну А4 замирания могут отсутствовать. С выходов всех четырех приемников сигналы поступают на устройство сложения, где они складываются, и на выходе формируется устойчивый сигнал.

В настоящее время ТРСС используют аналоговые и цифровые методы передачи. Аналоговые станции используют, как правило, частотную модуляцию и частотное уплотнение каналов. В цифровых станциях используется ИКМ совместно с фазовой манипуляцией.

Цифровые ТРСС позволяют увеличить дальность интервала связи при той же мощности передатчика, увеличить пропускную способность системы, уменьшить размеры станций. Отдельные технические параметры аналоговых и цифровых ТРС приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Страна	Тип станции	Диапазон МГц	Интервал км	Число тлф каналов	Скорость передачи кбит/с	Размер антенны м	Мощность РПДУ, кВт
Аналоговые ТРС							
Россия	Горизонт-М	0,8-1,0	300	60			
Россия	ТР-120	0,8-1,0	300	120			
Россия	ТР-12	0,8-1,0	600	12			
США	AN/FRC-56	0,3-0,45	400	24		36×45	3; 10; 50
Германия	FM/2000	2,0-2,35	200-400	120		15; 30	1; 2
Япония	ОН-2000	1,7-2,4	600	120		3; 10; 20	0,1; 1; 2
Япония	ОНМН-5000	4,4-5,0	400	48		4,5	1; 2
Франция	ННС-954	0,8-0,96	400	12;120		6; 10; 20	1; 10
Цифровые ТРС							
США	AN/TRC170V1	4,4-5,0	300		до 2048	4,5	2×6,6
США	DISCAT	1,7-2,4	300		до 2048	6,4	2×5
Англия	H7450	2,4-2,7	200		до 2048	4,5	2
США	ULTRALITE	4,4-5,0	120		32–512	2,5	0,1; 1

Большинство систем построено в труднодоступных, малонаселенных районах Заполярья на территории России, Канады, Гренландии; в пустынных районах Африки, Австралии; в труднодоступных горных районах России, Киргизии, Таджикистана, Индии, Турции, Испании, Южной Америки и между островами Мирового океана. За рубежом построены одноинтервальные линии обычной протяженности (150–350 км), одноинтервальные сверхдальние системы (750–1100 км), широко разветвленные системы протяженностью до 10–15 тыс. км и несколько межконтинентальных и трансморских систем (Вашингтон – Лондон, Лондон – Мадрид, Япония – Корея и т.д.). Некоторые ТРЛ приведены на рис. 3.12 и 3.13.

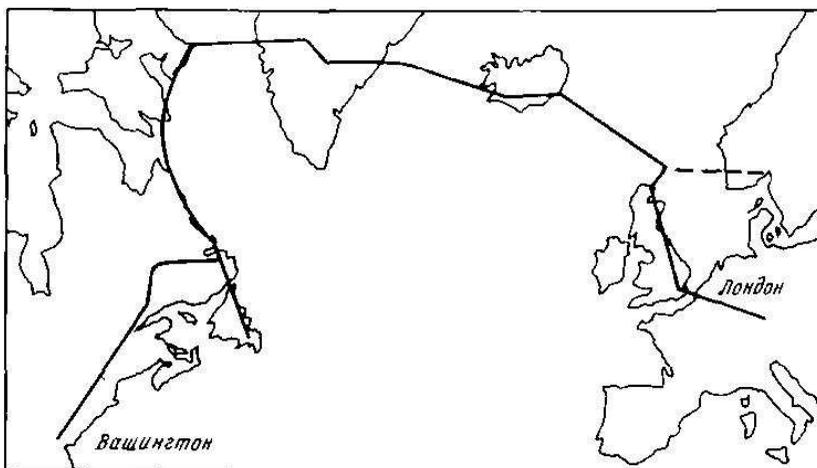


Рис. 3.12. ТРЛ Вашингтон – Лондон

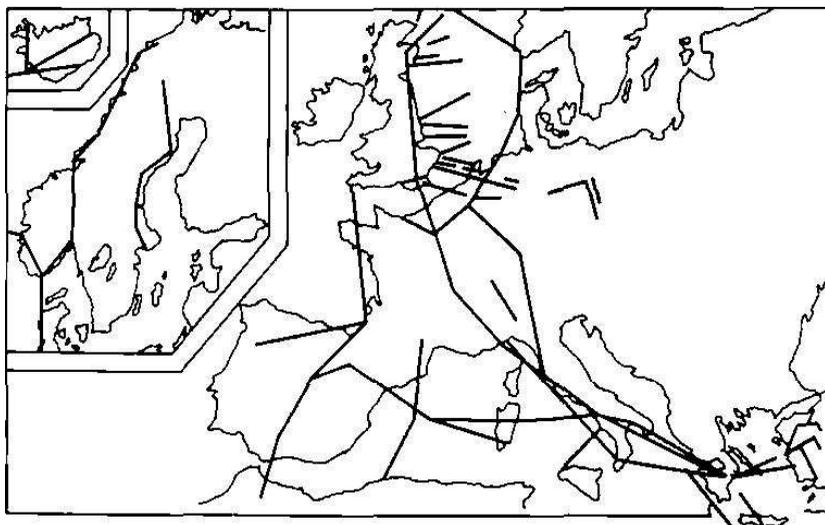


Рис. 3.13. Стационарные ТРЛ Западной Европы

3.3. Спутниковые системы и сети связи

Спутниковой системой связи называется система, обеспечивающая передачу сигналов электросвязи между наземными станциями через ретранслятор, установленный на искусственном спутнике Земли (ИСЗ).

Не следует путать спутниковую систему связи с космической системой, осуществляющей связь между наземными станциями и космическими станциями или кораблями. Спутниковая система связи (ССС) является вариантом радиорелейной системы связи, в которой промежуточная станция находится в космическом пространстве на борту ИСЗ.

По методу организации каналов связи различают магистральные и персональные ССС. Первые предназначены для ретрансляции сообщений между двумя оконечными земными станциями (ЗС) с последующей передачей их в наземные сети общего пользования. Вторые обеспечивают связь между абонентами, имеющими персональные спутниковые терминалы, или через земные станции с наземными сетями общего пользования.

Отдельно следует выделить вещательные спутниковые системы. Они обеспечивают телевизионное вещание с индивидуальным или коллективным приемом программ.

Схема организации магистральной спутниковой связи показана на рис. 3.14.

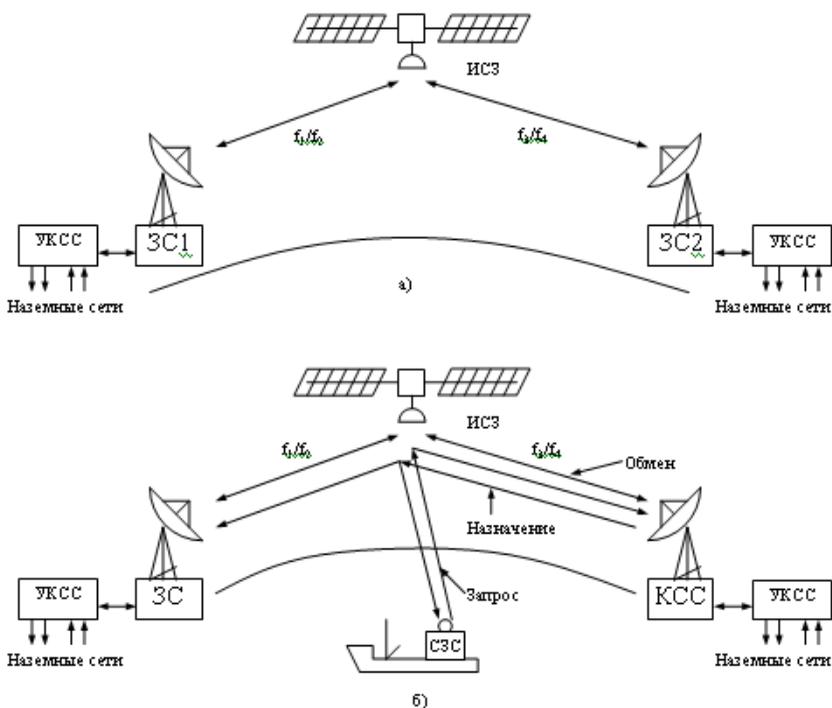


Рис. 3.14. Структурная схема организации магистральной (а) и персональной (б) систем спутниковой связи

В состав ССС входят земные станции и ретранслятор, установленный на борту ИСЗ. ЗС соединяются с узлами коммутации сети связи (УКСС). Такими узлами могут быть междугородняя телефонная станция или коммутационная станция телексной связи. Через УКСС система входит в национальные и международные сети связи. Практически ССС не является обособленной системой, а входит в состав национальных и международных сетей связи.

Персональные ССС (рис. 3.14б) обеспечивают доступ к наземным сетям связи мобильных абонентов, имеющих портативные терминалы спутниковой связи. Особенностью персональных ССС является наличие многостанционного доступа в систему. Для обеспечения многостанционного доступа в состав системы входит наземная или космическая координирующая станция сети (КСС). Доступ основан на использовании в сети общих каналов запроса и назначения. По каналу запроса мобильная станция, например судовая земная станция (СЗС), посылает запрос на КСС для назначения канала связи с ЗС, а по каналу назначения КСС назначает каналы связи для СЗС и ЗС. После этого ЗС и СЗС связываются между собой.

По охвату территории, принадлежности и размещению ЗС, структуре управления ССС подразделяются на международные, национальные и ведомственные.

Основные показатели ССС.

1. Характер (тип) орбиты ИСЗ. Существующие ССС используют четыре типа орбит: геостационарная орбита, средневысотные, низкие круговые и эллиптические орбиты.

2. Наклонение орбиты. Современные ССС используют экваториальную (угол наклоения $i = 0$), полярные (угол наклоения $i = 90^\circ$) и наклонные (угол наклоения $0 < i < 90^\circ$) орбиты.

3. Диапазон частот на прием и передачу. Большинство ЗС работает в диапазоне 4/11 ГГц на прием и 6/14 ГГц на передачу. Подвижная спутниковая служба использует диапазон 1,5 ГГц на прием и 1,6 ГГц на передачу.

В целом диапазоны частот, используемые в ССС, представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Наименование диапазона	Полоса частот, ГГц
L	1,452-1,500 и 1,61-1,71
S	1,93-2,70
C	3,40-5,25 и 5,725-7,075
Ku	10,70-12,75 и 12,75-14,80
Ka	14,40-26,50 и 27,00-50,20
K	84,00-86,00

4. Добротность станции приема G/T представляет собой отношение усиления антенны (в дБ на частоте приема) к суммарной шумовой температуре станции (в дБ относительно 1 К) и достигает на практике 42 дБ/К для больших антенн (диаметром до 32 м) и 20-31,7 дБ/К для ЗС большинства национальных и региональных систем. Диаметр антенн представляет отдельный интерес, так как он определяет размеры и стоимость ЗС, а также пространственную избирательность.

5. Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) представляет собой

$$\text{ЭИИМ} = P_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пер}}, \quad (3.12)$$

где $P_{\text{пер}}$ – эффективная мощность сигнала на выходе передатчика;

$\eta_{\text{пер}}$ – коэффициент передачи (по мощности) волноводно-фидерного тракта (КПД тракта) между передатчиком и антенной;

$G_{\text{пер}}$ – коэффициент усиления передающей антенны относительно изотропного излучателя.

Обычно ЭИИМ лежит в пределах 30...100 дБВт.

6. Число стволов, одновременно действующих на ИСЗ. Под стволом ССС понимается практически то же самое, что и в РРСС, хотя очень часто несколько стволов обеспечивается одними и теми же элементами приемопередающей аппаратуры ЗС. Наиболее четким понятие «ствол» является для бортового ретранслятора. Обычно число стволов на ИСЗ составляет 6-12. Наиболее мощные ИСЗ (Intelsat V и VI) имеют от 20 до 48 стволов. Применение остронаправленных антенн позволяет многократно использовать полосу частот и тем самым эффективнее использовать геостационарную орбиту. Так, например, на ИСЗ «Intelsat VI» с помощью пространственного и поляризационного разделения достигается шестикратное использование полосы частот 4/6 ГГц. Применение в системах связи многих узких лучей для обеспечения необходимых районов зоны обслуживания вместо одного широкого луча на всю зону позволяет также заметно повысить плотность потока мощности у поверхности Земли и применить на ЗС антенны меньшего диаметра.

7. Зона видимости – часть поверхности Земли, с которой ИСЗ виден под углом места ε больше некоторой минимально допустимой величины (например, $\varepsilon_{\text{min}} = 5^\circ$) в течение заданной длительности сеанса $t_{\text{св}}$ (рис. 3.15а).

Размеры зоны видимости и $t_{\text{св}}$ зависят от параметров орбит ИСЗ, географических координат земной станции и положения ИСЗ относительно нее. На рис. 3.15а изображена зона видимости, для которой справедливы следующие соотношения.

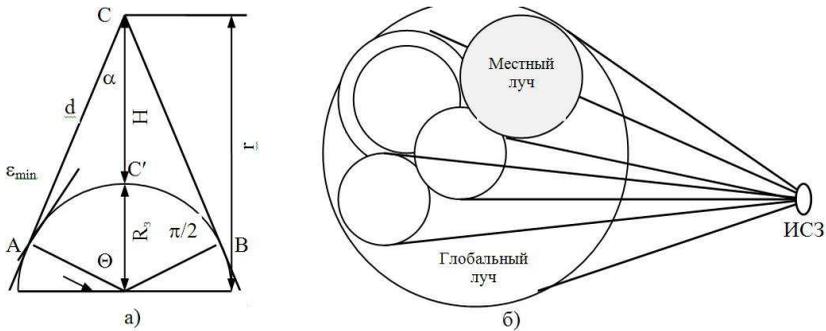


Рис. 3.15. К определению зон видимости, покрытия и обслуживания

Центральный (геоцентрический) угол зоны видимости

$$\Theta = \arccos[R_3 \cdot \cos \varepsilon_{\min} / (R_3 + H)] - \varepsilon_{\min}. \quad (3.13)$$

Максимальное расстояние (наклонная дальность) между ИСЗ и границей зоны видимости

$$d = \sin \Theta \cdot (R_3 + H) / \cos \varepsilon_{\min}. \quad (3.14)$$

Длина дуги AC' на поверхности Земли (радиус зоны видимости) и площадь зоны видимости можно определить по формулам

$$AC' \approx R_3 \cdot \Theta; \quad (3.15)$$

$$S = 2\pi R_3^2 (1 - \cos \Theta). \quad (3.16)$$

8. Зона покрытия – часть зоны видимости, в которой обеспечиваются необходимые энергетические соотношения на линии связи при определенных энергетических параметрах ЗС. Эта характеристика имеет важное значение при проектировании ССС. Зона покрытия зависит от ширины диаграммы направленности антенн ИСЗ. Если зона покрытия равна зоне видимости, то ее называют глобальной зоной покрытия. Пример глобальной зоны покрытия для геостационарного ИСЗ приведен на рис. 3.16.

Чаще всего зона покрытия определяется как территория, в каждой точке которой угол места не меньше минимально допустимого и плотность потока мощности, идущего от ИСЗ, не ниже требуемого значения.

9. Зона обслуживания – часть поверхности Земли, на которой расположены или могут располагаться ЗС данной сети. Зона обслуживания, как правило, несколько меньше зоны покрытия, но в идеале они должны совпадать. На ИСЗ современных ССС широко используются многолучевые антенны, позволяющие многократно использовать выделенные частоты и уменьшить ЭИИМ ретранслятора. В этом случае зоны обслуживания и покрытия составляют малую часть зоны видимости (рис. 3.15б).

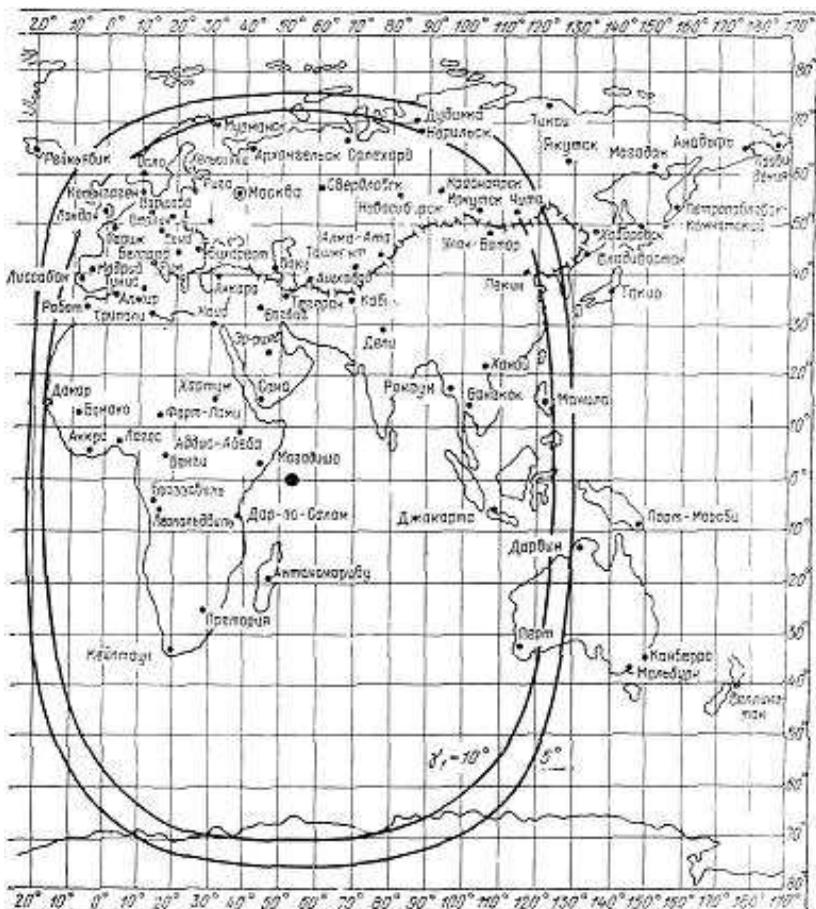


Рис. 3.16. Зона видимости (покрытия) геостационарного ИСЗ
(ϵ – угол места антенны ЗС)

10. Пропускная способность системы – объединение пропускных способностей, входящих в систему ИСЗ, – характеризуется числом организуемых через ИСЗ каналов (телефонных, телевизионных, телеграфных) или количеством бит информации в секунду через ИСЗ.

Кроме того, ССС характеризуется числом и размещением ЗС, числом ИСЗ и эфемеридами ИСЗ. Одной из важных характеристик ССС является метод многостанционного доступа (МД), при котором происходит совмещение сигналов различных ЗС для их прохождения через общий ствол бортового ретранслятора ИСЗ. Эксплуатируемые и строящиеся ССС используют методы доступа с частотным (FDMA – Frequency Division Multi-

ple Access), временным (TDMA – Time Division Multiple Access) и кодовым (CDMA – Code Division Multiple Access) разделением каналов связи.

ССС характеризуется также методами модуляции, применяемыми в системе (ЧМ, ФМ), и методами передачи информации (аналоговые, цифровые). Для увеличения пропускной способности ССС используются методы частотного, временного и кодового уплотнения каналов связи.

Как указывалось выше, ССС характеризуется типом орбиты ИСЗ. В соответствии с первым законом Кеплера любая орбита спутника Земли лежит в неподвижной плоскости, проходящей через центр Земли, и представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Земля. При слиянии фокусов орбита становится круговой.

Орбиты могут быть эллиптическими и круговыми (круг – частный случай эллипса). Критериями для выбора орбиты являются: время сеанса связи между ЗС через ИСЗ, периодичность сеансов, зона обслуживания, стоимость запуска, срок службы ИСЗ на орбите. На практике наиболее приемлемыми являются орбиты, позволяющие получить наиболее продолжительные сеансы связи (желательно круглосуточные).

Элементами орбиты называются параметры, определяющие ориентацию орбиты в пространстве, ее вид и размеры, а также положение ИСЗ на орбите.

В общем случае орбиты ИСЗ характеризуются углом наклона (наклоном) i между плоскостью орбиты и плоскостью экватора, высотой апогея и перигея (наиболее удаленной и наиболее близкой к поверхности Земли точками орбиты), периодом обращения – временем полного оборота ИСЗ вокруг Земли.

На круговой орбите ИСЗ движется с линейной круговой скоростью, которая равномерна и определяется по формуле

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\mu / r} = 631,65 \sqrt{R_{\text{З}} + H} \text{ (км/с)}, \quad (3.17)$$

где μ – гравитационная постоянная Земли, равная $3,98602 \cdot 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$;

r – радиус-вектор круговой орбиты, км;

$R_{\text{З}}$ – средний радиус земли, км;

H – высота орбиты над поверхностью Земли, км.

Из формулы (3.17) следует, что скорость обращения ИСЗ на круговой орбите не зависит от его массы и уменьшается с увеличением H .

На выбор высоты орбиты серьезное влияние оказывает наличие пространственных поясов заряженных частиц (пояса Ван Аллена), захваченных магнитным полем Земли. Расположение радиационных поясов Ван Аллена приведено на рис. 3.17.

Первый устойчивый пояс радиации высокой (10000 имп./сек) интенсивности простирается на высоте 2000-9000 км, до 30° в обе стороны от экватора. Второй пояс радиации такой же высокой интенсивности распо-

ложен на высотах от 13 000 до 19 000 км до 50° в обе стороны от экватора. Длительная работа электронной бортовой аппаратуры на орбитах, пролегающих в этих зонах, практически невозможна, если не применять специальных методов защиты, которые ведут к удорожанию ИСЗ и увеличению его массы.

Круговые, низкие орбиты (LEO – Low Earth Orbir) с высотой $H = 500\text{--}2000$ км над поверхностью Земли характеризуются наименьшей стоимостью запуска. Наиболее распространенная орбита – околополярная ($i = 90^\circ$) с высотой 1000 км. Радиус зоны видимости составляет около 3300 км, период обращения 105 мин.

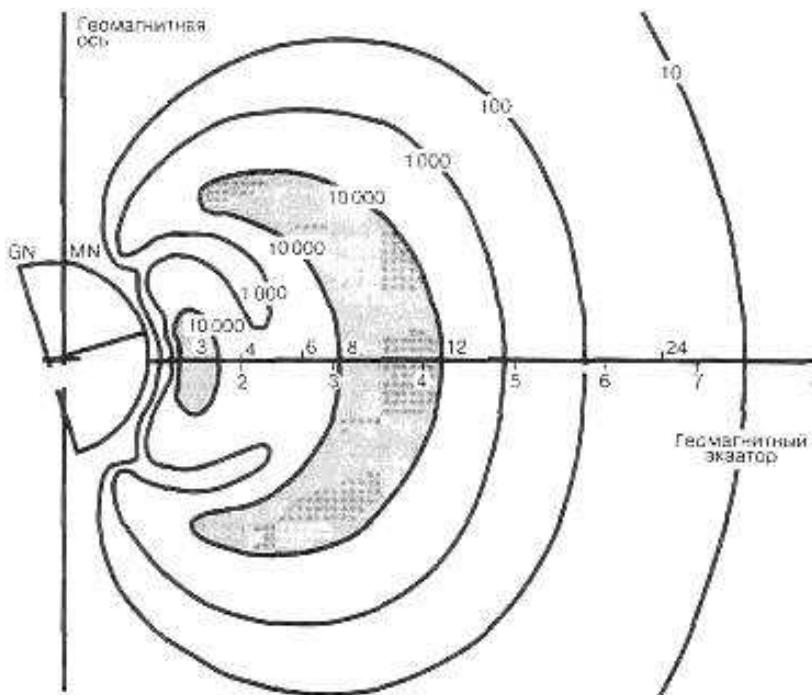


Рис. 3.17. Уровни радиации в зонах Ван Аллена (GN – географический север, MN – магнитный север)

Минимальная высота орбиты 500 км определяется тем, что при высотах менее 500 км плотность атмосферы относительно высока, что вызывает деградацию орбиты (постепенное снижение апогея). Кроме того, на малых высотах орбиты увеличивается расход топлива космического аппарата из-за частых маневров для коррекции орбиты.

Низкие орбиты характеризуются хорошими энергетическими параметрами (малые ЭИИМ ЗС и ИСЗ), минимальной задержкой сигнала при его прохождении по радиолинии, но в то же время имеют ряд существенных недостатков. К ним относятся: малая продолжительность сеансов связи, малая площадь зоны видимости, короткий срок активного существования космического аппарата. Последнее объясняется тем, что аккумуляторные батареи, находящиеся на борту низкоорбитального ИСЗ, испытывают приблизительно 5000 циклов зарядки/разрядки в год из-за того, что около 30% времени периода каждого оборота ИСЗ находится на теневой стороне Земли. Вследствие этого срок их службы не превышает 5–8 лет.

На рис. 3.18 показано размещение ИСЗ на низкой круговой орбите. Зона видимости составляет малую часть поверхности Земли, смещается при движении ИСЗ и вращении Земли, поэтому при использовании ИСЗ на такой орбите для связи в определенной зоне длительность сеанса измеряется несколькими десятками минут, и для увеличения времени сеанса необходимо иметь несколько ИСЗ, поочередно сменяющих друг друга.



Рис. 3.18. Круговая орбита ИСЗ

Движение спутника относительно Земли требует применения следящих антенн на ЗС и широко направленных антенн на ИСЗ. На ЗС требуется перестройка антенн на новый ИСЗ или новый виток ИСЗ. Близость траектории орбиты к верхним слоям атмосферы повышает уровень шума, увеличивает поглощение сигнала при его прохождении от границы зоны видимости, уменьшает срок службы ИСЗ на орбите.

В последнее время началось интенсивное освоение низких орбит. Созданы и работают такие системы персональной связи, как Globalstar,

ЕССО, Gemnet, Koskom и другие. К сожалению, система связи Iridium, разработанная и введенная в эксплуатацию компанией Motorola, проработав короткое время, выведена из эксплуатации из-за финансовых трудностей.

Низкоорбитальные ИСЗ используются для связи в вооруженных силах, так как способны переносить конфиденциальную информацию. Проходя над источником информации, такой ИСЗ принимает ее, сохраняет в ЗУ и передает на поверхность земли получателю информации, когда тот оказывается в пределах зоны покрытия.

Применительно к морской связи следует назвать низкоорбитальную систему КОСПАС-САРСАТ (космическая система поиска аварийных судов и самолетов), обеспечивающую прием аварийных сигналов, передаваемых специальными аварийными радиобуями (АРБ), и ретрансляцию их на наземные пункты приема информации (ППИ). Используя эффект Доплера, возникающий из-за быстрого движения ИСЗ на орбите относительно поверхности Земли, система обеспечивает определение координат АРБ с большой точностью.

Низкоорбитальные ИСЗ используются также в радионавигационных спутниковых системах.

Орбиты с высотой $H = 8-13$ тыс. км называются средними (MEO – Medium Earth Orbit). Период обращения ИСЗ на таких орбитах лежит в пределах 4-12 час. Трасса орбит ИСЗ проходит между первым и вторым поясами Ван Аллена. Наиболее используемые высоты 10-12 тыс. км.

Полная задержка сигнала при связи через средневысотные спутники не превышает 130 мс, что позволяет использовать их для персональной связи.

Средневысотные системы выигрывают у систем с высокими орбитами по энергетическим показателям, но проигрывают им по продолжительности сеанса связи. Зоны видимости ИСЗ значительно превышают зоны видимости низкоорбитальных спутников, а продолжительность сеанса связи может достигать 1,5-2 часов. Космическая группировка, обеспечивающая глобальное покрытие может быть ограничена 8-12 ИСЗ. Как правило, используются наклонные орбиты с наклоном $i = 40^\circ-50^\circ$.

Орбитальный ресурс ИСЗ составляет 12-15 лет. Это объясняется тем, что из длительного периода обращения спутника вокруг Земли (около 6 часов) лишь несколько минут он находится в области тени. Это облегчает работу бортовой системы питания и позволяет увеличить срок службы ИСЗ на орбите. В настоящее время эксплуатируются или находятся в стадии ввода в эксплуатацию такие системы, как Odyssey, ICO, Spaceway.

Наиболее сложной является эллиптическая орбита (HEO – High Elliptical Orbit), показанная на рис. 3.19. Размеры и форма орбиты определяют ее большой полуосью и эксцентриситетом.

Большой полуось α называют среднее расстояние от ИСЗ до центра Земли:

$$\alpha = 0,5(r_a + r_n), \quad (3.18)$$

где r_a и r_n – радиальные расстояния от центра Земли до апогея и перигея соответственно.

Эксцентриситетом орбиты e называют отношение фокусного расстояния c к большой полуоси a

$$e = c/a = 0,5(H_a + H_n)/a, \quad (3.19)$$

где H_a и H_n – высота орбиты в апогее и перигее соответственно. Для спутников связи используется высокоэллиптическая орбита с периодом обращения 12 часов. Этот тип орбиты длительное время использовался в нашей стране для спутниковой системы связи и ТВ вещания ОРБИТА.

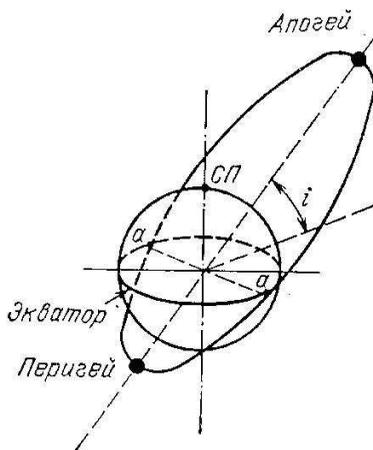


Рис. 3.19. Высокоэллиптическая орбита ИСЗ

На эту орбиту выводились ИСЗ «Молния». Угол наклона орбиты $63,4^\circ$, высота перигея 500 км над южным полушарием, а высота апогея 40 250 км над северным полушарием. В соответствии со вторым законом Кеплера движение ИСЗ в области апогея замедляется. Зона видимости ИСЗ «Молния» в апогее орбиты составлял около 40% земной поверхности в северном полушарии, что удобно для обслуживания стран северного полушария. Обслуживание всей территории России одним ИСЗ осуществлялось в течение 8 часов, и поэтому трех ИСЗ, сменяющих друг друга, было достаточно для круглосуточной работы системы. Неудобство данной орбиты заключается в том, что ЗС должны иметь следящие антенны и перенастраиваться при переходе на новый спутник. Наиболее известными

ССС, использующими эллиптические орбиты являются: СССР Ellipso, Archimedes и отечественный проект «Полярная звезда».

Наиболее широко применяется геостационарная орбита (ГСО или GEO – Geosynchronous Earth Orbit) (рис. 3.20), являющаяся круговой.

Плоскость орбиты совпадает с плоскостью экватора ($i = 0$), а высота над поверхностью Земли 35768 км. Распологающийся на ГСО ИСЗ делает один оборот вокруг Земли за одни сутки (23 ч 56 мин). Поэтому ИСЗ оказывается как бы неподвижным относительно Земли, а это позволяет получить круглосуточные сеансы связи в зоне обслуживания. Антенны стационарных ЗС практически не требуют систем слежения за ИСЗ. Благодаря большой высоте орбиты зона видимости составляет около одной трети поверхности Земли. Три таких спутника, равномерно расположенных на ГСО, обеспечивают связь 90% поверхности Земли.

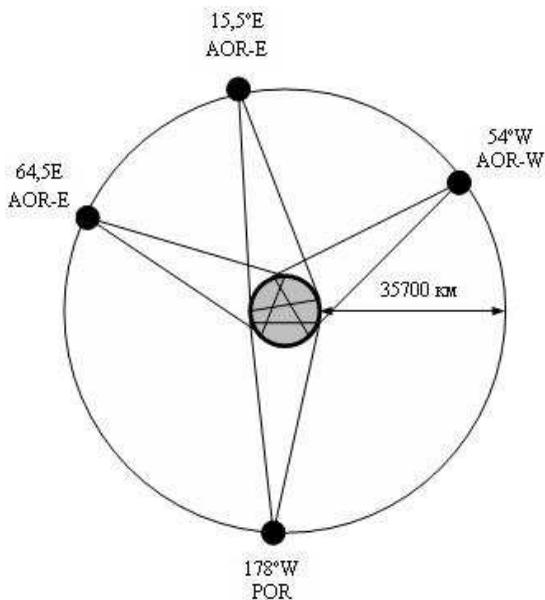


Рис. 3.20. Геостационарная орбита ИСЗ

К достоинствам систем использующих ГСО относятся:

- возможность непрерывной связи в глобальной зоне обслуживания;
- отсутствие доплеровского сдвига частоты;
- отсутствие необходимости в сложной системе слежения за спутником;
- большой период активного существования ИСЗ на орбите (около 15 лет).

Недостатками таких систем являются:

- ограниченные возможности повторного использования выделенных полос частот,
- невозможность организовать обслуживание в приполярных районах,
- значительные ЭИИМ наземных и бортовых терминалов,
- значительная суммарная задержка сигнала (около 600 мс) даже при однокачковой линии.

При использовании двухкачковой линии (например «судно–судно») задержка при телефонном обмене становится неприемлемой для 20% пользователей. В связи с этим ССС на базе ГСО наиболее приемлемы для передачи теле- и радиопрограмм и для передачи данных.

Сравнительная характеристика ССС, использующих разные типы орбит, приведена в табл. 3.7.

Положение ИСЗ на ГСО для ЗС определяется двумя величинами: азимутом и углом места. Азимутом спутника называется угол A между плоскостью меридиана, над которым расположен геостационарный ИСЗ, и плоскостью, проходящей через проекцию ИСЗ на земной экватор и точку расположения ЗС. Углом места называется угол ε между направлением на ИСЗ и плоскостью горизонта, проходящей через точку расположения ЗС.

Углы A и ε могут быть рассчитаны аналитическим методом, определены по таблицам или ориентировочно найдены по графикам, построенным на карте земной поверхности, так называемым «планшетами».

Таблица 3.7

Тип орбиты	GEO	MEO	LEO
Высота орбиты, км	36000	10350	700-1500
Количество ИСЗ в орбитальной группировке для непрерывного глобального охвата	3	8-12	48-66
Площадь зоны покрытия (% поверхности Земли)	34	25-28	3-7
Время нахождения ИСЗ в зоне радиовидимости	Непрерывное	1,5-2 ч	10-15 мин
Задержка при передаче речи: региональная связь глобальная связь	Не менее 500 мс	80-130 мс 250-400 мс	20-70 мс 170-300 мс
Угол места на краю зоны обслуживания (град)	5	25-30	10-15

ССС, использующие ГСО, наиболее распространены. Достаточно назвать такие международные системы, как Intelsat, «Интерспутник», Inmarsat.

sat, национальные «Горизонт», Arabsat, Palapa и др. В связи с большой нагрузкой геостационарной орбиты (около 300 ИСЗ) рассматривается применение субсинхронных круговых и эллиптических орбит с периодом обращения 12, 8, 6 и 3 часа.

Структурные схемы многоствольной ЗС и бортового ретранслятора ИСЗ ССС показаны на рис. 3.21.

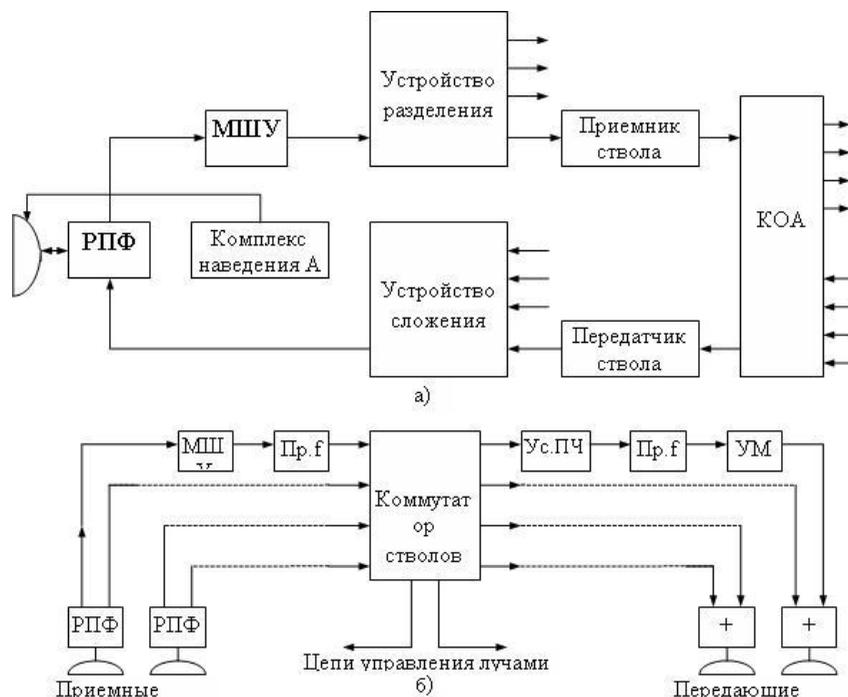


Рис. 3.21. Упрощенные структурные схемы: а) многоствольной ЗС и б) бортового ретранслятора ИСЗ

Сигналы, излучаемые ИСЗ, принимаются антенной А ЗС (рис. 3.21а). В качестве антенн ЗС чаще всего используются антенны зеркального типа, например классическая антенна Кассегрена с узкой, до 1° , диаграммой направленности. Антенна ЗС с комплексом наведения используется для передачи и приема сигналов. РПФ обеспечивает разделение полос передачи и приема.

Принимаемый сигнал усиливается с помощью малошумящего усилителя (МШУ) и поступает на устройство разделения (фильтр разделения) сигналов различных стволов. Далее в приемнике ствола производится усиление, преобразование, демодуляция сигналов, и через КОА сигналы вы-

водятся по линиям связи потребителям или переводятся на другие системы сети.

Передаваемые сигналы с помощью КОА преобразуются в групповой сигнал, поступающий на модулятор высокочастотного сигнала передатчика ствола. Сигналы передатчиков нескольких стволов объединяются в устройстве сложения (фильтре сложения) и через РПФ поступают в антенну.

Радиотехнический комплекс бортового ретранслятора включает в себя приемные и передающие антенны и приемо-передающее оборудование. На ИСЗ установлено обычно несколько приемных и передающих антенн для формирования различных зон обслуживания. Антенны, обладающие высокой направленностью, могут обеспечивать ограниченные зоны обслуживания на земной поверхности. Этим обеспечивается увеличение ЭИИМ, уменьшение взаимных помех с другими системами связи и многократное использование рабочих частот. В глобальных ССС антенны ИСЗ обеспечивают максимальную зону обслуживания, практически совпадающую с зоной видимости.

Сигнал, принятый антенной ИСЗ, поступает на РПФ, который производит разделение стволов, затем сигнал усиливается входным МШУ и преобразуется в промежуточную частоту. Дальнейшее усиление сигнала происходит по промежуточной частоте и частоте излучения. В схеме может применяться одно- и двухкратное преобразование частоты. В схеме могут применяться коммутаторы, обеспечивающие коммутацию сигналов по стволам и стволов по антеннам, а также коммутацию лучей антенн.

Сигналы усилителей мощности передаваемых сигналов разных стволов объединяются и излучаются передающими антеннами на ЗС.

Линию спутниковой связи, состоящую из двух участков «Земля – спутник» и «спутник – Земля», можно охарактеризовать диаграммой уровней, показанной на рис. 3.22.

Для каждого из участков трассы может быть выведено уравнение связи. Ниже рассматривается простейший случай односигнального режима.

ЭИИМ передающей ЗС1 определяется формулой

$$\text{ЭИИМ}_3 = P_{\text{пер.з}} \cdot \eta_{\text{пер.з}} \cdot G_{\text{пер.з}} \quad (3.20)$$

Затухание энергии в свободном пространстве, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя, может достигать 200 дБ и определяется как

$$L_0 = 16\pi^2 d^2 / \lambda^2, \quad (3.21)$$

где λ – длина волны, на которой работает ЗС1; d – расстояние между передающей антенной ЗС1 и приемной антенной спутника.

Кроме этих основных потерь, на трассе присутствуют дополнительные потери $L_{\text{доп}}$ (поглощение в атмосфере, рефракция, деполяризация и т.п.). Полное значение потерь на трассе $L = L_0 \cdot L_{\text{доп}}$ (пунктир на диаграмме).

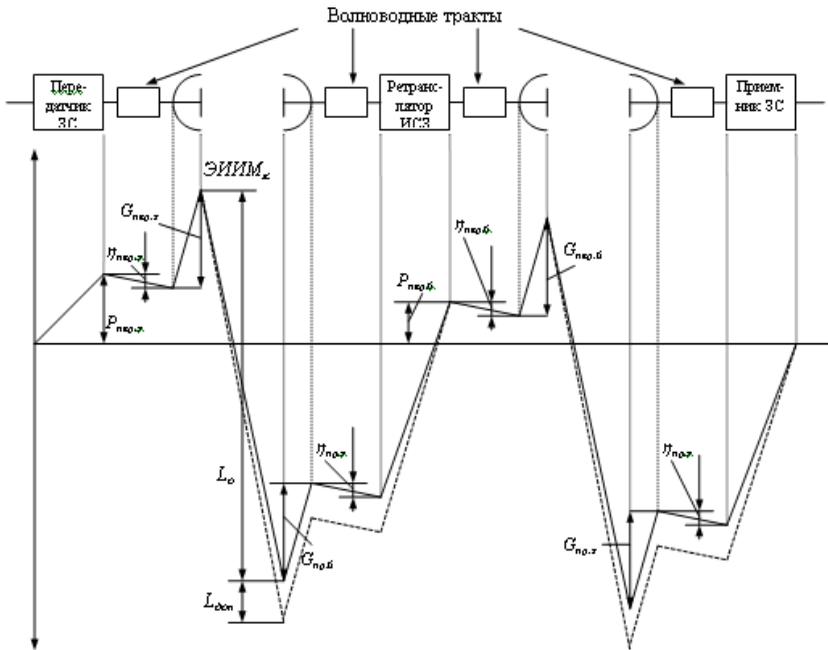


Рис. 3.22. Диаграмма уровней линии спутниковой связи для двух участков

В точке приема (на борту ИСЗ) установлена антенна с коэффициентом усиления $G_{\text{пр.б}}$, связанная с приемником волноводным трактом с коэффициентом передачи $\eta_{\text{пр.б}}$. При согласовании волновых сопротивлений антенны, тракта и приемника мощность на входе приемника

$$P_{\text{пр.б}} = \frac{\mathcal{E}CCM_3}{L_{01} \cdot L_{\text{доп}}} \cdot G_{\text{пр.б}} \cdot \eta_{\text{пр.б}} = \frac{\lambda^2 \cdot G_{\text{пер.з}} \cdot G_{\text{пр.б}} \cdot \eta_{\text{пер.з}} \cdot \eta_{\text{пр.б}}}{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L_{\text{дон.1}}} \quad (3.22)$$

Полученное выражение является уравнением связи для участка "Земля – ИСЗ". Если параметры антенны заданы в виде эффективной площади ее апертуры $S_{\text{пр.б}}$, то коэффициент усиления антенны приемника может быть определен как

$$G_{\text{пр.б}} = 4\pi \cdot S_{\text{пр.б}} / \lambda_2 \quad (3.23)$$

Тогда предыдущее выражение будет иметь вид

$$P_{пер.з} = P_{пр.б} \cdot \frac{4\pi \cdot d^2 \cdot L_{дон.1}}{G_{пер.з} \cdot S_{пр.б} \cdot \eta_{пер.з} \cdot \eta_{пр.б}}. \quad (3.24)$$

Формула позволяет определить необходимую мощность передатчика по заданному значению мощности сигнала на входе приемника. В формулу не входит длина волны, что означает, что при постоянстве $G_{пер.з}$ и $S_{пр.б}$ в диапазоне рабочих частот мощность сигнала на входе приемника в первом приближении не зависит от частоты (реально зависимость от частоты вносится через $L_{дон}$, которая определяется диапазоном частот).

Для второго участка "спутник – Земля" уравнение связи будет

$$P_{пр.з} = \frac{\lambda^2 \cdot G_{пер.б} \cdot G_{пр.з} \cdot \eta_{пер.б} \cdot \eta_{пр.з}}{16\pi^2 \cdot d^2 \cdot L_{дон.2}}, \quad (3.25)$$

а мощность бортового передатчика определяется выражением

$$P_{пер.б} = P_{пр.з} \cdot \frac{4\pi \cdot d^2 \cdot L_{дон.2}}{G_{пер.б} \cdot S_{пр.з} \cdot \eta_{пер.б} \cdot \eta_{пр.з}} \quad (3.26)$$

Более подробно расчет трассы ССС приведен в [57], [58].

Во второй части пособия рассмотрены системы спутниковой связи, используемые в морской подвижной спутниковой службе.

В настоящее время эксплуатируется свыше двух десятков международных, региональных и национальных ССС. Помимо международных ССС, Intelsat, Inmarsat, ICO, Globalstar создан ряд региональных ССС, таких как Arabsat (эксплуатируется рядом арабских государств), Palapa (страны Юго-Восточной Азии), Eutelsat (страны Западной Европы и Северной Африки), Ellipso, ЕССО. Национальные ССС созданы в России, США, Франции, Японии, Канаде, Нигерии и др.

Международная ССС Intelsat была создана в 1964 г., в настоящее время ее членами являются 114 стран. Система в основном предназначена для международной телефонной связи и ретрансляции телевизионных программ, но свыше 26 стран используют систему и для внутренней связи. В системе используются около 17 ИСЗ связи на ГСО и свыше 680 ЗС, обеспечивающих связь между 165 странами. Система обеспечивает две трети международных телефонных услуг и большую часть международных телевизионных передач.

ЗС системы отвечают одному из стандартов, принятых в системе. Станции стандартов А и В, работающие в диапазоне 6/4 ГГц, имеют антенны диаметром 26...32 м ($G/T > 40,7$ дБ/К, ЭИИМ 74...95 дБВт) и 11...13 м ($G/T > 31,7$ дБ/К, ЭИИМ 63...85 дБВт) соответственно; станции

стандарта С, работающие в диапазоне 14/11 ГГц, имеют антенны диаметром 14...19 м ($G/T > 41$ дБ/К, ЭИИМ 75...92 дБВт).

Космический сегмент системы использует ИСЗ Intelsat IV, Intelsat V и Intelsat VI. ИСЗ системы располагаются на ГСО группами в трех областях орбиты: над Атлантическим, Индийским и Тихим океанами. Номинальный угловой разнос между соседними ИСЗ должен быть не менее 3° .

Телефонные сообщения передаются с использованием временного уплотнения каналов (TDM) в дискретной форме или с использованием частотного уплотнения каналов (FDM) с передачей каждого канала на отдельной несущей (метод ОКН) в дискретной форме. Для передачи телефонных сигналов в системе Intelsat применяют в основном FDMA в двух вариантах – передача на каждой несущей стандартных групп телефонных каналов, разделенных по частоте, и передача каждого канала на отдельной несущей (ОКН).

В первом случае передача сигналов идет в аналоговой форме, во втором случае осуществляется аналого-цифровое преобразование телефонного сигнала методом ИКМ (7-разрядный код, информационная скорость 56 кбит/с при общей скорости в канале 64 кбит/с) с последующей фазовой манипуляцией несущей (ФМ-4).

ССС «Банкир» предназначена для обмена информацией в российских банковской и финансовой системах с выходом на зарубежные банковские системы. В системе используются 3 ИСЗ связи «Купон». Бортовой ретранслятор ИСЗ обеспечивает 24 ствола в диапазоне 11/14 ГГц. Ширина полосы частот каждого ствола составляет 36 МГц. СССР обеспечивает передачу телефонных, факсимильных сообщений и данных.

Параметры отдельных СССР, использующих ГСО приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Параметры СССР, использующих ГСО

Параметр	ССС «Банкир»	Intelsat		Eutelsat ECS-2	ССС Луч, Горизонт		
	ИСЗ Купон	Intelsat V	Intelsat VI		ИСЗ Горизонт		
Диапазон рабочих частот, ГГц	14/11	6/4 14/11	6/4 14/11	14/11	6/4 14/11		
Мощность ист.питания, Вт	1200	1220	2000	–	>1000		
Зона обслуживания	16 лучей в глобальной зоне	Глобальная	Луч	Многолучевая	Европа, Северная Африка	Глобальная	Луч

Окончание табл. 3.8

Параметр	ССС «Банкир»	Intelsat			Eutelsat ECS-2	ССС Луч, Горизонт	
	ИСЗ Купон	Intelsat V		Intelsat VI		ИСЗ Гори- зонт	
Число стволлов	24	21	6	48	12	6	1
Добротность G/T ИСЗ, дБ/К	3,1	- 18,6, - 11,6, -8,6	+3,3	-14,0; -2,0; -9,2; +1,0; -7,0; +5,0	+5,3	-17; -11	-6
ЭИИМ, дБВт	36-50	23,5; 29,0	41,1 ; 44,4	23,5; 31; 41,1; 44,4	46	31; 34; 46	40
Число антен- ных лучей	16	5	2	-	2	3	1
Пропускная способность (ТЛФ сим- плексных ка- налов)		2200 0	800 00	1599+2Т В	3500		

В последние годы возрос интерес к ССС на базе низкоорбитальных и среднеорбитальных КА. Это объясняется чрезмерной загруженностью ГСО и высокой стоимостью запусков ИСЗ на эту орбиту. В настоящее время эксплуатируется или вводится в эксплуатацию целый ряд международных, региональных и национальных ССС, использующих ЛЕО и МЕО. Параметры некоторых из них приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Параметры ССС, использующих ЛЕО и МЕО

Наимено- вание ССС	Число КА и орбит	Высо- та орби- ты км	Ско- рость пере- дачи инфор- мации	Число лучей ан- тенны КА	Диа- пазон частот	ЭИИМ G/T КА	Метод досту- па	Назначе- ние
ЕССО, США, Бразилия	57 (2×11) (7×5)	2000 LEO			L и S	-	CDM A	Тел/ Факс, данные, пейджинг

Окончание табл. 3.9

Наименование ССС	Число КА и орбит	Высота орбиты км	Скорость передачи информации	Число лучей антенны КА	Диапазон частот	ЭИИМ Г/Т КА	Метод доступа	Назначение
Elipso, США	14 (2×4) (1×6)	7840/ 520 НЕО 7840 МЕО	4,8 Кбит/с	37, 61	L и S	20-25 Вт	CDM A	Тел/ Факс, данные, пейджинг
Globalstar, США	48 (8×6)	1400 LEO	4,8 Кбит/с	19	L и S	-2,9 дБВт -10 дБ/К	CDM A	Тел/ Факс, данные, пейджинг
Gemnet, США	38(4x 8) (1×6)	1000 LEO	2,4/4,8 Кбит/с	Гло- баль- ный луч	137- 150 МГц,	–	FDM A/ TDM	Пакетная передача данных
ICO, Между- нар.	10 (2×5)	10355 МЕО	2,4 Кбит/с	163	S и C	33,6 дБВт 1,4 дБ/К	TDM A	Тел/ Факс, данные, пейджинг
Orbcomm, США	28 (3×8) (2×2)	825 LEO 825 LEO	2,4/4,8 Кбит/с	Гло- баль- ный луч	137– 150 МГц,	40 Вт	FDM A	Передача данных, опр. корд.
Odyssey, США	12 (3×4)	10354 МЕО	4,2 Кбит/с	61	L и S	24,2 дБВт –1,4 дБ/К	CDM A	Тел/ Факс, данные
Ar- chimedes, ЕКА	6	26737/ 1000 НЕО	4,8; 9,6 Кбит/с	6	L	62,5 дБВт 8 дБ/К	TDM A	Тел. Радовещ.
Гонец, Россия (проект)	45 (5×9)	1400 LEO	2,4; 4,8; 9,6; 19,2; 64; 128 Кбит/с	Гло- баль- ный луч	300/400 МГц		Aloha, FDM A	Тел/ Факс, данные, опр. корд.
Сигнал, Россия (проект)	48 (4×12)	1500 LEO	2,4 Кбит/с	1 глоб. 6 3	0,3-0,4 ГГц 1,5-1,6 ГГц 11-14 ГГц		Aloha, CDMA	Передача данных, опр. корд.

3.4. Наземные системы и сети радиосвязи

Наземные системы радиосвязи широко используются как для коммерческих, так и для военных целей. Системы дальней КВ связи обеспечивают дублирование магистральных кабельных и радиорелейных линий связи, а на отдельных участках являются единственными видами связи. КВ связь используется для внутрипроизводственной связи, связи с подвижными объектами. Как правило, такие системы обеспечивают с помощью одного комплекта приемо-передающей аппаратуры от одного до четырех телефонных каналов с применением однополосной модуляции, каждый из которых может уплотняться двенадцатью телеграфными каналами методами частотного уплотнения каналов. Для телеграфии используется, как правило, частотная манипуляция. Диапазон используемых для связи частот 1,5...30 МГц. Широкое применение КВ системы радиосвязи получили на морском транспорте и рыбопромысловом флоте. Необходимость повышения надежности, помехоустойчивости и эффективности КВ связи, используемой для обслуживания локальных зон, привела к идее использования вынесенного за пределы зоны ретранслятора, расположенного на расстоянии, близком к оптимальному для однокачковой трассы, и играющего роль центральной программно-управляющей, распределительной, регенерационной и контролирующей станции.

В зоновой системе радиосвязи с вынесенным ретранслятором радиостанции отдельных корреспондентов зоны осуществляют связь между собой не непосредственно, а через ретранслятор (рис. 3.23), вынесенный из зоны на расстояние 2,5–3 тыс. км, благодаря чему обеспечивается наилучшее качество связи.

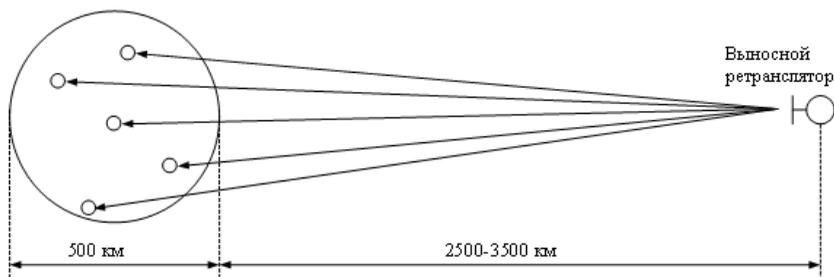


Рис. 3.23. Зоновая система КВ связи через ретранслятор

В вооруженных силах для дальней связи с подводными лодками используется диапазон сверхдлинных волн (СДВ). Для этой цели строятся мощные береговые радиоцентры с мощностью передатчиков 1000 кВт и более, работающие на частотах 10...30 кГц. Антенные устройства таких

радиопередатчиков имеют громадные размеры (протяженностью до 50 км). С помощью таких передатчиков на подводные лодки передают сигналы боевого управления, приказы и другую информацию. Сигналы могут быть приняты подводной лодкой на глубинах до 30–50 м. Исследования показывают, что использование особо низких частот 40...80 Гц при мощности передатчиков до 5000 кВт позволит получить глобальную связь с подводными лодками на расстояниях до 10000 км и на глубинах в сотни метров. В настоящее время передающие центры СДВ имеют Россия, США, Великобритания, Япония, Швеция и Франция.

Получившие в последнее время большое развитие УКВ наземные системы радиосвязи с подвижными абонентами создавались и развивались в интересах государственных организаций, коммерческих структур, скорой помощи, полиции, пожарных и служб безопасности. В принятой за рубежом классификации эти системы относятся к так называемым профессиональным системам подвижной радиосвязи – PMR (Professional Mobile Radio). В отличие от сотовых систем, существующие PMR не обеспечивают непрерывности связи при пересечении границ зон радиопокрытия, не гарантируют абонентам других сетей одинаковый набор имеющихся услуг связи, включая вопросы оплаты. Ведомственные системы, как правило, обслуживают узкий круг абонентов. Как правило, PMR имеют радиальную или радиально-зонавую структуру сети. PMR, обеспечивающие соединения мобильных абонентов с абонентами телефонных сетей общего пользования, называют PAMR (Public Access Mobile Radio).

Существующие сети подвижной радиотелефонной связи обладают возможностями современного телефона: повторный вызов, конференц-связь между тремя и более абонентами, перевод вызова на другой телефон, селективный запрет, вызов тревоги, вызов с ожиданием и удержание вызова. Кроме того, при цифровой обработке информации появилась возможность не только передавать телефонные сообщения, но и организовать передачу данных, телексную, факсимильную связь, доступ к международным общественным банкам данных, автоответ, передачу и прием медицинских данных, определение местоположения подвижного абонента с точностью до десятка метров и т.д.

Помехоустойчивость эксплуатируемых в настоящее время аналоговых PMR весьма низкая. Цифровые PMR используют методы помехоустойчивого кодирования и перемежения, пространственное и частотное разнесение, адаптацию радиотрактов к возникающим изменениям в канале связи.

Достаточно хорошая разборчивость передаваемых сигналов в аналоговых сетях PMR обеспечивается за счет рационального выбора вида модуляции, способов построения модуляторов и демодуляторов, применения высококачественных акустических преобразователей, а также реализацией ряда других технических мер.

В цифровых PMR высокое качество передачи речевых сообщений, достаточное для профессиональной связи, обеспечивается при использовании адаптивных дельта-модуляторов при скорости аналого-цифрового преобразования 9,6 кбит/с. Современная элементная база позволяет реализовать в абонентских радиостанциях высококачественные по разборчивости алгоритмы преобразования речи CELP и VSELP при скорости преобразования до 4,8 кбит/с.

Важнейшей характеристикой системы подвижной радиосвязи является ее емкость, то есть максимальное количество обслуживаемых абонентов. Принципы организации системы связи и требуемые характеристики существенным образом определяют емкость сети. Принципиальным моментом является выбор способа использования частотного ресурса, выделенного системе связи.

По способам использования частотного ресурса системы радиосвязи делятся на:

- системы связи с закрепленными за абонентами каналами связи;
- системы связи со свободным доступом абонентов к общему частотному ресурсу;
- системы связи с пространственно-разнесенным повторным использованием частот (сотовые системы связи).

PMR и PAMR относятся к первым двум классам систем подвижной связи.

В PMR часто используется принцип фиксированного закрепления каналов связи за определенными абонентами. В этом случае максимальное количество обслуживаемых абонентов на одной частоте (канале) зависит от интенсивности связи (количестве сеансов связи в единицу времени), продолжительности сеанса связи и допустимой вероятности блокировки канала связи.

Общая нагрузка на канал связи в Эрлангах определяется выражением

$$A = \frac{n \cdot T}{3600},$$

где n – количество сеансов связи в час; T – среднее время сеанса связи, с. Если $n = 100$, $T = 10$ с, то $A = 0,28$ Эрл.

Расчеты показывают значительное преимущество систем со свободным доступом абонентов к каналам связи. Однако при фиксированном закреплении каналов реализуется высокая оперативность установления связи. Современные PRM этого класса обеспечивают установление связи за время 100-250 мс.

Для обеспечения работы средств подвижной УКВ связи в диапазоне 30...470 МГц освоены стандартные поддиапазоны 30...68; 68...87,5; 146...174; 350...370; 440...470 МГц с использованием частотной модуляции

для радиотелефона. Разнос между каналами – 12,5; 20; 25; 30 кГц. Все радиостанции полностью полупроводниковые и имеют градацию мощности 0,1; 0,4; 1,0; 2; 3; 10; 20; 25; 30; 40 Вт. В радиостанциях в качестве возбудителей широко используются синтезаторы частоты с микропроцессорным управлением.

Большое количество зарубежных фирм выпускает разнообразные аппараты как стационарных, так и мобильных (автомобильных, судовых) и портативных переносных радиостанций для ведомственной связи.

На базе УКВ радиостанций создаются системы диспетчерского управления и слежения за местоположением подвижных объектов в реальном масштабе времени. УКВ радиостанция, установленная на подвижном объекте управления (автомобиль, морское или речное судно, железнодорожный состав и т.п.), соединяется с навигационным приемником GPS, что позволяет по запросу или через заданный интервал времени передавать информацию о местоположении объекта по УКВ каналу в диспетчерский центр. Местоположение объекта отображается на электронных картах и заносится в базу данных. Существующие системы обеспечивают отслеживание до 200 и более объектов. Точность определения местоположения составляет 20–30 метров. Период опроса от 5 до 300 сек, в зависимости от количества объектов. Радиус действия определяется охватом территории сетью УКВ радиостанций.

3.5. Транкинговые системы радиосвязи

Принцип свободного доступа абонентов к общему частотному ресурсу позволяет абонентской станции работать на любом канале связи в выделенной полосе частот. Он получил название «транкинг» (Trunking). В соответствии с «Концепцией использования в России транкинговых систем при организации коммерческих сетей связи» под термином «транкинг» понимается метод равного доступа абонентов к общему выделенному пучку каналов, при котором конкретный канал закрепляется для каждого сеанса связи индивидуально в зависимости от распределения нагрузки в системе. Используются несколько способов реализации принципа транкинговой связи, основанные на различном подходе к поиску свободного канала связи. В одном случае функция поиска свободного канала и вызывного сигнала возлагается на абонентскую станцию, которая осуществляет последовательный (сканирующий) поиск незанятого канала во всем выделенном диапазоне частот за счет использования устройств автоматического поиска вызывного канала связи (АПВК). В другом случае анализ занятости каналов связи возлагается на подсистему управления PMR. При этом назначение свободного (вызывного) канала связи абонентской станции осуществляется по каналу управления.

В первом случае, когда абонентская станция осуществляет последовательный поиск свободного (вызывного) канала связи с использованием АПВК, на каждом канале осуществляется вся процедура вхождения в связь, включая попытку тактовой и цикловой синхронизации. Таким образом, время установления канала связи для этого случая многократно увеличивается относительно времени установления канала связи при фиксированном закреплении каналов за отдельными группами абонентов. По этой причине использование АПВК эффективно при небольшом (5-8) количестве каналов связи.

В целях обеспечения оперативности управления в современных транкинговых PMR и PAMR анализ занятости каналов связи осуществляется системой управления связью на основе использования специального канала, через который обеспечивается управление функционированием сети, включая процедуры установления и прекращения связи. Важно, чтобы в сети связи имелась возможность оперативного переключения организационного канала на другую частоту при появлении помех.

Использование принципа централизованной организации связи с использованием отдельного канала управления определяет необходимость обмена сообщениями абонентов через вынесенные приемопередающие (базовые) станции. В этом случае проектирование PMR должно осуществляться с учетом обеспеченности связью для двух направлений «вверх» и «вниз». Прямая связь между двумя абонентами без участия базовой станции не использовалась. Этот недостаток устранен в перспективном общеевропейском стандарте транкинговой связи «TETRA», где предусматривается режим прямой связи абонентов без участия центра.

Основной тенденцией развития транкинговых PMR и PAMR является использование и совершенствование цифровых методов передачи, что позволит обеспечить:

- одновременную передачу речевых сообщений и данных в формате стандартных цифровых сигналов;
- совместную передачу информационных сообщений и сигналов управления без взаимного мешающего влияния;
- интеграцию (при достаточно низком уровне затрат) существующих сетей радиосвязи с вновь разрабатываемыми;
- стабильно высокий уровень разборчивости передаваемых речевых сообщений в условиях всего диапазона дальности связи;
- надежную и технически несложную защиту передаваемых сообщений от подслушивания;
- непрерывный контроль качества функционирования каналов связи.

Перспективным направлением является переход от частотного разделения каналов связи (FDMA) к временному (TDMA) с повышенной скоро-

стью передачи сообщений. Модель функционирования перспективной PMR включает в себя следующие процедуры.

При первой попытке установления канала связи подвижной радиостанцией через организационный канал осуществляется поиск в выделенной полосе частот канала с лучшими качественными показателями, на который возлагаются функции организационной линии связи. Через этот канал и определенный узел подвижной связи абонентская радиостанция может принимать периодически транслируемую информацию об основных каналах связи различных групп абонентов данной зоны.

При штатном режиме работы подвижная радиостанция автоматически переключается на свой оперативный канал связи.

При необходимости установления приоритетной связи соответствующий сигнал передается по организационному каналу. Связь устанавливается за счет использования непрерывно транслируемой переключающей команды, в соответствии с которой канал связи выделяется абоненту с приоритетом.

Для выполнения рассмотренных выше требований наиболее рациональным в настоящее время признается применение в транкинговых PMR и PAMR метода временного разделения каналов связи (TDMA), при котором обеспечивается более высокое быстродействие при смене канала связи и возможность количественной оценки показателей каналов связи. При этом основное внимание уделяется повышению помехоустойчивости каналов связи.

Ключевым вопросом для пользователей и операторов сетей PMR и PAMR является выбор стандарта связи. Принятие единого стандарта позволит значительно расширить объем выпуска оборудования, развить конкуренцию среди производителей и, как следствие, снизить затраты на внедрение и стоимость сетевого и абонентского оборудования.

Для обеспечения совместимости сетей операторы и абоненты PMR стремились применять единый стандарт. Так как при этом не ориентировались на какой-то фирменный стандарт, то в качестве альтернативы оставался только выбор так называемого открытого стандарта. В качестве открытого стандарта большинство операторов и производителей выбрали разработанный в Великобритании стандарт министерства почт и телекоммуникаций MPT 1327 (MPT – Ministry of Post and Telecommunication), используемый в английских транкинговых наземных системах подвижной радиосвязи. Этот стандарт определяет в основном протоколы сигнализации и может быть применен в сетях PMR и PAMR различной конфигурации и для различных частотных диапазонов.

Радиоинтерфейс подвижной станции определяется протоколом MPT 1343, радиоинтерфейс базовой станции соответствует протоколу MPT 1347. Основной формат кода синхронизации, предшествующего передаче цифровой информации в наземных системах подвижной радиосвязи (PMR

и PAMR), определяется протоколом MPT 1317. Его структура, включающая протокол MPT 1327, показана на рис. 3.24.

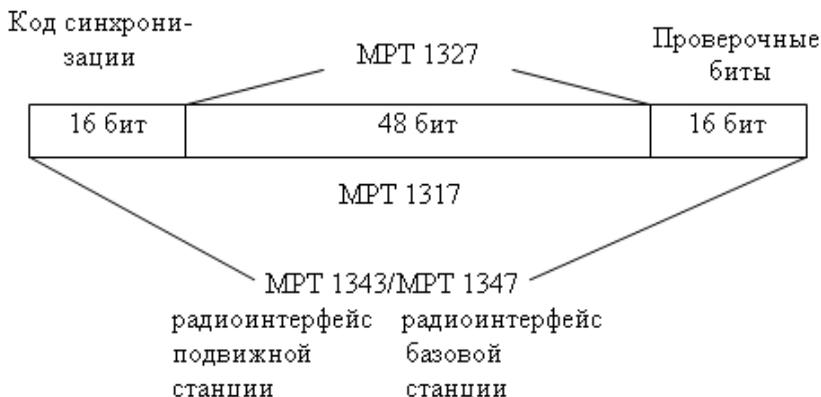


Рис. 3.24. Радиоинтерфейс транкинговой системы связи

Указанные протоколы сигнализации с аналоговой системой передачи речи для PMR и PAMR были согласованы между Великобританией, Францией, Италией и Германией, тем самым они приобрели статус международного стандарта и в настоящее время используются для построения транкинговых систем наземной подвижной связи в различных диапазонах радиочастот.

Основными производителями оборудования, соответствующего протоколам MPT, являются компании Motorola, Ericsson, Philips, Bosch, Nokia, GEC Marconi, Ascot и другие.

Стандарт MPT 1327 определяет формат сигнализации для транкинговых систем наземной подвижной радиосвязи, в которых информационные сообщения передаются по аналоговому радиоканалу. Формат сигнализации представляет собой определенную цифровую бинарную последовательность, передаваемую со скоростью 1200 бит/с быстрой частотной манипуляцией маленького FFSK (Fast Frequency Shift Keying). Базовая структура формата сигнализации включает:

- 1) интервал установления (готовности) канала связи (LET), в течение которого передатчик после включения должен обеспечить на выходе уровень не менее 90% максимальной мощности и должен быть готов к осуществлению модуляции. Интервал LET равен 5 мс и соответствует 5 битам;
- 2) преамбулу (Preamble), представляющую собой меандровую последовательность «1» и «0» с минимальным количеством 16 бит и оканчивающуюся «0», преамбула обеспечивает тактовую синхронизацию канала связи;

3) сообщение (Message), представляющее собой совокупность синхропоследовательностей, кода адреса, одного или более кодовых слов данных;

4) бит согласования (Н) формата сигнализации представляет собой «1» или «0» в зависимости от последнего знака, содержащегося в сообщении кодового слова.

Структура интервала «Message» включает в себя кодовые слова общей длительностью 64 бита. Каждое кодовое слово состоит из 48 информационных бит, за которыми следуют 16 проверочных бит.

Проверочные биты используются для контроля ошибок. Первые 15 проверочных бит получаются из циклического кода (63, 48). Для кодирования в кодовой комбинации биты с 1 по 48 представляют коэффициенты многочлена, имеющего члены с x^{62} до x^1 . Этот многочлен делится по модулю 2 образующим многочленом:

$$x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^4 + x^2 + 1.$$

Проверочные 15 бит соответствуют коэффициентам членов с x^{14} по x^0 в многочлене, полученном после деления. Последний проверочный бит циклического кода (63, 48) (бит 63 кодовой комбинации) затем инвертируется. Наконец, один бит добавляется к блоку из 63 бит (включающему инвертированный бит – номер 63), чтобы обеспечить проверку на четность всей комбинации из 64 бит.

В настоящее время большинство систем транкинговой подвижной радиосвязи использует оборудование стандартов MPT 1327, MPT 1347 и MPT 1343 с централизованным управлением.

Принцип централизованного управления используется фирмой Motorola в многофункциональных аналоговых однозоновых и многозоновых системах транкинговой подвижной радиосвязи с цифровым доступом и управлением транкинговой подвижной радиосвязи с цифровым доступом и управлением «Стартсайт», «Смартнет», «Смартзон».

Системы предназначены для организации групповой связи подвижных абонентов, а также индивидуальных переговоров. Системы работают в диапазонах 132-158, 146-174, 403-440, 435-475 МГц, возможно использование и диапазона 800 МГц. Разнесение частот соседних каналов – 12,5, 20 или 25 кГц. Мощность передатчиков ретрансляторов может варьироваться от 1 до 100 Вт (максимальное значение зависит от диапазона частот). Управление работой системы, в том числе обмен командами и служебной дискретной информацией между системой управления и абонентскими радиостанциями, осуществляется по каналу управления со скоростью 3600 бит/с. Режим работы абонентских радиостанций – двухчастотный симплекс, минимальное частотное разнесение в разговорном канале – 4 МГц, максимальное – 8 МГц.

В качестве примера рассмотрим систему «Смартнет П+». Система обеспечивает одновременную работу до 28 каналов и допускает подключение к

АТС (УАТС) до 24 линий. В системе может быть зарегистрировано до 48000 идентификационных номеров абонентов с максимальным количеством разговорных групп до 4000. Структурная схема системы показана на рис. 3.25. Контроллер типа «Смартнет II+», используя специальную программу, управляет доступом абонентов в систему. Контроллер соединен кабелем с управляющим компьютером, в памяти которого хранятся программы, позволяющие оператору управлять параметрами и возможностями системы.

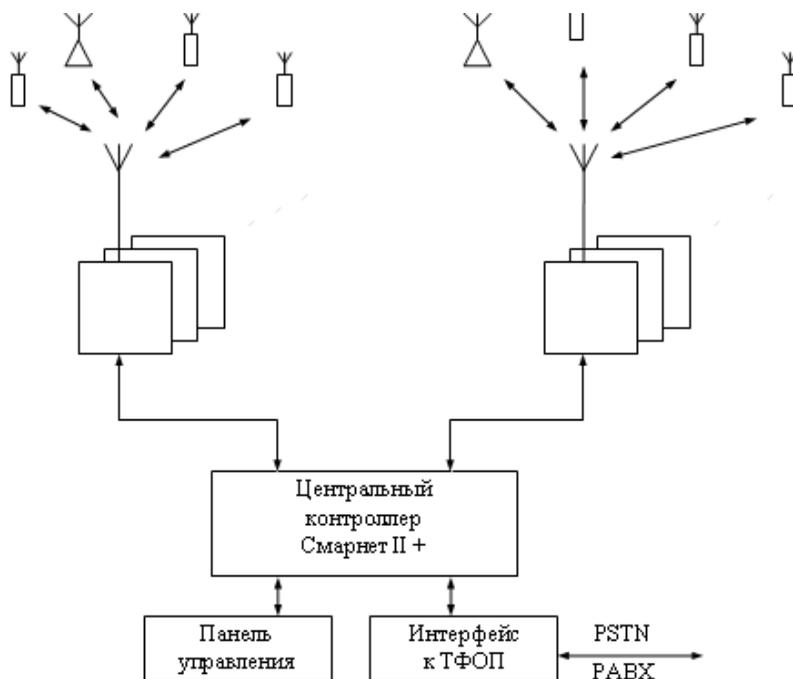


Рис. 3.25. Структурная схема системы «Смартнет II+»

К управляющему компьютеру может быть подключено до 10 терминалов операторов. Каждый терминал представляет собой компьютер со специальным программным обеспечением, дисплей и клавиатуру. Лицо, являющееся главным оператором системы, определяет объем данных и программ, к которым может иметь доступ каждый оператор, а также его пароль для входа в систему. Доступ осуществляется с клавиатуры путем ввода пароля. Функции главного оператора могут осуществляться с одного из терминалов, и доступ этого оператора ко всей базе данных также осуществляется вводом пароля. Вся текущая информация, относящаяся к компетенции каждого оператора, выводится на дисплей его терминала.

Терминалы операторов соединяются с управляющим компьютером через стандартный интерфейс RS232 кабелями длиной до 30 м или линиями с модемами, рассчитанными на скорость передачи 9600 бит/с. В некоторых случаях может оказаться удобным соединение терминалов с управляющим компьютером через линии АТС.

Каждый ретранслятор подключается к контроллеру 12-жильным кабелем длиной до 30 м. Предполагается, что ретрансляторы находятся в непосредственной близости от антенного сумматора и антенны.

Приемная и передающая части антенны состоят (каждая) из ненаправленной антенны с усилением 10 дБ, фидера длиной 160 футов и многоканального приемного разветвителя (приемная часть) и сумматора (передающая часть). Передатчики и приемники ретрансляторов подключаются к антенной системе отдельными кабелями.

Наличие канала управления позволяет обеспечить следующие возможности:

- управление операторами доступом абонентов системы, т. е. управление возможностями групповых и индивидуальных разговоров и связи с абонентами АТС, добавлением или исключением из базы данных отдельных радиостанций и групп, дистанционной блокировкой работы утерянных (украденных) радиостанций, оперативным перегруппированием абонентов в экстренных ситуациях;

- автоматическую постановку на очередь в случае занятости всех каналов с уведомлением о предоставлении канала по мере освобождения;

- приоритет последнего пользователя, т. е. преимущественное право на предоставление канала абонентам в течение 10-секундной паузы между передачами;

- два варианта экстренного вызова: с прерыванием разговора абонентов с самым низким приоритетом или с постановкой на первое место в очереди.

Абонентам системы может быть присвоен один из 8 уровней приоритета, используемых при постановке на очередь в случае занятости каналов. Возможен одновременный вызов нескольких разговорных групп, передача статусных сообщений, уведомление занятого абонента о вызове с автоподтверждением вызывающей стороне этого уведомления. Как уже было отмечено, вся служебная дискретная информация передается по каналу управления, не занимая разговорные каналы.

Радиостанция системы оповещает абонента различными звуковыми сигналами о своем состоянии или выполняемой операции: о типе входящего вызова, о невозможности выполнения полученной от абонента команды, об ограничении длительности передачи, о необходимости подзарядки аккумулятора, о режиме сканирования групп. В этом режиме возможно автоматическое сканирование от 5 до 16 разговорных групп (в зависимости от типа радиостанции) с подключением абонента к разговору, если

одна из этих групп его начинает. Радиостанция может быть заказана с перечнем сканируемых групп, либо этот перечень может формироваться с клавиатуры лицом, определяющим этот перечень. Набранный номер вызываемого абонента (или группы), статусные сообщения и другая цифровая информация представляются на экране миниатюрного дисплея.

Кроме терминала операторов (SMT) и упомянутого выше радиотерминала Systemwatch используется также радиотерминал контроля эфирного времени (RF ATA), представляющий собой радиочастотный модем с компьютером для приема и регистрации информации о дате, времени и продолжительности разговоров, номерах сработавших радиостанций и телефонов АТС. Терминал принимает и обрабатывает информацию, передаваемую только по каналу управления.

Конфиденциальность переговоров обеспечивается непредсказуемостью номера канала, предоставленного на время разговора или отдельной передачи, предоставлением канала только абонентам с вызываемым идентификационным групповым или индивидуальным номером. Кроме того, в течение разговора автоматически осуществляется передача этого номера по разговорному каналу (на частоте ниже разговорных частот). При случайном подключении радиостанции посторонней группы к занятому каналу (маловероятный случай ошибочного декодирования запроса на связь или команды о предоставлении канала) эта радиостанция примет адресованный не ее группе номер и будет автоматически возвращена в режим ожидания на канале управления.

Надежность системы обеспечивается:

- автоматическим переключением на исправный канал в случае выхода из строя какого-либо ретранслятора, появления на входе его приемника мешающей станции или снижения уровня излучаемой мощности;
- автоматическим переходом на резервный контроллер в случае неисправности основного;
- автоматическим переключением всех радиостанций на заранее определенные частоты в случае выхода из строя основного и отсутствия резервного контроллера. В системе предусмотрена самодиагностика, тестирование операторами и сигнализация на терминалах операторов о всех возможных нарушениях работы.

Работа радиостанций вне зоны охвата базовых станций системы (о выходе из зоны абонент извещается звуковым сигналом) возможна в обычном режиме (без автовыбора) и может быть организована следующими способами:

- с помощью простых ретрансляторов, установленных вне зоны охвата системы. Абоненты, оказавшиеся в зоне охвата такого ретранслятора, могут переключить свои радиостанции на его рабочий канал. Ретранслятор может быть переносным – для временной работы;

– путем прямой связи друг с другом переключением портативных и мобильных радиостанций на каналы, запрограммированные для работы в симплексном режиме.

Если сигналы портативных радиостанций не достигают приемных антенн ретрансляторов (например, при нахождении абонента в зоне сильно экранирующих объектов – туннелей, мостов, зданий и т. п.), возможна установка широкополосных ретрансляторов, осуществляющих ретрансляцию сигналов во всей полосе рабочих частот в направлении группы основных ретрансляторов системы и расположенных в центре зоны.

Однако более радикальным способом расширения зоны охвата является переход к многозоновой системе.

Общие тенденции, связанные с интеграцией систем подвижной радиосвязи идентичного назначения, расширением зоны обслуживания, развитием услуг связи и взаимодействием с современными цифровыми сетями связи, привели к необходимости разработки в рамках ETSI общеевропейского стандарта на транкинговые системы подвижной радиосвязи, получившего название TETRA (TransEuropean Trunked Radio). ETSI представляет стандарт TETRA и системы связи на его основе как новое поколение PMR, следующее за аналоговыми транкинговыми PMR.

TETRA ориентирована на тех профессионалов, кому необходимы передача речи с высоким качеством, речи и данных, пакетная передача данных с возможностью шифрования.

Стандарт TETRA базируется на технических решениях и рекомендациях стандарта GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальная система подвижной связи.

Основными элементами сети транкинговой связи стандарта TETRA, как и PMR, являются: центр коммутации подвижной связи, базовые станции, диспетчерский пульт управления и подвижные станции (автомобильные и ручные).

В стандарте TETRA используется временное разделение каналов связи (TDMA) с четырьмя временными окнами (пакетами), что позволяет обеспечить одновременно передачу четырех речевых каналов на несущую. Разнос соседних радиоканалов составляет 25 кГц, как и в обычных PMR системах связи.

Требуемый уровень излучения в соседнем канале – минус 60 дБ. Дуплексный разнос радиоканалов для передачи и приема равен 10 МГц.

Общая структура временных кадров показана на рис. 3.26. Передача сообщений осуществляется мультикадрами (Multiframe). Один мультикадр содержит 18 простых TDMA кадров и имеет длительность 1,02 с. Один кадр TDMA в мультикадре – контрольный. TDMA кадр содержит четыре пакета (time slots), его продолжительность составляет 56,67 мс. Один пакет занимает временной интервал, равный 14,167 мс, и содержит 510 бит, 432 из них (два блока по 216 бит) относятся к информационному сообщению. В сере-

дине каждого пакета содержится синхропоследовательность SYNCH, которая применяется для временной синхронизации пакета и как тестирующая (или обучающая) последовательность для адаптивного канального эквалайзера в приемнике. Пакеты линии «вверх» (uplink) содержат также интервал PA (Power Amplifier), предназначенный для установления уровня излучаемой мощности по первому передаваемому пакету, и защитный интервал (GP) в конце для исключения перекрытия соседних пакетов.

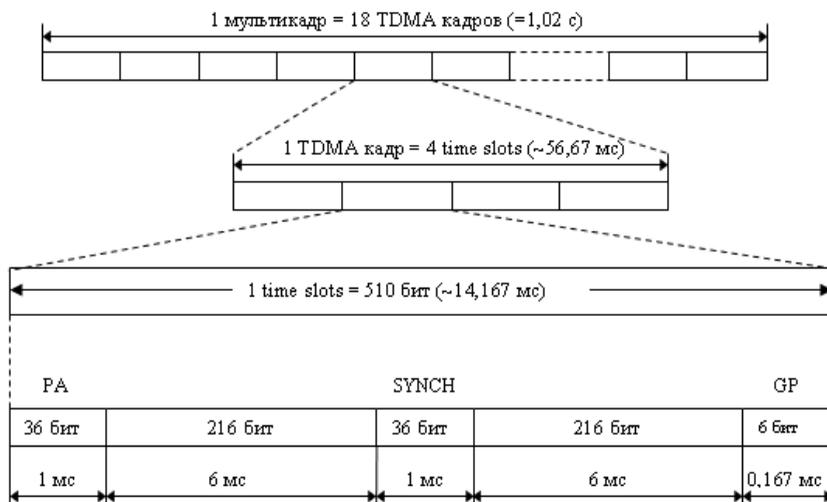


Рис. 3.26. Структура формата стандарта TETRA

Передача четырех речевых каналов в полосе 25 кГц (в два раза меньше, чем в узкополосной ЧМ системе) стала возможной благодаря использованию в стандарте TETRA низкоскоростного кодера речи с алгоритмом CELP, относящегося к классу алгоритмов «анализа и синтеза» речи. Скорость передачи цифрового речевого потока на выходе кодера речи равна 4,8 кбит/с.

Принцип «анализа и синтеза» состоит в преобразовании параметров речи и представлении их в такой форме, чтобы ошибка на выходе синтезатора по отношению к входу была минимальной. Применительно к кодированию речи по алгоритму CELP формирующий выходной фильтр, определяющий восприятие синтезированной речи, должен обеспечивать качественное ее восстановление по передаваемым параметрам и обеспечивать ее узнаваемость.

Для повышения помехоустойчивости канала связи в стандарте TETRA применяется канальное кодирование и перемежение. Канальное кодирование основано на введении избыточности в передаваемый цифровой поток за счет добавления тестовой последовательности. Принимая искаженную тес-

товую последовательность, закон формирования которой известен в приемнике, осуществляется оценка уровня ошибок и сравнение его с пороговым. При передаче данных, когда ошибки превышают заданный уровень, используется процедура автоматического запроса на повторную передачу пакета ARQ (Automatic Repeat Request). Этот метод не используется при цифровой передаче речи, так как задержка пакетов при ARQ непредсказуема. При передаче речи используется прямая коррекция ошибок (FEC).

В условиях релейских замираний сигнала в каналах подвижной связи эффективным методом борьбы с пакетами ошибок является прямоугольное перемежение, используемое также в стандарте TETRA. Если в процессе передачи потерян пакет сообщения, то при деперемежении в приемнике он трансформируется в одиночные ошибки, которые исправляются методами FEC. Общая скорость сформированного в результате преобразования аналогового речевого сигнала в цифровой, последующего его кодирования и перемежения, а также формирования пакетов составляет 36 кбит/с.

В стандарте TETRA применяется цифровая $\pi/4$ -DQPSK модуляция, которая позволяет снизить скорость передачи информационного цифрового потока с 36 кбит/с до 18 кбит/с.

В таблице 3.10 приведены характеристики и услуги связи стандарта TETRA.

Таблица 3.10

Характеристики и услуги связи стандарта TETRA

№	Основные характеристики	TETRA
1	Технология доступа	цифровая TDMA
2	Диапазон рабочих частот	380-400 МГц
3	Эффективная полоса частот на один речевой канал	6,5 кГц
4	Время установления вызова	< 1с
5	Возможность передачи данных	да
6	Групповой вызов	да
7	Прямая связь между подвижными станциями (без участия БС)	да
8	Возможность расширения зоны обслуживания	да
9	Handover («эстафетная передача»)	да
10	Роуминг	да
11	Аутентификация и шифрование	да

В настоящее время разработку оборудования стандарта TETRA осуществляют фирмы Nokia, Philips, Ericsson, Alcatel и другие.

Внедрение цифровой подвижной службы стандарта TETRA в Европе началось с 1 квартала 1997 года первоначально в интересах служб безопасности, полиции и охраны границы. Для стандарта TETRA выделены два дуплексных участка спектра 2×2 МГц в полосах частот 380–385 МГц/390–395 МГц. К 2006 году для сетей TETRA будут выделены 2×11 МГц (в сумме) в полосах частот 385–390 МГц/395–399,9 МГц; 410–430 МГц/450–470 МГц; 870–876 МГц/915–921 МГц.

3.6. Сотовые системы связи

Сотовые системы связи предназначены для обслуживания подвижных абонентов такими услугами связи, как телефон, факс и передача данных, в районах с концентрированным проживанием населения.

Сотовая система строится в виде совокупности ячеек или сот (по схожести с пчелиными сотами), покрывающих обслуживаемую территорию города с пригородами. В центре каждой соты находится базовая станция (БС), обслуживающая все подвижные станции (ПС) в пределах своей соты. Размер сот определяется рельефом местности и плотностью населения в обслуживаемом районе.

Соты обычно схематически изображают в виде равновеликих правильных шестиугольников (рис. 3.27 и 3.28). На самом деле соты никогда не бывают строгой геометрической формы. Реальные границы сот имеют вид неправильных кривых, зависящих от условий распространения и затухания радиоволн в данном районе. Более того, границы сот вообще не являются четко определенными, так как зона обслуживания БС может меняться в некоторых пределах за счет изменения условий распространения радиоволн. Местоположение БС также далеко не всегда совпадает с центром соты. При использовании на БС направленных антенн БС будет находиться на границе соты.

Все БС системы замыкаются на центр коммутации, который, в свою очередь, имеет выход на телефонную сеть общего пользования (PSTN).

Связь между подвижными абонентами и абонентами телефонной сети устанавливается путем набора номера вызываемого абонента. Вызов подвижной станции в обслуживаемой зоне осуществляется одновременно всеми БС или, если местоположение абонента известно, передается в ту зону, где находится абонент. Если абонент перемещается из одной страны в другую, переключается селектор страны. Через телефонную сеть города, страны абоненты сотовых систем подключаются к междугородным, международным сетям связи.

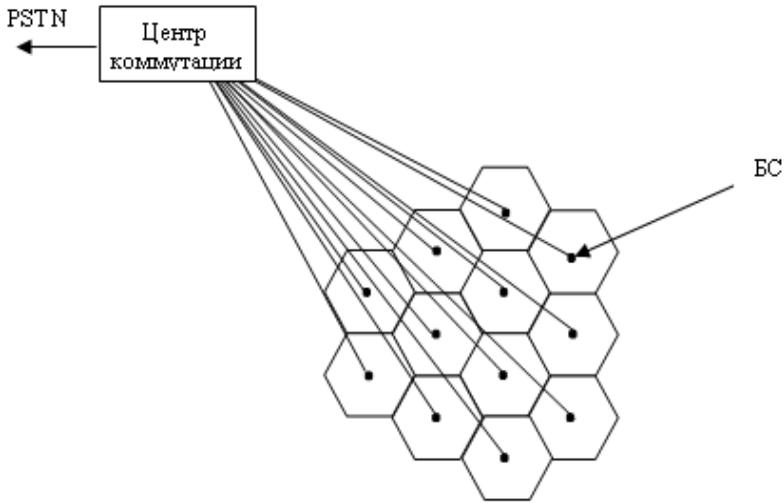


Рис. 3.27. Упрощенная структура сотовой системы связи

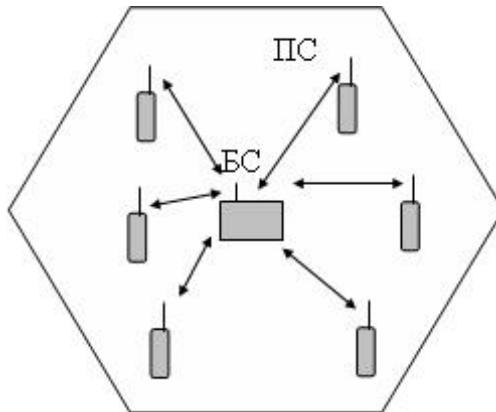


Рис. 3.28. Одна из сот с базовой станцией в центре, обслуживающей все подвижные станции соты

При перемещении абонента из одной соты в другую в пределах данной системы происходит передача его обслуживания от одной БС к другой (английский термин *handover*). Процедура передачи обслуживания происходит в том случае, если ПС пересекает границу сот во время сеанса связи, и связь в этом случае не прерывается. При перемещении в режиме ожидания ПС отслеживает информацию системы по каналам управления и в момент начала сеанса связи перестраивается на более сильный сигнал другой БС. В

зависимости от стандарта сотовой системы связи передача обслуживания может осуществляться либо централизованно, либо по инициативе самой ПС.

Организации, обеспечивающие работу системы и обслуживание абонентов, получили название компании-операторы. В одном и том же районе могут действовать несколько компаний-операторов, обслуживающих абонентов с помощью систем одного или разных стандартов. При перемещении абонента одной системы (обслуживаемой одной компанией-оператором) в зону обслуживания другой системы (другой компании-оператора) возможна передача обслуживания, получившая название «роминг» (от английского roam – бродить, странствовать). Такого абонента называют «ромером».

Для реализации роминага необходимо выполнение трех условий:

- наличие в регионе совместимых сотовых систем;
- наличие ромингового соглашения между компаниями-операторами;
- наличие каналов связи между системами для передачи информации для ромеров.

для ромеров.

Вернемся вновь к структуре системы сотовой связи. На рис. 3.29 показана упрощенная функциональная схема системы сотовой связи.

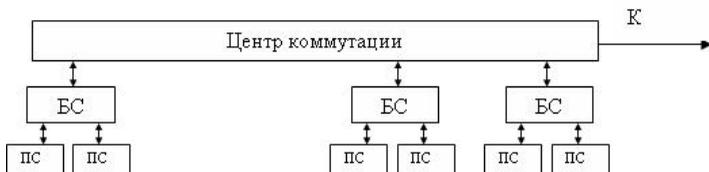


Рис. 3.29. Функциональная схема системы сотовой связи

Система может включать более одного центра коммутации, что может быть обусловлено эволюцией развития системы или ограниченной емкостью коммутатора. Функциональная схема такой системы показана на рис. 3.30.

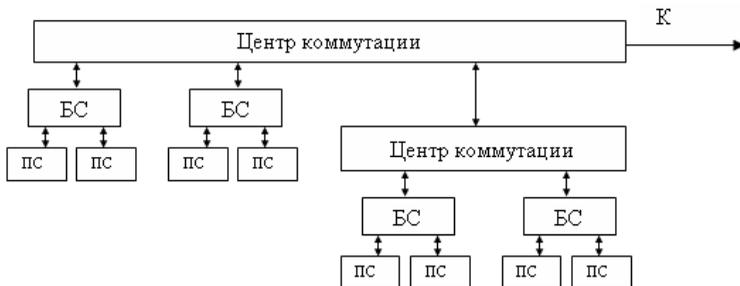


Рис. 3.30. Функциональная схема системы сотовой связи с двумя центрами коммутации

В ряде случаев БС может включать несколько приемопередатчиков. Это относится к БС, использующим направленные антенны.

Блок-схема базовой станции приведена на рис. 3.31.

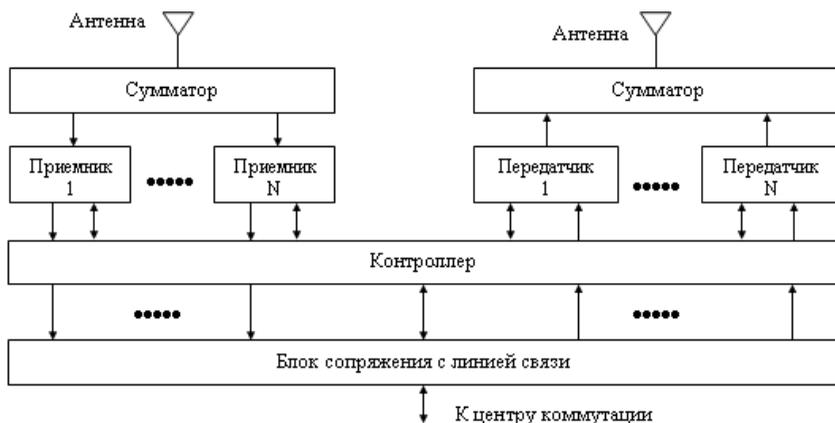


Рис. 3.31. Блок-схема базовой станции

Особенностью базовых станций является использование разнесенного приема (на блок-схеме не отражено), наличие нескольких отдельных передатчиков и приемников, позволяющих работать на нескольких каналах с различными частотами. Для работы нескольких приемников и нескольких передатчиков на общие антенны используются делители и сумматоры мощностей соответственно. Структура приемников и передатчиков БС и ПС схожи. БС отличается отсутствием ЦАП и АЦП, так как сигналы, поступающие на БС и идущие от БС к центру коммутации, имеют цифровую форму.

Контроллер БС представляет собой достаточно мощный компьютер и обеспечивает управление работой станции, а также контролирует работоспособность ее узлов.

Блок сопряжения с линией связи осуществляет упаковку исходящей информации и распаковку входящей информации от центра коммутации. В качестве соединительных линий между БС и центром коммутации обычно используются радиорелейные или оптоволоконные линии.

Для обеспечения высокой степени надежности на БС применяют резервирование блоков, источники автономного и бесперебойного питания.

На рис. 3.32 показана блок-схема подвижной станции.

В состав подвижной станции входят: блок управления, приемо-передаточный блок и антенный блок.

Блок управления включает в себя микрофон, динамик, дисплей и клавиатуру. Клавиатура служит для набора номера абонента и команд, определяющих режим работы подвижной станции.

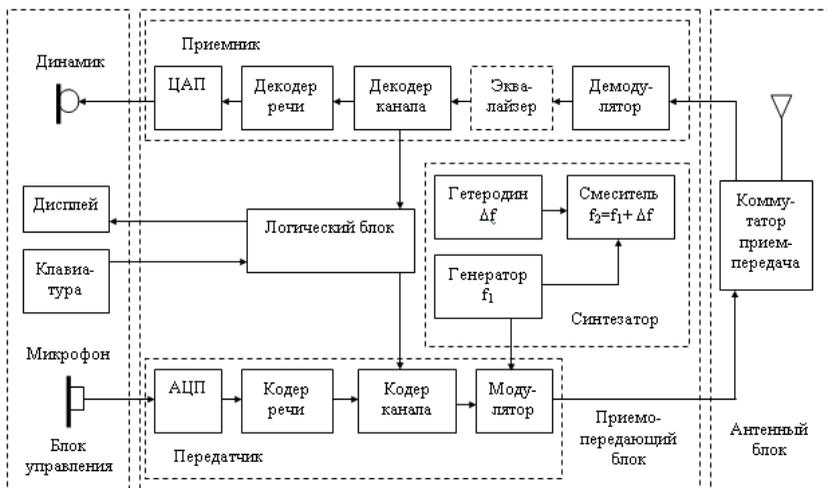


Рис. 3.32. Блок-схема подвижной станции

Приемопередающий блок содержит приемник, передатчик, синтезатор частот и логический блок.

В передатчике аналоговый сигнал микрофона преобразуется с помощью АЦП в цифровую форму. В кодере речи сигнал преобразуется с целью сокращения его избыточности, и тем самым сокращается его объем, передаваемый по каналу связи.

Кодер канала производит кодирование избыточным, помехозащищенным кодом, а также подвергается переупаковке (перемежению) для уменьшения влияния помех, что позволяет исправлять обнаруженные при приеме ошибки. Информация с выхода кодера канала передается в виде пакетов. Кодер канала вводит в состав передаваемых пакетов служебную информацию управления, поступающую от логического блока.

Модулятор осуществляет модуляцию несущей частоты, перенося сигнал на рабочую частоту.

Приемник осуществляет обратный процесс.

Демодулятор преобразует радиосигнал в видеоп импульсы кода.

Декодер канала отделяет служебную информацию, передавая ее в логический блок, проверяет информационный сигнал на наличие ошибки и исправляет обнаруженные ошибки, переупаковывает сигнал и декодирует его в исходный код.

Декодер речи восстанавливает цифровой сигнал речи, переводя его в естественную форму, со свойственной ему избыточностью.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) переводит цифровой сигнал в аналоговую форму и подает его на динамик.

Эквалайзер служит для частичной компенсации искажений сигнала вследствие многолучевого распространения. По существу, эквалайзер является адаптивным фильтром, который настраивается по обучающей последовательности символов, входящей в состав передаваемой информации на правах служебной. Блок эквалайзера может отсутствовать.

Логический блок является микропроцессором со своей оперативной и постоянной памятью, осуществляющим управление работой подвижной станции.

Синтезатор содержит генератор частот передачи, гетеродин частоты разноса и смеситель, формирующий гетеродинную частоту приемника.

Антенный блок включает антенну и коммутатор прием-передача.

На рис. 3.33 показана блок-схема центра коммутации.

Центр коммутации выполняет диспетчерские функции в системе связи. Коммутатор осуществляет переключение потоков информации между соответствующими линиями связи. Коммутатор подключается к линиям связи через контроллеры связи, которые осуществляют промежуточную обработку информации (упаковку/распаковку, буферное хранение). Управление работой центра коммутации и системы в целом производится с помощью центрального контроллера, имеющего соответствующее программное обеспечение.

Терминалы операторов и средства отображения и регистрации позволяют обслуживающему персоналу вводить и получать данные об абонентах и условиях их обслуживания, вести контроль режимов системы и ее диагностику.

Важными элементами центра коммутации являются базы данных – домашний и гостевой регистры, регистр аппаратуры и центр аутентификации.

Домашний регистр содержит сведения обо всех абонентах, зарегистрированных в данной системе, и о видах услуг, которые могут быть им оказаны. В нем хранятся данные о местоположении абонента для организации его вызова и фиксируются оказанные ему услуги.

Гостевой регистр содержит аналогичные сведения о ромерах.

Центр аутентификации, при его наличии, обеспечивает процедуры аутентификации (проверку подлинности, принадлежности к системе) абонентов и шифрование сообщений.

Регистр аппаратуры, при его наличии, содержит сведения о подвижных станциях системы на предмет их исправности и санкционированного использования.

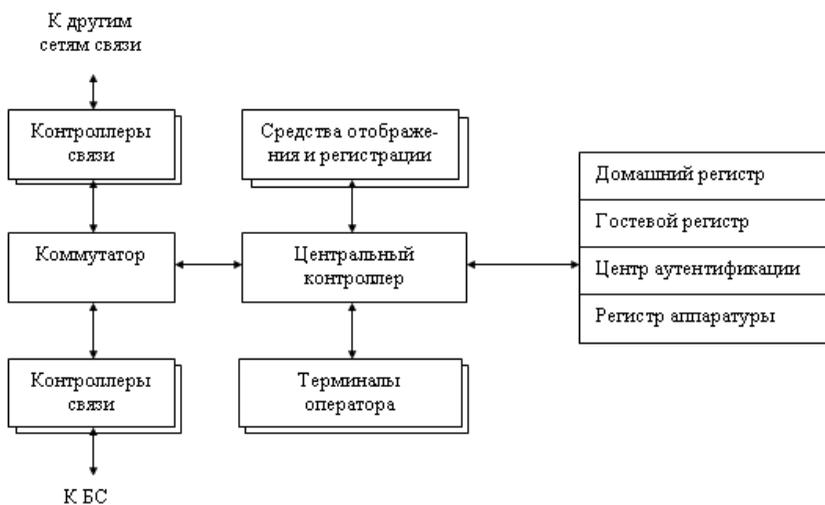


Рис. 3.33. Блок-схема центра коммутации

Формат обмена информацией между базовой и подвижной станциями называют эфирным интерфейсом. Эфирные интерфейсы систем сотовой связи стандартизируют с целью совместимости аппаратуры разных фирм изготовителей и обеспечения совместимости разных систем сотовой связи.

Рассмотрим для примера сравнительно простой эфирный интерфейс стандарта IS-54 системы сотовой связи D-AMPS, показанный на рис. 3.34.

Канал передачи информации имеет кадровую структуру. Кадр (frame) при скорости 48,6 кб/с длится 40 мс. Каждый кадр состоит из шести временных интервалов, слотов (окон), длительностью 6,67 мс. В канале применено временное уплотнение информации TDM (Time Division Multiplex), что позволяет на одной несущей передавать несколько речевых каналов. При полноскоростном кодировании на один речевой канал в каждом кадре отводится два слота, т.е. 20-миллисекундный сегмент речи упаковывается в один слот, длительность которого втрое меньше. При полускоростном кодировании на один речевой канал отводится один слот в кадре, т.е. упаковка сигнала речи оказывается вдвое плотней, чем при полноскоростном кодировании.

При полноскоростном кодировании слоты 1 и 4 содержат первый канал речи, слоты 2 и 5 – второй канал речи, слоты 3 и 6 – третий канал речи. При полускоростном кодировании каждый из шести слотов соответствует своему каналу речи.

Слоты прямого и обратного каналов трафика несколько отличаются друг от друга, но в обоих случаях на передачу речи отводится 260 бит.

Кадр
(6 слотов; 40 мс)

Слот 1	Слот 2	Слот 3	Слот 4	Слот 5	Слот 6
--------	--------	--------	--------	--------	--------

Слот прямого канала
трафика (6,67 мс)

Sync 28	SACCH 12	Data 130 бит	CDVCC 12	Data 130 бит	Res 12
------------	-------------	-----------------	-------------	-----------------	-----------

Слот обратного канала
трафика (6,67 мс)

G 6	R 6	Data 16	Sync 28	Data 122	SACCH 12	CDVCC 12	Data 122
--------	--------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Слот с укороченной
пачкой (4,23 мс)

G 6	R 6	Sc 28	CC 12	V 4	Sc 28	CC 12	W 8	Sc 28	CC 12	X 12	Sc 28	CC 12	Y 16	Sc 28	G 22
--------	--------	----------	----------	--------	----------	----------	--------	----------	----------	---------	----------	----------	---------	----------	---------

Рис. 3.34. Структура формата системы D-AMPS (канал трафика):

Data – информация речи; Sync (Sc) – синхронизирующая (обучающая) последовательность; SACCH – информация медленного совмещенного канала управления; CDVCC (CC) – кодированный цифровой код подтверждения цвета; G – защитный бланк (Guard time); R – интервал фронта импульса передатчика (Ramp up time); V, W, X, Y – шестнадцатиричные нули; Res – резерв

Остальные 52 бита – служебная информация. 28 бит занимает обучающая последовательность, которая используется для идентификации слота в пределах кадра, синхронизации его во времени и для настройки эквалайзера. Сообщение сигнализации (контроля и управления) канала SACCH (Slow Associated Control Channel – медленный совмещенный канал управления) занимает 12 бит. CDVCC (Coded Digital Verification Color Code – кодированный цифровой код окраски) содержит 12 бит и служит для идентификации подвижной станции при приеме ее сигнала базовой станцией. Оставшиеся 12 бит в прямом канале не используются, а в обратном канале выполняют функцию защитного интервала.

На начальном этапе установления связи используется укороченный слот, в котором многократно повторяются синхронизирующая последовательность и код CDVCC, разделяемые нулевыми числами различной длины. В начале и в конце передаются защитные бланки. Подвижная станция передает укороченные слоты до тех пор, пока базовая станция не выберет необходимую временную задержку, определяемую удалением подвижной станции от базовой.

Одним из важных принципов системы сотовой связи, отличающей ее от других систем, в частности от транкинговых систем, и позволяющих существенно увеличить емкость системы, является принцип повторного использования частот. На первом этапе создания сотовых систем использовались базовые станции с антеннами, имеющими круговую диаграмму

направленности. Принцип повторного использования частот для такой системы можно проиллюстрировать следующими рассуждениями.

Пусть в некоторой ячейке **A** (рис. 3.35а) используется какая-то часть общего диапазона частот, выделенного для работы системы (например, одна третья часть). Тогда в соседней с ней ячейке **B** должна использоваться вторая треть выделенного диапазона, поскольку ячейки имеют общие границы. То же самое можно сказать и о ячейке **C**. В ней придется использовать оставшуюся треть диапазона. Но уже в ячейке **D**, имеющей общие границы с ячейками **A** и **C**, но не граничащей с ячейкой **B**, вновь можно использовать ту же треть диапазона, что и в ячейке **B** (на рисунке обозначено как **D→B**). Аналогичные соображения справедливы и для ячеек **E**, **F**, **G**, **H**. Таким образом мы приходим к трехсотовой схеме повторения частот. Группа смежных сот, в которых используются разные участки выделенного диапазона частот, называется кластером. В нашем примере мы получили трехэлементный кластер. При трехэлементном кластере ячейки с одинаковыми полосами частот повторяются очень часто, что приводит к большому уровню соканальных помех от станций, работающих на тех же частотах.

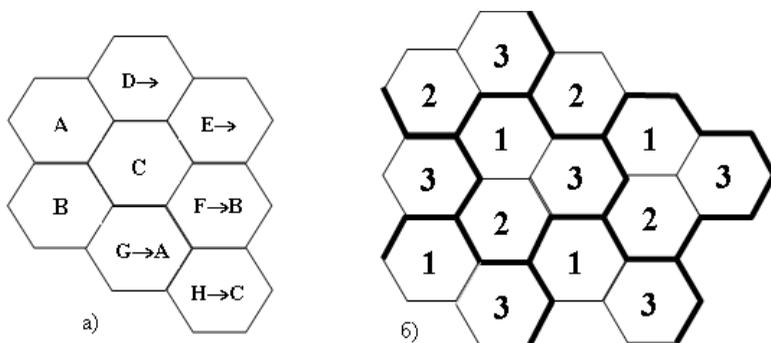


Рис. 3.35. Принцип построения трехэлементного кластера

Более выгодными являются кластеры с большим числом элементов, показанные на рис. 3.36. Возможны кластеры с числом ячеек 3, 4, 7, 12, 19. В общем случае расстояние D между центрами ячеек, в которых используются одинаковые полосы частот (рис. 3.36б), связано с числом N ячеек в кластере простым соотношением.

$$D = R\sqrt{3N} \text{ или } q = D/R = \sqrt{3N},$$

где R – радиус ячейки, q – коэффициент уменьшения соканальных помех.

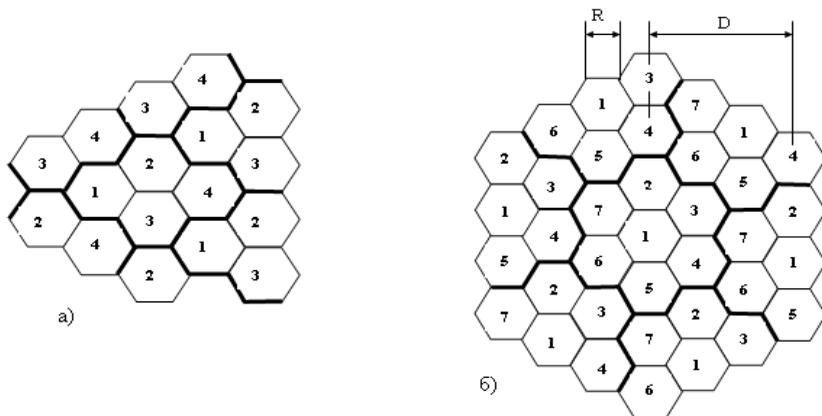


Рис. 3.36. Четырех- и семиэлементные кластеры

Эффективным методом снижения уровня соканальных помех может быть использование направленных секторных антенн. Деление сот на сектора позволяет повысить емкость системы за счет более частого повторного использования частот. На практике используются направленные антенны с шириной диаграммы направленности 120° и 60° (рис. 3.37). При этом следует помнить, что базовая станция, расположенная в центре шестиугольной соты, оборудуется соответственно тремя или шестью комплектами приемопередающей аппаратуры.

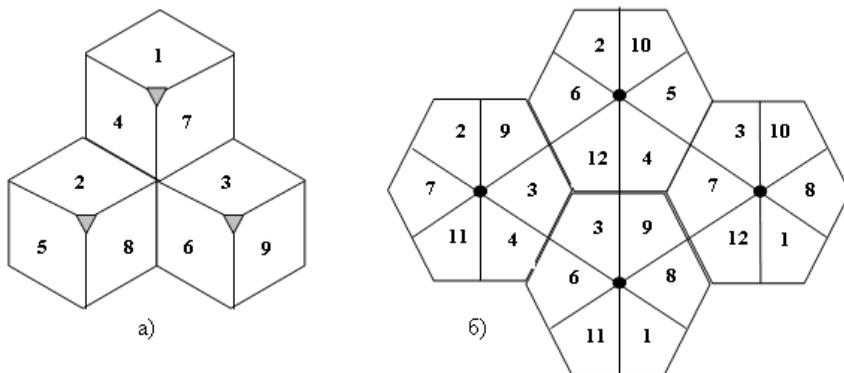


Рис. 3.37. Модель повторного использования частот в трех- и шестисекторных сотах

В различных стандартах сотовых систем связи используются различные известные методы уплотнения и многостанционного доступа к каналам связи.

В аналоговых системах используется исключительно многостанционный доступ с частотным разделением каналов FDMA (Frequency Division Multiple Access). В данном методе (рис. 3.38) каждому абоненту на все время сеанса связи выделяется своя полоса частот Δf (частотный канал). Полоса частот, выделяемая для связи, лежит в пределах 10-30 кГц. Недостатком этого метода является неэффективное использование частотного ресурса системы.

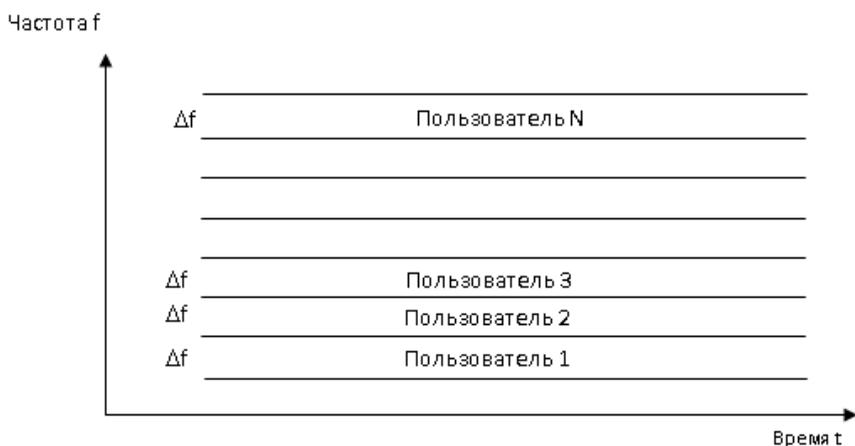


Рис. 3.38. Метод FDMA в координатах «время – частота»

В цифровых системах сотовой связи реализуются многостанционный доступ с временным и кодовым разделением каналов TDMA (Time Division Multiple Access) и CDMA (Code Division Multiple Access) соответственно.

Суть многостанционного доступа с временным разделением каналов заключается в том, что каждый частотный канал Δf распределяется по времени между несколькими абонентами. Каждому абоненту выделяется определенный промежуток времени (временное окно), в течение которого передается информация данного абонента. Это возможно, если скорость передачи цифровой информации будет в несколько раз выше, чем скорость кодирования речи. На практике метод TDMA сочетается с методом FDMA, так как в системе используется несколько частотных каналов (рис. 3.39).

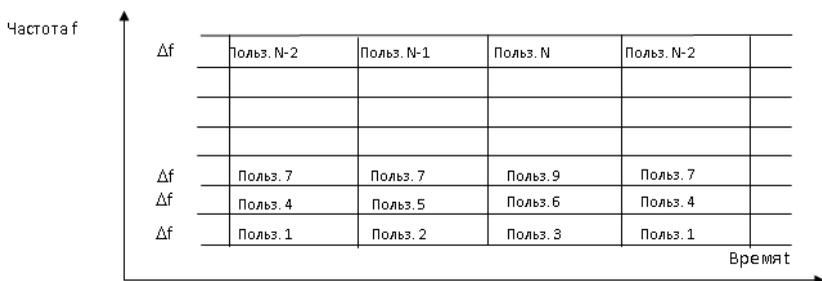


Рис. 3.39. Метод TDMA в координатах «время – частота»

Суть многостанционного доступа с кодовым разделением каналов заключается в том, что передаваемую информацию кодируют и код превращают в шумоподобный широкополосный сигнал так, что его можно выделить на приемном конце линии связи, только располагая кодом. При этом одновременно в широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, не мешающих друг другу. В общем случае метод можно иллюстрировать рис. 3.40.

Более подробная информация содержится в [4, 5].

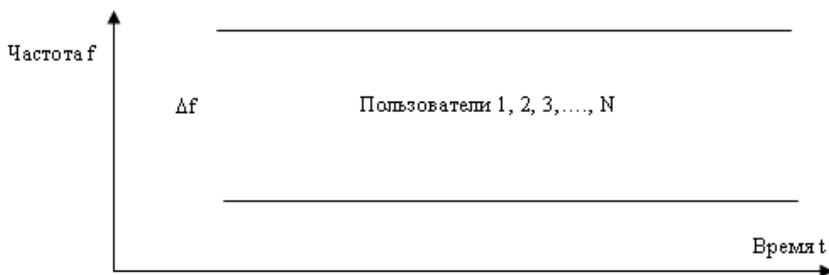


Рис. 3.40. Метод CDMA в координатах «время – частота»

Процедура обработки сигналов в методе FDMA проста. Передача речевых сигналов по радиоканалу осуществляется преимущественно методами частотной модуляции, а сигналы управления передаются с использованием частотной манипуляции.

Процедура обработки аналоговых сигналов в передающем тракте цифровых систем включает: аналого-цифровое преобразование; кодирование речи; канальное кодирование и модуляцию.

Кодирование и декодирование речи осуществляется кодеками, использующими методы линейного предсказания. В американском стандарте D-AMPS используется метод линейного предсказания с возбуждением векторной суммой VSELP (Vector sum exciter linear prediction). В европей-

ском стандарте GSM – метод линейного предсказания с возбуждением регулярной последовательностью импульсов и долговременным предсказанием RPE-LTR (Regular pulse excited long term predictor). В методе CDMA – метод линейного предсказания с кодовым возбуждением CELP (Code-exciter linear prediction).

Кодек канала обеспечивает помехоустойчивое кодирование сигнала. В сотовых системах связи реализуется метод прямого исправления ошибок FEC (Forward Error Correction). В различных системах используется блочное и сверточное кодирование в совокупности с перемежением.

Перенос информационного сигнала на несущую частоту осуществляется методами манипуляции. Наибольшее распространение получили разновидности фазовой манипуляции: бинарная (двухпозиционная) фазовая манипуляция – BPSK (Binary Phase Shift Keying); квадратурная фазовая манипуляция – QPSK (Quadrature Phase Shift Keying); квадратурная фазовая манипуляция со смещением – OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying); дифференциальная квадратурная манипуляция со сдвигом $\pi/4$ – $\pi/4$ DQPSK ($\pi/4$ Differential Quadrature Phase Shift Keying).

Частотная манипуляция представлена минимальной манипуляцией, MSK (Minimum Shift Keying), и гауссовской манипуляцией с минимальным сдвигом – GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

В заключение рассмотрим характеристики некоторых стандартов сотовых систем связи.

Аналоговые системы (табл. 3.11) принадлежат к первому поколению сотовых систем. На сегодняшний день около половины сотовых систем в мире – аналоговые. Наибольшее число абонентов обслуживаемых аналоговыми системами в США. В Европе свыше 75 % сотовых систем – цифровые.

Наиболее распространенные аналоговые стандарты:

- стандарт AMPS, наиболее распространен во всем мире кроме Западной Европы и Японии;
- стандарт TACS близкий по техническим характеристикам к стандарту AMPS распространен в Великобритании и ряде стран Европы;
- стандарты NMT 450 и NMT 900 помимо Скандинавских стран широко используются в странах Европы и в России;
- система NTT развернута в Японии;

С 1989 года в Японии используются стандарты JTACS и NTACS близкие к стандарту TACS.

Современные цифровые системы сотовой связи используют главным образом три стандарта.

D-AMPS используется практически в тех же странах, что и AMPS. Стандарт GSM получил наибольшее распространение в Европе. Стандарт CDMA находит применение в США, Европе, Юго-Восточной Азии.

Таблица 3.11

Технические характеристики аналоговых систем сотовой связи

Характеристика	AMPS	TACS	NMT450/900
Страна (регион) основного применения	США, Канада	Англия	Скандинавия
Начало коммерческого применения	1983	1985	1981/86
Диапазон частот на передачу, МГц: – базовые станции (прямой канал)	869...894	935...950	463...467,5/ 935...960
– подвижные станции (обратный канал)	824...849	890...905	453...457,5/ 890...915
Дуплексный разнос частот, МГц	45	45	10/45
Полоса частотного канала, кГц	30	25	25/20 25/12,5
Метод многостанционного доступа	FDMA	FDMA	FDMA
Метод модуляции для сигналов речи	FM	FM	PM
Метод модуляции для сигналов управления	FSK	FSK	MSK
Радиус ячейки	2-20	2-20	2-45/0,5-20
Число каналов подвижной станции	666	600	180/1999
Число каналов базовой станции	96	144	30
Мощность передатчика базовой станции, Вт	45	50	50
Мощность передатчика подвижной станции, Вт	3	2-20	15/2 6/1
Помехоустойчивое кодирование для сигналов управления	Укороченный БЧХ	Укороченный БЧХ	Сверточный код

Кроме перечисленных выше цифровых стандартов сотовых систем связи существуют и другие, имеющие локальное применение. Так, в Японии используются стандарты PDC (близкий к стандарту D-AMPS) и PHS.

Последний стандарт называют системой подвижной связи. PHS (Personal Handyphone System) в буквальном переводе – система персонального ручного телефона. Основу сети составляют микросоты радиусом 100...300 м.

Система беспроводного телефона DECT используется для телефонизации жилых зданий и офисов с возможностью ограниченного перемещения абонентов. Ограничения накладываются на дальность связи и на скорость перемещения. Система позволяет телефонизировать небольшие поселки или места большого скопления людей: рынки, супермаркеты, места массового отдыха, предоставляя абонентам дешевую качественную связь.

Таблица 3.12

Технические характеристики цифровых систем сотовой связи

Характеристика	D-AMPS800/1900	GSM900/1800	CDMA800/1900
Страна (регион) основного применения	США, Канада	Зап. Европа	США, Ю.Корея
Начало коммерческого применения	1992/96	1991/93	1995
Диапазон частот на передачу, МГц			
– базовые станции (прямой канал)	869...894/ 1930...1990	935...960/ 1710...1785	869...894/ 1930...1990
– подвижные станции (обратный канал)	824...849/ 1850...1910	890...915/ 1805...1880	824...849/ 1850...1910
Дуплексный разнос частот, МГц	45/80	45/95	45/80
Полоса частотного канала, кГц	30	200	1250
Метод многостанционного доступа	TDMA	TDMA	CDMA
Число физических каналов в одном частотном	3	8	До 62
Метод модуляции	$\pi/4$ DQPSK	GMSK	QPSK
Метод кодирования речи	VSELP	RPE-LTR	CELP
Скорость кодирования сигнала речи, Кбит/с	8	13	1...8

3.7. Системы персонального радиовызова

Системы персонального радиовызова (СПРВ), или пейджинговые системы, обеспечивают одностороннюю передачу текстовых сообщений в пределах обслуживаемой зоны на миниатюрный абонентский приемник – пейджер.

Название «пейджер» происходит от английского to page (вызывать). СПРВ решают вопросы оперативного управления и широко применяются в коммерческих целях. Системы персонального вызова могут быть локальными (в пределах территории производства, учреждения), городскими, или охватывать целый район или даже страну.

Системы персонального вызова организуются по зонам, секторам, в городской черте. В каждую сеть входит свой радиоцентр с несколькими передатчиками. Вызов осуществляется по любому телефонному аппарату путем набора номера пейджингового центра и номера вызова приемника (пейджера) вызываемого абонента. В приемнике при поступлении сигнала вызова включается звуковая и световая сигнализация. Сообщение может быть формализовано или представляет собой текст, выводимый на дисплей пейджера. Диапазоны частот, используемые для персонального вызова, лежат в пределах 30-50; 138-174; 928-932 МГц. Масса приемника менее 100 г. Большинство существующих СПРВ односторонние, т. е. обеспечивают только прием информации. Одной из главных проблем односторонних пейджинговых систем является то, что они требуют высокой степени доверия к пользователю, поскольку невозможно проверить, получено ли им сообщение. В последние годы появились новые стандарты пейджинговой связи, обеспечивающие двусторонний обмен сообщениями.

Существует два способа организации пейджинговой сети: радиальный и сотовый.

Радиальный способ применяют в ведомственных (локальных) или больших городских сетях, когда передача сообщений осуществляется одним передатчиком.

Сотовый способ организации пейджинговой сети позволяет значительно увеличить размеры зоны обслуживания. Этот способ применяется в больших городах, а также при организации региональных и федеральных сетей. При сотовой структуре сети реализуется передача обслуживания абонента, перемещающегося из одной соты в другую. При наличии в регионе нескольких пейджинговых компаний предусматривается роуминг на тех же принципах, что и в сотовых телефонных сетях связи.

Для расширения числа пользователей пейджинговые компании постоянно увеличивают количество услуг, предоставляемых абонентам. Среди них справочные службы, двухсторонний пейджинг, вывод на пейджер сообщений охранной, пожарной, аварийной и другой сигнализации, возмож-

ность передачи сообщений на пейджер с компьютера, голосовой педжинг и другие услуги.

На рис. 3.41 показана структурная схема односторонней СПРВ. Интерфейс доступа является системой сбора и обработки поступающей информации и включает в себя рабочие места операторов, соединенные с коммутационным сервером сети. Сообщения на пейджеры могут поступать от телефонной сети общего пользования, от сетей мобильной радиосвязи, от модемов персональных компьютеров и телефаксов.

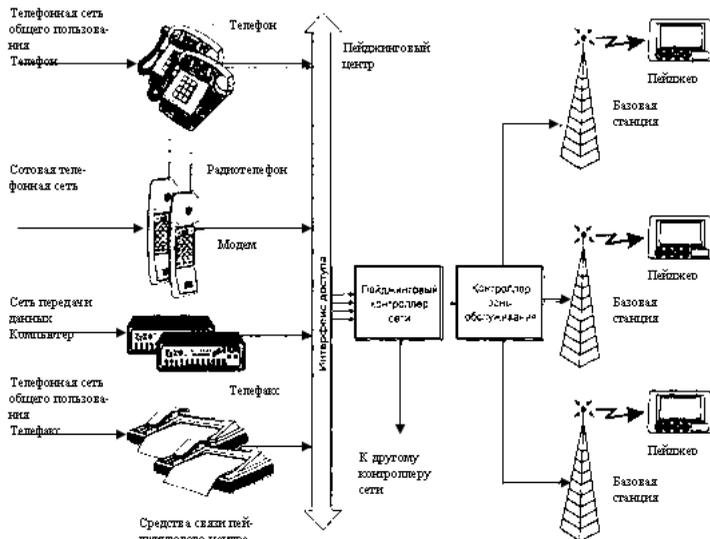


Рис. 3.41. Структурная схема односторонней СПРВ

В локальных (ведомственных) сетях используется радиальный принцип построения. Такие сети характеризуются простой структурой, небольшой емкостью и ограниченным радиусом действия и предназначены для организации связи внутри зданий и на прилегающих к ним территориях. В локальных сетях используют маломощные передатчики (до 5 Вт), работающие в диапазоне 800–900 МГц.

Аналогичную структуру могут иметь СПРВ малых городов и населенных пунктов. Отличаться они будут большей мощностью передатчика и, следовательно, большим радиусом действия.

СПРВ больших городов и региональные сети персонального вызова используют сотовую структуру. Выходная мощность передатчиков базовых станций в таких сетях составляет 150–300 Вт. Для устранения взаимного влияния (интерференции) сигналов соседних базовых станций используют синхронное вещание или временное разделение передаваемых

сообщений. Метод временного разделения позволяет использовать более дешевую аппаратуру, но снижает максимальную емкость системы.

В настоящее время создана и функционирует спутниковая система персонального радиовызова SkyTel, работающая в стандарте Inmarsat-D и обслуживающая абонентов в Сингапуре и в городах Северной Америки. Система использует частоту 931 МГц. Использование спутниковых систем персонального радиовызова позволяет создать глобальную систему оповещения с доставкой сообщений абонентам в любой точке мира.

Системы персонального радиовызова различаются стандартами кодирования передаваемой информации. Основные характеристики некоторых стандартов приведены в табл. 3.13.

Наиболее распространенным стандартом кодирования сигналов пейджинговой связи является стандарт POCSAG (Post Office Code Standartisation). Стандарт был разработан Почтовым ведомством Великобритании и официально признан Международным союзом электросвязи как протокол RPCN1 (Radio Paging Code №1).

Таблица 3.13

Характеристики стандартов кодирования передаваемой информации

Протокол	Рабочие частоты, МГц	Скорость передачи, Бод	Полоса частотно-го канала, кГц	Нумерация сообщений	Возможность роминга
POCSAG	Любые пейджинговые	512, 1200, 2400	25	Есть	Есть
RDS	88-108, на поднесущей 57 кГц вещательной радиостанции FM	1200	–	Есть	Есть
ERMES	169,425-169,800	6250	25	Есть	Есть
FLEX	Любые пейджинговые	1600,3200, 6400	25	Есть	Есть
ReFLEX25 –передача на пейдж. –прием с пейдж.	929-931, 940-941 901–902	1600,3200, 6400	25 или 50	Есть	Есть

Протокол	Рабочие частоты, МГц	Скорость передачи, Бод	Полоса частотно-го канала, кГц	Нумера-ция сооб-щений	Возмож-ность роминга
ReFLEX50 –передача на пейдж. –прием с пейдж.	929-931, 940-941 901-902	До 25600	50	Есть	Есть
InFLEXion –передача на пейдж. –прием с пейдж.	929-931, 940-941 901-902	Цифровая компрес-сия звука	50	Есть	Есть

В сети POCSAG сообщения передаются пакетами с применением по-мехоустойчивого кодирования циклическим блочным кодом. Использует-ся метод прямого исправления ошибок, структура протокола показана на рис. 3.42.

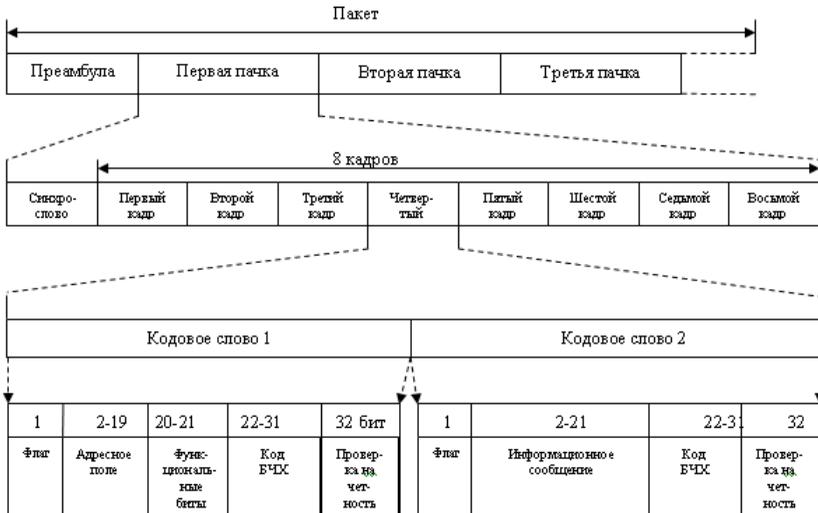


Рис. 3.42. Структура протокола POCSAG

В начале каждого пакета передается преамбула 10101010... (чередование нулей и единиц) длиной 576 бит. Преамбула используется для пере-

вода пейджера в режим приема и тактовой синхронизации. После преамбулы передаются «пачки» сообщений, содержащие адреса пейджеров и тексты сообщений. Количество пачек в пакете может быть произвольным.

Каждая пачка состоит из синхрослова и восьми кадров. Каждому кадру соответствует определенная группа пейджеров, т.е. пейджер постоянно закреплен за определенным кадром и принимает сообщения, передаваемые в данном кадре. Кадр содержит два кодовых слова. Первое кодовое слово содержит адресную часть сообщения, второе содержит информацию. В случае если информационное сообщение имеет большую длину, то оно разбивается на части по 20 бит и передается в нескольких пачках. При отсутствии сообщений в данной пачке в адресном поле передается комбинация, обозначающая незанятость кадра.

Каждое кодовое слово начинается битом (флаг), определяющим тип кодового слова (0 – для адресного и 1 – для информационного). Функциональные биты адресного кодового слова указывают цель вызова.

В стандарте используется метод прямого исправления ошибок, код БЧХ.

Пейджеры читают адресную часть кадра и в случае обнаружения сообщения в свой адрес принимают информационную часть кадра.

Европейский пейджинговый стандарт ERMES (European Radio Message System) рекомендован Международным союзом электросвязи в качестве международного стандарта. Основное достоинство стандарта ERMES состоит в том, что он полностью совместим с GSM стандартом сотовой связи.

В цифровых сетях персонального радиовызова ERMES передача сообщений производится пакетами со скоростью 3 или 6,4 Кбит/с.

Полный цикл передачи длится 1 ч и состоит из 60 циклов по 1 минуте (рис. 3.43). Каждый цикл содержит 5 субпоследовательностей по 12 с. Каждая субпоследовательность включает в себя 16 типов пачек, обозначаемых от А до Р. Каждая пачка содержит биты синхронизации, служебную информацию, адрес вызываемого пейджера и информацию, адресованную на пейджер.

Пейджеры стандарта ERMES используют сканирование частот, просматривая содержание всех пачек. Процесс сканирования заканчивается, когда будет обнаружена информация, адресованная на данный пейджер.

Информация в стандарте ERMES защищена циклическим кодом, позволяющим корректировать ошибки в принятой информации по методу FEC.

Высокоскоростной пейджинговый стандарт FLEX (Flexible Wide-area Protocol) разработан компанией Motorola для увеличения пропускной способности радиоканалов. Передача сообщений осуществляется на скоростях 1600, 3200, 6400 бит/с, что позволяет обслуживать в одной системе до 3,5 миллиардов абонентов.

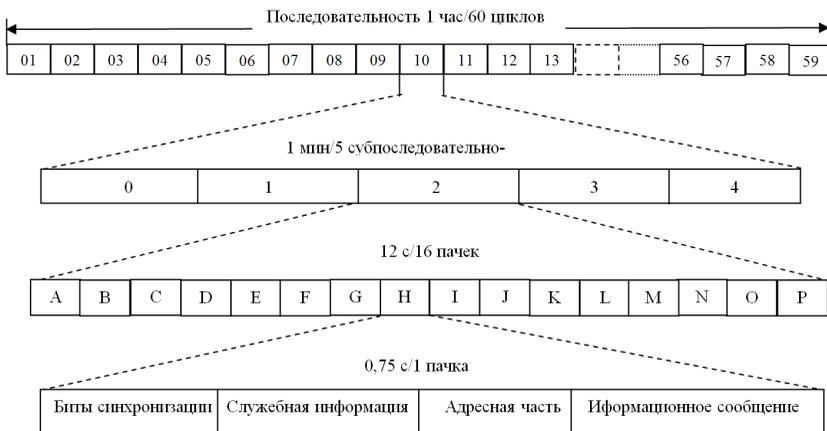


Рис. 3.43. Протокол стандарта ERMES

На основе стандарта FLEX разработаны высокоскоростные протоколы Re-FLEX и InFLEXion, которые обеспечивают еще большие скорости передачи и позволяют организовать двухсторонний пейджинг. Для передачи со скоростью 1600 бит/с используется 2-уровневая частотная манипуляция с девиацией частоты $\pm 4,8$ кГц, а для скоростей 3200 и 6400 бит/с 4-уровневая ЧМ с девиациями частот $\pm 1,6$ и $\pm 4,8$ кГц (рис. 3.44).

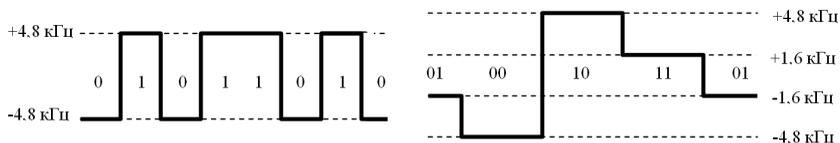


Рис. 3.44. Значение девиации частоты для 2-уровневой и 4-уровневой ЧМ

В протоколе стандарта FLEX передача сообщений производится пакетами фиксированной длины (рис. 3.45). За 1 минуту передается 32 пакета длительностью 1,875 с. Полный цикл длится 4 минуты. В течение этого времени передается 128 пакетов, пронумерованных от 0 до 127. За 1 час повторяется 15 циклов. Циклы нумеруются от 0 до 14. Так как протокол FLEX является синхронным, для синхронизации приемников используются сигналы точного времени, передаваемые в начале каждого часа в кадре 0 цикла 0.

Каждый пакет состоит из блока синхронизации и 11 информационных блоков, пронумерованных от 0 до 10. Блок синхронизации содержит информацию о пакете в целом, номере пакета, уровнях манипуляции, поддержке роинга и т.д.

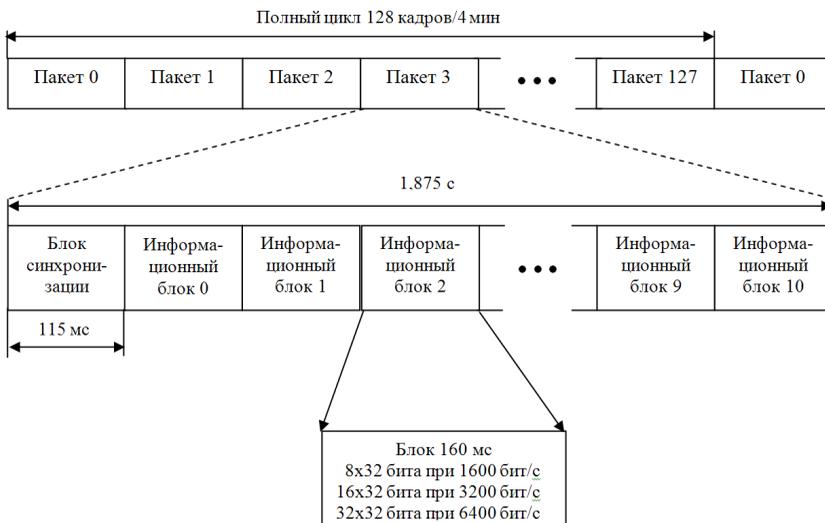


Рис. 3.45. Структура протокола FLEX

При кодировании информации используется код БЧХ, позволяющий исправлять единичные ошибки в принятой информации.

Каждый пейджер, работающий в стандарте FLEX, может принимать информацию на любой из используемых скоростей.

Протокол RDS (Radio Data System) предназначен для передачи пейджинговых сообщений по каналам УКВ ЧМ вещания. Принцип передачи основан на частотном уплотнении сигнала вещательной станции. Для этого в комплексный стереосигнал вещательной станции добавляют частотномодулированный сигнал RDS на поднесущей частоте 57 кГц с девиацией ± 2 кГц. Спектр суммарного модулирующего сигнала вещательной станции показан на рис. 3.46 (А и В – сигналы левого и правого каналов стереовещания).

Помимо пейджинговых сообщений, протокол RDS позволяет передавать на радиоприемники с декодером RDS различную текстовую информацию.

Протокол RDS рассчитан на работу с фиксированной скоростью 1187,25 бит/с и имеет структуру, показанную на рис. 3.47.

Протокол основан на передаче групп объемом 104 бита каждая. Каждая группа состоит из 4 блоков по 26 бит каждый. Блок состоит из 16-разрядного информационного слова и 10-разрядного контрольного слова. Информационное слово используется для передачи данных, контрольное – для синхронизации и исправления ошибок.

В стандарте RDS используются пейджеры, имеющие функцию сканирования частот. После включения пейджер начинает автоматический поиск сигнала базовой станции в доступном диапазоне частот и после его нахождения готов к приему сообщений. Диапазон частот сканирования пейджеров стандарта 87–108 МГц. Дальнейшим развитием стандарта RDS является система голосового пейджинга MobiDARC.

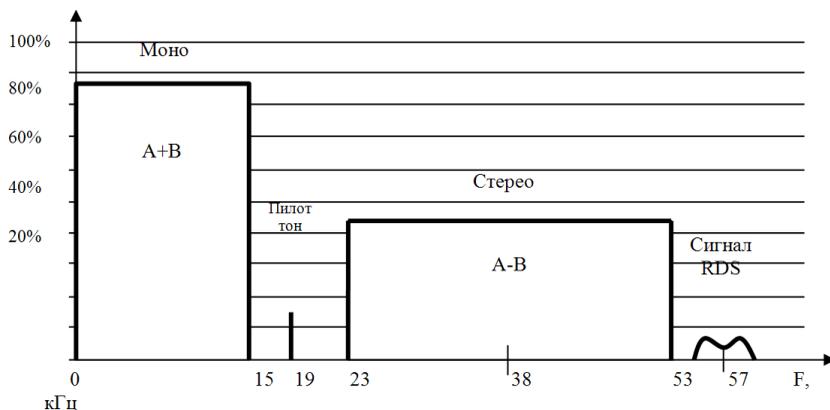


Рис. 3.46. Спектр суммарного модулирующего сигнала вещательной УКВ ЧМ станции с уплотнением сигналом RDS

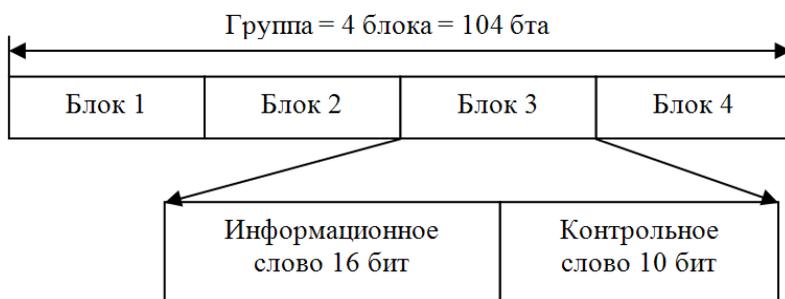


Рис. 3.47. Структура протокола RDS

Частотой передачи пейджинга выбрана частота 76 МГц (рис. 3.48). Система не оказывает влияния на передачу радиовещания. Скорость передачи оцифрованной речи составляет 16 кбит/с. Удельная емкость системы голосового пейджинга составляет 35000 абонентов на одну частоту из расчета 1,5 сообщений в день длительностью 45 с для каждого абонента.

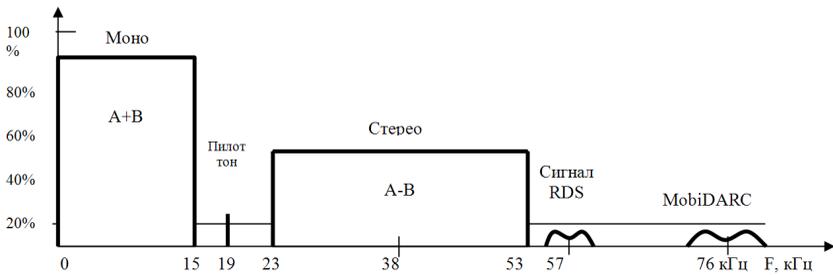


Рис. 3.48. Спектр суммарного модулирующего сигнала вещательной УКВ ЧМ станции с уплотнением сигналами RDS и MobiDARC

Основными элементами любого пейджера являются: приемник, декодер, устройство обработки и хранения информации, устройства отображения информации и сигнализации. Приемник строится по супергетеродинной схеме с одинарным или двойным преобразованием частоты. Структурная схема пейджера с двойным преобразованием частоты приведена на рис. 3.49.

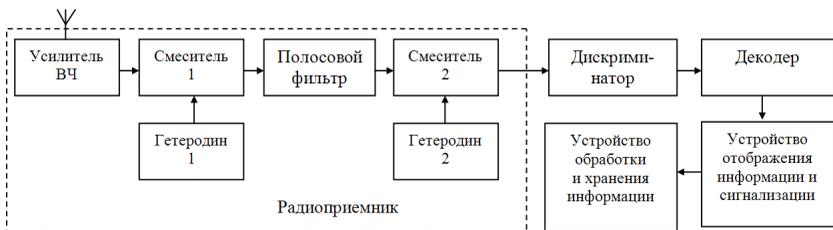


Рис. 3.49. Структурная схема пейджера с двойным преобразованием частоты

При двойном преобразовании частоты первая промежуточная частота обычно равна 10,7 или 21,4 МГц, а вторая – 455 или 30 кГц.

Практически все пейджеры имеют режим экономичного энергопотребления, где в формате сообщения содержится преамбула. Пейджер работает на прием не постоянно, а дискретно: например, в стандарте POCSAG он включается на 100 мс каждую секунду. Обнаружив преамбулу, пейджер остается включенным для приема сообщения. Если преамбулы нет, пейджер выключается.

Глава 4. ГЛОБАЛЬНАЯ МОРСКАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ ПРИ БЕДСТВИИ И ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. Основные принципы построения ГМССБ

В основу ГМССБ положен отказ от слухового обмена в телеграфном режиме и замена его телексным обменом, отказ от использования участка средневолнового диапазона 405...535 кГц, включая и частоту 500 кГц для обмена между судном и берегом и судном и судном. Дальнюю связь в ГМССБ обеспечивают коротковолновая судовая радиостанция и станция спутниковой связи. В прибрежных районах связь осуществляется с помощью УКВ и ПВ радиотелефонных станций.

Принцип построения ГМССБ показан на рис. 4.1. В основу ГМССБ положен принцип глобальности системы связи при бедствии. Где бы ни находилось судно, оно должно иметь возможность, передав сигнал бедствия, быть услышанным, а поисково-спасательные организации и суда в районе бедствия должны иметь возможность оповестить друг друга и судно, терпящее бедствие.

Кроме того, ГМССБ обеспечивает связь с позиций безопасности и срочности, а также передачу информации, обеспечивающей безопасность мореплавания, включая навигационные и метеорологические предупреждения.

Помимо этого, ГМССБ решает вопросы передачи и приема сообщений служебного характера, касающихся эксплуатации судна, коммерческой деятельности судовладельца, и обеспечивает передачу общественной корреспонденции.

Все процедуры связи в ГМССБ автоматизированы, и в каждой подсистеме ГМССБ судовая и береговая радиостанции имеют цифровой избирательный идентификационный номер, позволяющий исключить несанкционированный доступ к обмену информацией.

Принимая во внимание, что различные подсистемы радиосвязи ГМССБ имеют различную зону действия и отличаются видами услуг, вся зона Мирового океана делится на четыре района А1, А2, А3, А4, которые и определяют состав оборудования радиосвязи судов, плавающих в этих районах.

Район А1 – в пределах дальности действия береговых УКВ радиостанций (20-30 миль). Суда, совершающие плавание только в этом районе, оборудуются УКВ радиотелефонной станцией, имеющей устройство цифрового избирательного вызова (ЦИВ).

Район А2 – в пределах дальности действия береговых радиостанций гектометрового диапазона (промежуточные волны) ПВ (до 100 миль).

Суда, район плавания которых не выходит за эти рамки, оборудуются УКВ и ПВ радиотелефонными станциями с ЦИВ.

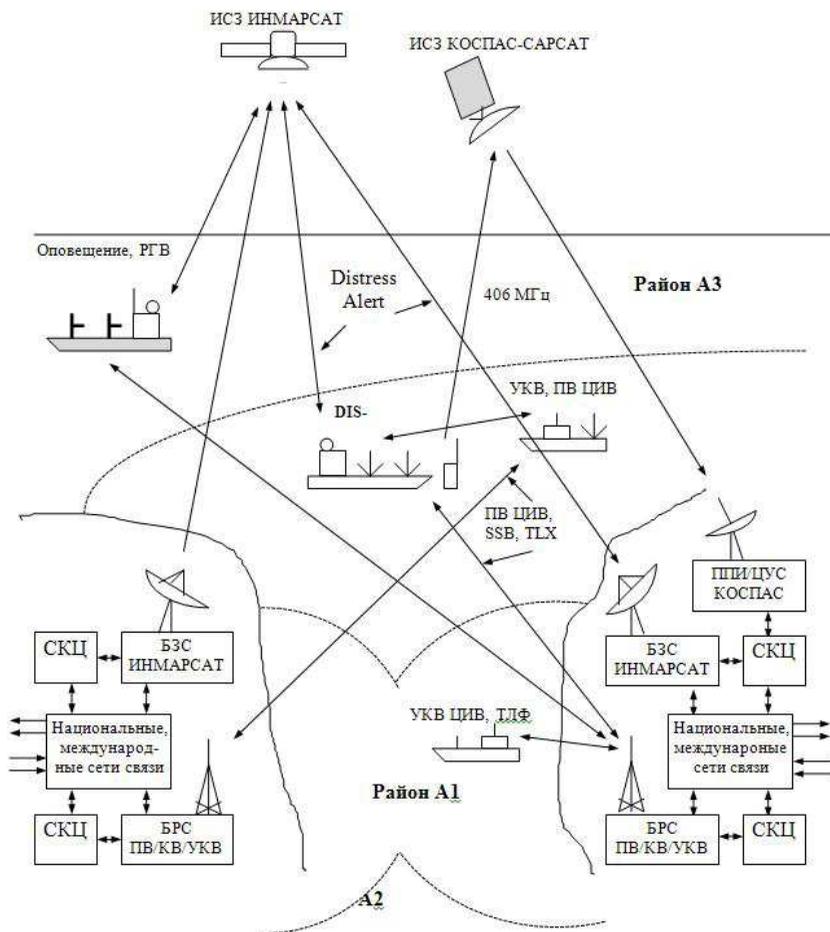


Рис. 4.1. Общий принцип построения ГМССБ

Район А3 – в пределах зоны действия геостационарных искусственных спутников Земли (ИСЗ) морской системы спутниковой связи ИНМАРСАТ (между 70° с.ш. и 70° ю.ш.). В дополнение к оборудованию, необходимому для района А2, на судах, плавающих в этом районе устанавливается оборудование спутниковой связи или коротковолновая (КВ) радиостанция, обеспечивающая телексную и телефонную связь и ЦИВ.

Район А4 – оставшаяся зона, находящаяся за пределами районов А1, А2, А3 (Арктические и Антарктические районы). Суда, плавающие в этом районе, оборудуются КВ радиостанцией, обеспечивающей телексную и телефонную связь и ЦИВ. Кроме того, обязательна установка оборудования, необходимого для района А2, и по желанию судовладельца может быть установлена станция спутниковой связи. Более подробно о составе судового радиооборудования связи говорится в 4.4.

4.2. Функции ГМССБ

Оповещение о бедствии. Оповещение о бедствии содержит информацию об аварии судна и предназначено судам, находящимся в районе аварии, или спасательно-координационным центрам (СКЦ), которые могут оказать помощь. Аварийное сообщение поступает в СКЦ через береговые радиостанции.

В ГМССБ сообщение о бедствии может быть передано с указанием координат судна с помощью традиционных средств связи ПВ, КВ и УКВ, с помощью спутниковой связи ИНМАРСАТ или с автоматическим определением координат аварийного судна при помощи радиобуев спутниковой системы КОСПАС-САРСАТ. Во всех случаях в состав сигнала автоматически включается идентификатор судна, по которому определяется его принадлежность.

Аварийное сообщение может быть передано как в адрес конкретной радиостанции, так и всем судам. Радиостанция, принявшая аварийное сообщение, производит подтверждение о приеме, передавая его аварийному судну, и ретранслирует аварийное сообщение береговой радиостанции. Для подачи аварийного сообщения, его подтверждения и ретрансляции в диапазонах ПВ, КВ и УКВ используется система цифрового избирательно-вызова (ЦИВ).

Для того чтобы сделать связь по поводу бедствия глобальной, а также для функционирования системы ЦИВ в ГМССБ дополнительно выделены частоты, на которых производится ЦИВ. В диапазоне ПВ такой частотой является 2187,5 кГц (для района А2), на УКВ – 156,525 МГц – 70-й канал (для района А1), на КВ пять частот – 4207,5; 6312; 8414,5; 12577; 16804,5 кГц (для районов А3 и А4). Этим обеспечивается всеохватность системы передачи аварийных сообщений даже в том случае, если отсутствуют средства спутниковой связи ИНМАРСАТ.

Кроме того, средства связи ГМССБ обеспечивают и традиционную передачу аварийных сообщений на международных аварийных частотах

2182 кГц и 156,8 МГц (16-й канал УКВ). Включение аварийного сигнала и подтверждение его приема в ГМССБ производится вручную, но

предусмотрена и автоматическая передача аварийных сигналов с помощью свободно отделяющихся аварийных радиобуев.

СКЦ, на который поступило аварийное сообщение, оповещает все суда, находящиеся в районе бедствия, об аварии и после получения подтверждения от них руководит спасательными работами. Оповещение может быть произведено с помощью так называемой системы расширенного группового вызова (РГВ), входящей в состав ИНМАРСАТ, с помощью службы НАВТЕКС или традиционными видами связи.

Связь с целью координации проведения поисково-спасательных операций. В этот вид связи входит обмен информацией между СКЦ и руководителем проведения поисково-спасательных работ на месте аварии или координатором надводного поиска в районе аварии. В данном случае необходимо обеспечить обмен информацией в обоих направлениях. Для этого используются режимы радиотелефонии и радиотелекса.

В зависимости от района аварии и его удаленности от береговых радиостанций здесь могут быть использованы как традиционные средства радиосвязи ПВ, КВ и УКВ диапазонов, так и средства спутниковой связи.

Связь на месте проведения поисково-спасательных работ. Этот вид связи обычно осуществляется в диапазонах ПВ и УКВ в режимах радиотелефонии и радиотелеграфии на специально выделенных для целей бедствия и безопасности частотах. Связь осуществляется между аварийным судном и поисково-спасательными средствами для оказания помощи судну и спасения людей. Связь с авиацией, участвующей в поиске и спасении, производится на частотах 3023; 4125 и 5680 кГц. Поисковая авиация должна быть оборудована радиостанциями, работающими на частотах 2182 кГц и 156,8 МГц, а также на других частотах морской подвижной службы.

Сигналы для определения местоположения аварийного судна. В отличие от существующей системы, в ГМССБ сигналы, облегчающие нахождение места аварии, формируются автоматическими средствами. В случае если координаты потерпевшего аварии судна не были переданы с помощью средств радиосвязи, они могут быть определены по сигналам автоматического радиобуя системы КОСПАС-САРСАТ. Буй включается в работу либо вручную, либо, в случае затопления судна, автоматически. Для более точного наведения на место аварии поисковых судов в ГМССБ используются радиолокационные маяки-ответчики (РЛМО), работающие на частотах 9,2-9,5 ГГц и выполненные в виде свободно плавающих буюв. Включение их на излучение происходит по обнаруженному сигналу радиолокационной станции судна, вошедшего в зону действия РЛМО.

Передача информации, связанной с обеспечением безопасности мореплавания. Передача навигационных и метеорологических предупреждений и другой срочной информации имеет особо важное значение для безопасности мореплавания. Для этой цели используется входящая в

состав ГМССБ служба НАВТЕКС, обеспечивающая передачу на суда на частоте 518 кГц в режиме узкополосного буквопечатания с повышенной достоверностью навигационных, метеорологических и аварийных сообщений.

Для районов открытого океана за пределами зон действия радиостанций службы НАВТЕКС такую информацию передает система спутниковой связи ИНМАРСАТ, используя РГВ. Планируется использовать систему радиотелекса на КВ диапазоне. Для этой цели в соответствии с Регламентом радиосвязи (статья 39, раздел IV, § 25) выделены частоты для передачи береговыми радиостанциями информации о безопасности с помощью УБПЧ с помехоустойчивым кодированием: 4210; 6314; 8416,5; 12579; 16806,5; 19680,5; 22376; 26100,5 кГц. Прием такой информации на судах в ГМССБ полностью автоматизирован.

Связь, не относящаяся к бедствию и безопасности. Для данного вида связи в ГМССБ могут быть использованы как традиционные средства связи ПВ, КВ и УКВ диапазонов, так и средства спутниковой связи.

Данный вид связи используется для передачи информации, связанной с управлением, эксплуатацией коммерческой деятельностью судна, для передачи общественной (частной) корреспонденции.

Связь между близко проходящими судами. Данный вид связи используется для обмена информацией по УКВ радиотелефону между близко проходящими судами с целью обеспечения безопасности судов, а также с буксирами, лоцманскими судами. Сюда же следует отнести и УКВ радиотелефонную связь с помощью портативных радиостанций во время швартовных операций, а также в случае аварии между судном и шлюпками или плотами.

4.3. Характеристика подсистем связи, используемых в ГМССБ

Спутниковая связь. В ГМССБ используются две спутниковые системы связи. Система связи ИНМАРСАТ использует геостационарные спутники, ретранслирующие сообщения в направлении «судно – берег» и «берег – судно». Кроме обеспечения передачи всех видов информации в телексном и телефонном режимах она обеспечивает передачу (через береговые станции спутниковой связи) аварийных сообщений с судна на СКЦ, оповещение судов о бедствии, передачу навигационных и метеорологических предупреждений, групповой вызов судов по системе РГВ.

В случае использования на судах аварийных радиобуев L-диапазона (1,6 ГГц) система ИНМАРСАТ обеспечивает передачу аварийных сообщений, сформированных и переданных АРБ L-диапазона на береговые станции спутниковой связи.

Спутниковая система КОСПАС-САРСАТ использует низкоорбитальные спутники на околополярных орбитах и работает в диапазоне 406,0–406,1 МГц. Система служит для обнаружения и ретрансляции на наземные пункты приема информации (ППИ) сигналов аварийных радиобуев. Система позволяет с высокой точностью автоматически определять местоположение таких АРБ.

Традиционные виды связи. Обеспечивают связь в направлении «судно – судно», «судно – берег», «берег – судно» без промежуточной ретрансляции или через судно-посредника. Для связи используются выделенные для морской подвижной службы частоты в диапазонах ПВ, КВ и УКВ. Вне зоны действия системы ИНМАРСАТ традиционные средства КВ связи являются единственными для осуществления дальней связи. Как уже говорилось выше, в диапазонах ПВ, КВ, УКВ выделены специальные частоты для передачи и приема сообщений о бедствии и связанных с безопасностью мореплавания. На этих частотах используется ЦИВ. Слежение на частотах ЦИВ осуществляется специальными автоматическими приемниками, снабженными печатающим устройством для вывода сообщения на печать, и световой/звуковой сигнализацией о приеме аварийного сообщения. Приемники ЦИВ в диапазоне КВ имеют сканирующую настройку.

Для передачи циркулярной информации, связанной с безопасностью мореплавания в направлении «берег – судно», используется частота 518 кГц, на которой служба НАВТЕКС передает навигационные и метеорологические предупреждения и оповещения, связанные с бедствием. Сохраняется возможность использования диапазона СВ (около 500 кГц) для узкополосного буквопечатания (УБПЧ) для связи в направлении «берег – судно».

4.4. Состав судового радиоборудования ГМССБ

Исходя из вышеизложенного состав судового радиоборудования, отвечающего требованиям ГМССБ, можно проиллюстрировать табл. 4.1.

Каждое судно должно иметь радиоборудование, способное выполнять любую из функций ГМССБ, описанную выше, в зависимости от района плавания судна, используя, по крайней мере, одну из систем связи.

Каждое судно должно иметь, по крайней мере, два различных и независимых друг от друга средства радиосвязи, способных обеспечить аварийное оповещение. Любое отдельное радиоборудование может выполнять более одной функции в ГМССБ и быть сопряжено с другим судовым радиоборудованием. Судовое радиоборудование в ГМССБ должно быть простым в эксплуатации и предусматривать эксплуатацию без оператора.

В соответствии с конвенционными требованиями судовая радиостанция питается от бортовой сети, которая является основным источником электроэнергии для УКВ, ПВ, ПВ/КВ радиостанций, СЗС ИНМАРСАТ,

приемников НАВТЕКС, РГВ и КВ ИБМ, телефонного автоаларма и командного трансляционного устройства в зависимости от районов, для которых оборудовано судно.

Таблица 4.1

Состав судового радиооборудования

№ п/п	Радиооборудование	Количество для судов, морские районы			
		A1	A1, A2	A1, A2, A3	A1, A2, A3, A4
1	УКВ трансивер с ЦИВ и вахтенным приемником ЦИВ	1	1	1	1
2	ПВ трансивер с ЦИВ и вахтенным приемником ЦИВ.		1	1 ¹⁾	
3	ПВ/КВ трансивер с ЦИВ и УБПЧ, вахтенный приемник ЦИВ			1 ²⁾	1
4	Судовая земная станция ИНМАРСАТ			1 ¹⁾	1 ³⁾
5	Телефонный АПСТ		1 ⁴⁾	1 ⁴⁾	1 ⁴⁾
6	Приемник службы НАВТЕКС	1	1	1	1
7	Приемник РГВ	1 ⁵⁾	1 ⁵⁾	1 ⁵⁾	1 ⁵⁾
8	КВ приемник буквопечатающей радио-телеграфии для приема ИБМ	1 ⁶⁾	1 ⁶⁾	1 ⁶⁾	1 ⁶⁾
9	АРБ КОСПАС-САРСАТ ⁷⁾	2 ⁸⁾	2 ⁸⁾	2 ⁸⁾	2
10	АРБ ИНМАРСАТ	1 ⁹⁾	1 ⁹⁾	1 ⁹⁾	
11	УКВ АРБ	1 ¹⁰⁾			
12	Радиолокационный ответчик	2 ¹¹⁾	2 ¹¹⁾	2 ¹¹⁾	2 ¹¹⁾
13	Телефонный автоаларм 2182 кГц	1 ⁴⁾	1 ⁴⁾	1 ⁴⁾	1 ⁴⁾
14	Командная радиотрансляционная установка	1	1	1	1
15	Портативная УКВ радиостанция	3 ¹²⁾	3 ¹²⁾	3 ¹²⁾	3 ¹²⁾

¹⁾ Не требуется при наличии ПВ/КВ радиоустановки.

²⁾ Не требуется при наличии СЗС ИНМАРСАТ.

³⁾ Как дополнительная к ПВ/КВ радиоустановке.

⁴⁾ Не требуется с 1 февраля 1999 года или другой установленной даты.

⁵⁾ Обязателен, если судно совершает рейсы в районах, не охваченных службой НАВТЕКС, в пределах зоны АЗ. Допускается в составе СЗС ИНМАРСАТ.

⁶⁾ Допускается установка вместо приемника РГВ, если судно совершает рейсы в районах, охваченных передачами ИБМ на КВ.

⁷⁾ Один из них должен быть свободно всплывающим.

⁸⁾ Может быть установлен один АРБ, если с места управления судном обеспечивается передача оповещения о бедствии по крайней мере двумя отдельными и независимыми средствами, использующими различные виды связи, которые соответствуют району плавания судна.

⁹⁾ Допускается по согласованию с Регистром вместо одного из АРБ КОСПАС-САРСАТ.

¹⁰⁾ Допускается по согласованию с Регистром вместо одного из АРБ КОСПАС-САРСАТ на судах, совершающих рейсы исключительно в районе А1.

¹¹⁾ На судах валовой вместимостью менее 500 рег. т не менее одного.

¹²⁾ На судах валовой вместимостью менее 500 рег. т не менее двух.

Кроме того, должен быть аварийный источник электропитания, которым может быть аварийный дизель-генератор или аккумуляторная батарея. Согласно требованиям Регистра морского судоходства аварийный источник питания должен обеспечивать работу судовой радиостанции в полном объеме в течение 36 часов на пассажирских судах и 18 часов на грузовых судах.

На каждом судне должен быть предусмотрен резервный источник электрической энергии для питания радиоустановок, обеспечивающих радиосвязь при бедствии, и в целях безопасности в случае выхода из строя основного и аварийного источников электроэнергии. При этом предусматривается звуковая и световая сигнализация о переходе на резервный источник питания на месте управления судном.

Резервный источник электроэнергии должен обеспечивать в полном объеме одновременную работу УКВ, ПВ или ПВ/КВ радиостанций и СЗС ИНМАРСАТ в зависимости от районов, для которых оборудовано судно, а также любой из дополнительных нагрузок (освещение органов управления радиоустановки, дополнительная УКВ радиостанция) по крайней мере не менее 1 часа на судах, где аварийный источник полностью соответствует требованиям Регистра, и не менее 6 часов на судах, где аварийный источник не отвечает полностью требованиям Регистра.

Резервный источник электрической энергии должен быть независим от судовых силовых установок и судовой электросети. Дублирующее оборудование должно получать питание от собственного независимого резервного источника электроэнергии.

В случае если резервный источник электропитания является аккумуляторной батареей, то для нее должно быть предусмотрено автоматическое зарядное устройство, обеспечивающее полную зарядку аккумуляторной батареи в течение 10 часов.

Для дублирующего оборудования должно быть предусмотрено собственное автоматическое зарядное устройство.

Большинство производителей радиооборудования ГМССБ используют в качестве основного напряжения питания радиостанций и дополнительных устройств к ним напряжение постоянного тока 24 В. В этом случае для питания устройства от бортовой сети оно комплектуется сетевым блоком питания (Power supply). Такой принцип позволяет упростить процедуру автоматического перехода питания от основного или аварийного источника питания на резервный источник и наоборот.

Такие виды радиооборудования ГМССБ, как АРБ, радиолокационный ответчик, портативная УКВ радиостанция спасательных средств, используют в качестве источника питания встроенные гальванические элементы с ограниченным ресурсом.

Емкость батарей питания АРБ КОСПАС-САРСАТ и АРБ УКВ должна быть достаточной для обеспечения работы АРБ в течение, по крайней мере, 48 часов.

Емкость батарей питания АРБ ИНМАРСАТ должна быть достаточной для обеспечения работы передатчика для оповещения о бедствии в течение 4 часов или по крайней мере 48 часов, если в АРБ включены устройства автоматического обновления координат (GPS), и 48 часов для питания светового маячка и встроенного радиолокационного ответчика.

Емкость источника питания радиолокационного ответчика должна быть достаточной для обеспечения режима готовности в течение 96 часов и 8 часов в режиме излучения.

В составе приемника службы НАВТЕКС, приемника РГВ и КВ приемника ИБМ имеются встроенные источники питания в виде аккумуляторов, обеспечивающие работу электронной памяти при перерывах в подаче электроэнергии.

Принципы технического обслуживания радиооборудования ГМССБ определяются Резолюцией ИМО А.702(17). В соответствии с этой резолюцией работоспособность оборудования на судах, совершающих рейсы только в морских районах А1 и А2, должна обеспечиваться с помощью одного из трех способов: дублирование оборудования; береговое техническое обслуживание и ремонт; квалифицированное техническое обслуживание и ремонт в море или сочетанием этих способов.

На судах, совершающих рейсы в морских районах А3 и А4, работоспособность оборудования должна обеспечиваться с помощью сочетания по крайней мере двух из перечисленных выше способов.

Если работоспособность оборудования обеспечивается его дублированием, то должны быть продублированы: УКВ радиостанция с устройством ЦИВ; ПВ/КВ радиостанция с устройствами ЦИВ и УБПЧ или СЗС ИНМАРСАТ в зависимости от района плавания.

Спасательные средства должны иметь радиооборудование, способное обеспечить связь на месте проведения поисково-спасательной операции путем использования УКВ радиотелефона, и должны быть оборудованы радиолокационным маяком-ответчиком, работающим в диапазоне частот 9 ГГц.

К сожалению, на настоящий момент отечественная радиопромышленность выпускает только отдельные виды судового радиооборудования ГМССБ, соответствующего рекомендациям ИМО. К ним относятся аварийный радиобуй системы КОСПАС – САРСАТ – АРБ-406, радиолокационный маяк-ответчик ДЮЙМ, радиотелефонный автоаларм СИГНАЛ.

Многие зарубежные фирмы производят весь комплекс судового радиооборудования ГМССБ, а некоторые из них выпускают радиоконсоли ГМССБ, оформленные как компактное рабочее место оператора различных конфигураций (в зависимости от района плавания) и включающие в себя весь необходимый комплект оборудования.

Примерами таких фирм являются фирмы JRC (Япония), FURUNO (Япония), SAIT (Бельгия), SAILOR (Дания), SKANTI (Дания).

Состав некоторых из комплексов ГМССБ иллюстрируется табл. 4.2. Дополнительно к обязательному комплекту ГМССБ на судне устанавливается радиооборудование для приема метеокарт (факсимиле).

Таблица 4.2

Состав комплексов ГМССБ

Фирма-производитель	SAMYUNG ELECTRONIC Корея	SKANTI Дания	FURUNO Япония	JRC Япония	SARACO Корея
УКВ трансивер, УКВ ЦИВ	STR-580D В составе трансивера	VHF 1000 В составе трансивера	FM-8500 В составе трансивера	JHS-32A В составе трансивера	RH-20 В составе трансивера
ПВ/КВ трансивер, ПВ/КВ ЦИВ УБПЧ терминал	SRG-1150DN SRG-1250DN В составе трансивера	TRP 1250, TRP-1500, В составе трансивера	FS-1562, FS-5000, DSC-6, AA-50 DP-6	JSS-720/800 В составе трансивера	RC-20 В составе трансивера
СЗС ИНМАРСАТ	TT-3020C	SCANSAT-CG	FELCOM-12	JUE-75C	SC-20
Приемник НАВТЕКС	SNX-200		NX-500	NCR-300A	NR-93A
УКВ портативная радиостанция	STW-150			JHS-7	TW-45A

4.5. Построение наземных сетей связи в ГМССБ

Для обеспечения судов связью с наземными абонентами и для передачи информации на суда в мире существует развитая сеть береговых радиостанций, обеспечивающих радиотелеграфную и радиотелефонную связь с судами в диапазонах СВ, ПВ, КВ и УКВ. Реконструкция системы наземной связи состоит в том, что все береговые радиостанции должны иметь устройства автоматической передачи/приема ЦИВ, ретрансляции ЦИВ о бедствии и систему надежной связи с СКЦ.

Кроме того, имеется разветвленная сеть наземных (береговых) станций спутниковой связи системы ИНМАРСАТ, обеспечивающих связь между судами и берегом, и сеть пунктов приема информации системы КОСПАС-САРСАТ. И береговые станции ИНМАРСАТ, и пункты приема информации КОСПАС-САРСАТ имеют надежную связь с СКЦ.

В свою очередь, СКЦ и средства береговой радиосвязи в диапазонах СВ, ПВ, КВ и УКВ и средства спутниковой связи должны иметь выход на национальные и международные сети телексной и телефонной связи для передачи информации о бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания. Особое значение имеет надежность сети связи между СКЦ. Сеть связи между СКЦ в ГМССБ и порядок её эксплуатации должны соответствовать различным уровням международной координации поисково-спасательных средств.

СКЦ, имеющий связь с береговой радиостанцией и первый подтвердивший прием аварийного сообщения («первый СКЦ»), должен принять ответственность за всю последующую координацию поисково-спасательной операции до тех пор, пока не будет найден другой СКЦ, находящийся в лучшем положении для руководства поисково-спасательной операцией.

На рис. 4.2 приведена блок-диаграмма, иллюстрирующая действия «первого СКЦ».

Связь между судном и берегом, обеспечивающая безопасность мореплавания, эксплуатацию судна, обмен общественной корреспонденцией, осуществляется в радиотелефонном и телексном режимах. Береговые радиостанции автоматически или через оператора осуществляют соединение радиоканала с береговыми абонентами по наземным линиям связи.

Автоматизированные береговые радиостанции оборудуются центрами коммутации каналов (ЦКК) и центрами коммутации сообщений (ЦКС), которые позволяют автоматически передавать телексные сообщения наземным абонентам, а также передавать на суда навигационную и метеорологическую информацию. Продолжается работа по объединению разрозненных радиоцентров в единую национальную сеть и её стыковка с международными сетями телексной и телефонной связи, что позволит полу-

чить автоматизированную глобальную сеть наземных средств связи, обеспечивающих связь с судами.

Работа международных и национальных администраций по внедрению ГМССБ регулируется ИМО и отображается в «Мастер-плане ГМССБ», который представляет собой документ, включающий сведения о действующих и планируемых к открытию береговых радиостанциях СВ, ПВ, КВ и УКВ диапазонов, обеспечивающих работу ГМССБ; сведения о БЗС системы ИНМАРСАТ; сведения о станциях службы НАВТЕКС и КВ радиостанциях, передающих ИБМ; карты районов ГМССБ и другую важную информацию.



Рис. 4.2. Действие «первого СКЦ»

Глава 5. МОРСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

5.1. Морская система связи на средних волнах

Средними волнами называют участок диапазона 300-3000 кГц. В этом диапазоне для морской подвижной службы выделены участки 405-535 кГц для телеграфного обмена и 1605-2850 кГц для радиотелефонного и телексного обмена. Оба участка используются для обмена в направлениях «судно – берег», «берег – судно» и «судно – судно». Участок СВ диапазона 1605-2850 кГц и часть КВ диапазона до 4000 кГц получил название промежуточных волн (ПВ) из-за свойств распространения радиоволн.

Диапазон 405-535 кГц использовался для обмена в режимах слуховой радиотелеграфии А1А, А2А и Н2А.

Учитывая недостатки этого диапазона 405-535 кГц для использования его при бедствии и для обеспечения безопасности, ИМО разрешило с 1 февраля 1993 года прекратить береговым радиостанциям вахту на частоте 500 кГц, и по решению национальных администраций допускается отказ от использования этого диапазона для передачи информации в направлении «судно – берег» и «судно – судно» кодом Морзе в слуховом режиме. Это означает отмену обязательной вахты на частоте 500 кГц на судах.

Ограниченная дальность действия радиоволн, требование обслуживания оборудования высококвалифицированным радиооператором, владеющим навыками слухового обмена кодом Морзе, привели к тому, что в составе ГМССБ диапазон 405-535 кГц будет использоваться только в направлении «берег – судно» и только в автоматическом режиме приема. Регламентом радиосвязи выделены для использования ЦИВ частоты СВ диапазона в режиме F1B.

На частоте 518 кГц работает служба НАВТЕКС, передающая для судов навигационные и метеорологические предупреждения и оповещения о бедствии. Частота 490 кГц выделена для ведения передач службы НАВТЕКС на национальном языке. Работа осуществляется в режиме F1B.

Промежуточные волны (ПВ) 1605-4000 кГц используются главным образом для целей радиотелефонии в режиме J3E, а также для УБПЧ в режимах F1B и J2B. Частота 2182 кГц является международной частотой обмена по поводу бедствия.

Значительная дальность действия судовых радиостанций (до 100-200 миль) позволила использовать этот диапазон в составе ГМССБ для связи в районе А2.

В связи с вводом ГМССБ значение системы связи на ПВ возрастает. Для целей автоматического оповещения о бедствии в этом диапазоне введен ЦИВ на частоте 2187,5 кГц (режимы F1B и J2B). Частота 2174,5 кГц выделена для обмена в случае бедствия и для обеспечения безопасности с

использованием УБПЧ, а частота 2182 кГц будет использоваться только для обмена при бедствии и для обеспечения безопасности в радиотелефонном режиме.

Диапазон используется для связи в направлениях «судно – берег», «берег – судно» и «судно – судно». Работа в радиотелефонном режиме не требует обслуживания радиостанции высококвалифицированным специалистом-оператором.

В состав ПВ радиостанции (ГМССБ) входит:

- приемо-передающая радиостанция (трансивер) с автоматическим податчиком телефонного сигнала тревоги на частоте 2182 кГц,
- автоматический вахтенный радиоприемник частоты ЦИВ 2187,5 кГц,
- устройство ЦИВ (ЦИВ-модем), обеспечивающее передачу и прием с выводом на печать сообщений ЦИВ,
- автоматический вахтенный радиоприемник частоты 2182 кГц, обеспечивающий прием и сигнализацию телефонных сигналов тревоги.

Структурная схема такой радиостанции приведена на рис. 5.1.

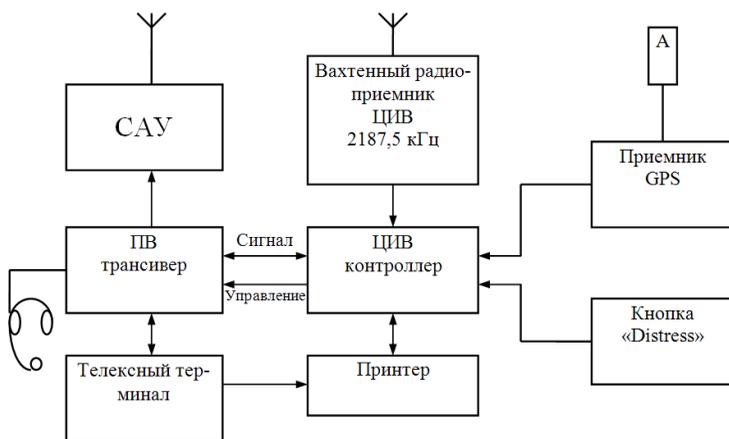


Рис. 5.1. Структурная схема судовой ПВ радиостанции ГМССБ

В соответствии с Приложением 2 Резолюции А.704(17) береговые радиостанции, обеспечивающие обслуживание района А2, должны обеспечить непрерывное перекрытие обслуживаемого района и круглосуточную вахту в режиме ЦИВ на частоте 2187,5 кГц, в радиотелефонном режиме на международной частоте 2182 кГц и в телексном режиме на частоте 2174,5 кГц. Типовая структурная схема такой береговой радиостанции ГМССБ приведена на рис. 5.2.

Коротковолновый диапазон, выделенный для морской подвижной службы 4000–27500 кГц, используется для связи в направлениях «судно –

берег», «берег – судно» и «судно – судно» для обмена в режиме УБПЧ колебаниями F1B и J2B (J7B) (режимы прямого буквопечатания и повышенной достоверности), радиотелефонном режиме колебаниями R3E и J3E.

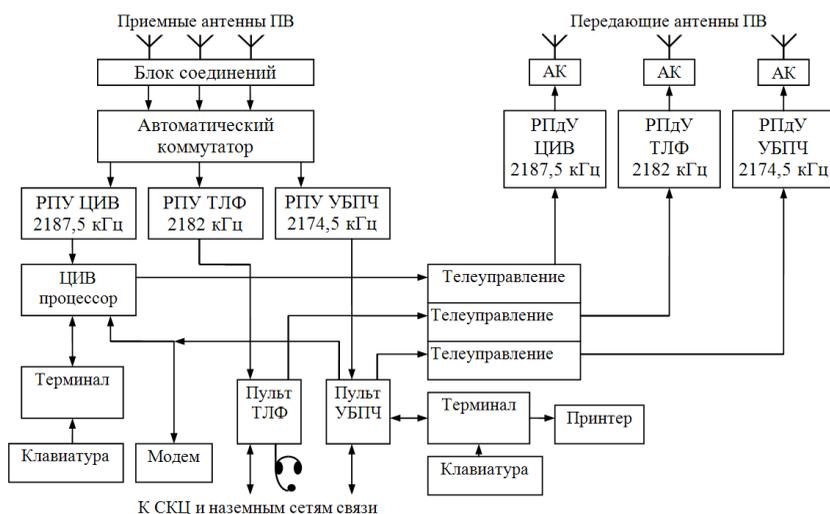


Рис. 5.2. Структурная схема береговой радиостанции ГМССБ для района А2

5.2. Морская коротковолновая система связи

Глобальное распространение коротких волн позволяет использовать этот диапазон для дальней связи. Вместе с тем сложный, зависящий от многих факторов характер распространения КВ, наличие сильных помех и загруженность диапазона ухудшают качество сигналов, требуют значительных мощностей излучения и применения мер по защите сигналов от помех, особенно в телеграфных режимах.

В составе ГМССБ система связи на КВ получает дальнейшее развитие. Она остается единственным средством дальней связи для района А4, а в районе А3 используется либо самостоятельно, либо совместно со спутниковой системой связи ИНМАРСАТ. Для дальнего оповещения о бедствии в диапазоне КВ выделены 5 частот (4207,5; 6312; 8414,5; 12577 и 16804,5 кГц), на которых осуществляется ЦИВ по поводу бедствия и для обеспечения безопасности.

Для вызовов, не относящихся к бедствию и безопасности, предусматривается использование парных частот КВ диапазона для радиотелефона и радиотелекса (см. 8.1).

На КВ диапазоне также происходит отказ от слухового обмена кодом Морзе и прямого буквопечатания. Основным видом телеграфного обмена

в ГМССБ является радиотелекс с применением помехозащищенных кодов (см. гл. 6) – режим ARQ. Телексный ARQ-модем, построенный на базе персонального компьютера, является составной частью КВ радиостанции. На судах с неограниченным районом плавания устанавливаются комбинированные ПВ/КВ радиостанции. Исключительно для обмена в случае бедствия и для обеспечения безопасности с помощью УБПЧ в диапазоне КВ выделены частоты 4177,5; 6268; 8376,5; 12520; 16695 кГц. Для этой же цели, но в радиотелефонном режиме используются частоты 4125; 6215; 8291; 12290; 16420 кГц.

В состав КВ судовой радиостанции ГМССБ входит непосредственно сама приемо-передающая радиостанция (трансивер), как правило объединяющая в своем составе радиостанцию ПВ диапазона. Радиостанция обеспечивает работу в широком диапазоне частот 1,6-27,5 МГц в режимах радиотелефонии и радиотелекса. Для обеспечения ЦИВ в комплекте КВ радиостанции имеется вахтенный радиоприемник со сканирующей по частотам ЦИВ настройкой, дополненный устройством формирования и приема сигналов ЦИВ (ЦИВ-модем). Структурная схема судовой КВ радиостанции ГМССБ приведена на рис. 5.3.

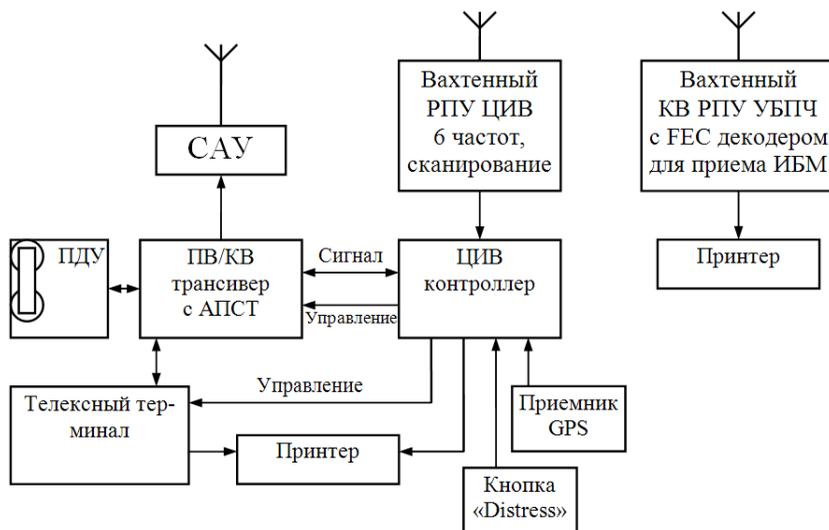


Рис. 5.3. Структурная схема судовой КВ радиостанции

В соответствии с Приложением 2 и Дополнением 1 Резолюции А.704(17) каждый океанский район, требующий несения КВ радиовахты с использованием ЦИВ, должен иметь минимум две береговые станции, обеспечивающие необходимое КВ покрытие. Там, где это практически

возможно, станции должны быть выбраны на противоположных сторонах океанского района. Станции должны быть прикреплены к СКЦ и иметь с ним надежную телефонную и телексную связь, должны обеспечивать перекрытие во всем диапазоне КВ, следить на всех частотах бедствия КВ ЦИВ. На практике КВ береговые радиостанции, обеспечивающие район АЗ, обеспечивают связь по бедствию, срочности и безопасности в районах ответственности, закрепленных СКЦ.

Типовая структурная схема береговой КВ радиостанции ГМССБ показана на рис. 5.4.

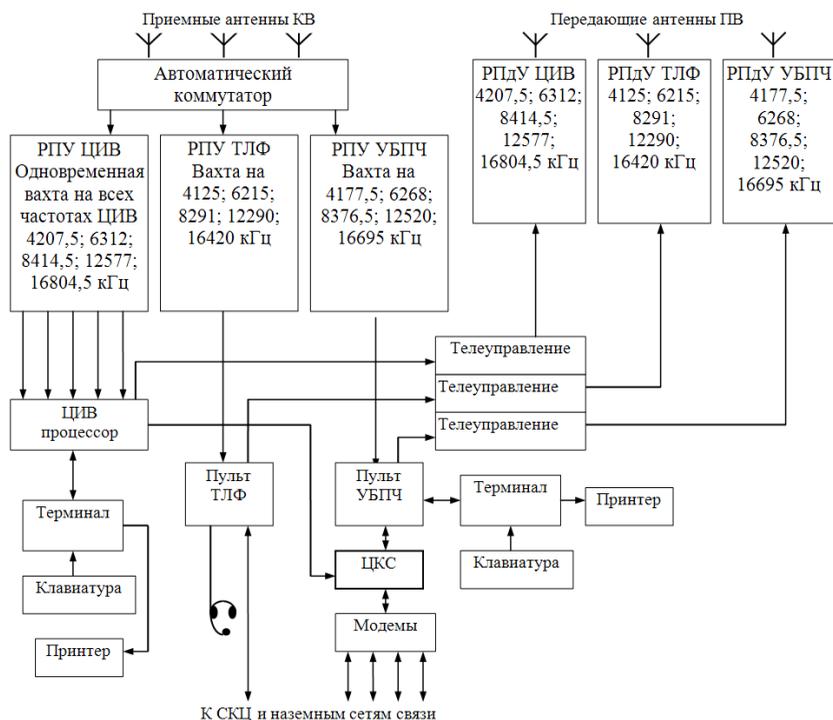


Рис. 5.4. Структурная схема береговой КВ радиостанции ГМССБ

Береговые радиостанции, ответственные за передачу информации по безопасности мореплавания (навигационных предупреждений), должны иметь оборудование для передачи такой информации на суда в режиме УБПЧ с использованием помехоустойчивого кодирования на выделенных для этой цели частотах. Кроме того, береговая КВ радиостанция должна обеспечивать аварийный обмен с судами в режиме радиотелекса и радиотелефона на частотах, выделенных для этих целей.

Для ведения передач службой НАВТЕКС в тропических районах, а также в районах, где зона перекрытия радиопередатчиков на частоте 518 кГц недостаточна для охвата района, выделена частота 4209,5 кГц.

5.3. Морская система связи на метровых волнах

Ультракоротковолновый диапазон, выделенный для морской подвижной службы 156...174 МГц, используется для связи в направлениях «судно – берег», «берег – судно» и «судно – судно» для обмена в телефонном режиме колебаниями G3E (F3E), а также для целей ЦИВ в режиме УБПЧ колебаниями F1B.

Диапазон частот 156...174 МГц в морской подвижной службе является дискретным. Частоты (каналы) в нем следуют через 25 кГц, начиная с частоты 156,025 кГц. Таблица распределения частот УКВ диапазона дана в [47].

Частота 156,8 МГц является международной частотой вызова и обмена по поводу бедствия на УКВ.

Система связи на УКВ используется на расстояниях прямой видимости до 25-30 миль. Система используется в радиотелефонном режиме и поэтому не требует обслуживания квалифицированным радиоспециалистом-оператором. Обычно эксплуатируется штурманским составом, имеющим сертификаты радиотелефониста. Системой охвачены территории портов, рейдовых стоянок, прибрежные акватории, проливы, заливы и каналы.

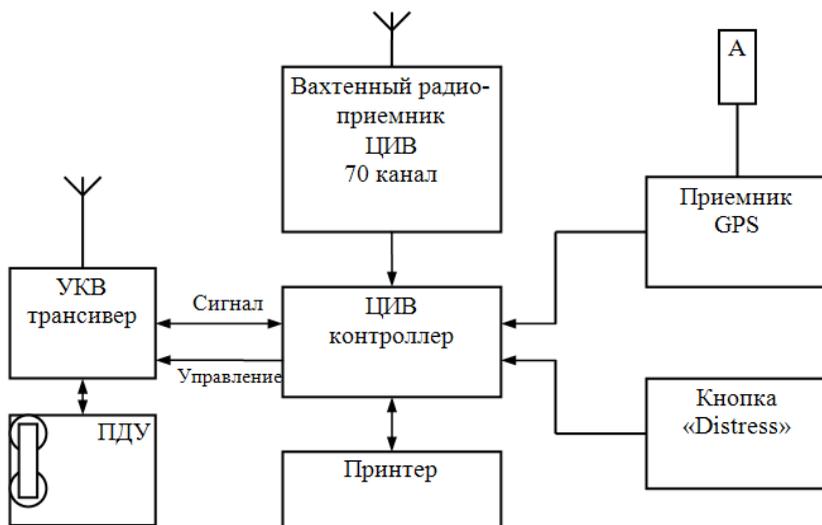


Рис. 5.5. Структурная схема судовой УКВ радиостанции ГМССБ

В ГМССБ УКВ система связи обслуживает район А1. Для целей ЦИВ выделена частота 156,525 МГц (70 канал), которая используется как для случаев бедствия и безопасности, так и для вызовов, не относящихся к бедствию и безопасности. УКВ радиостанция, соответствующая требованиям ГМССБ, имеет в своем составе вахтенный приемник частоты ЦИВ (70-го канала) и устройство для приема и формирования сигналов ЦИВ. Структурная схема УКВ судовой радиостанции ГМССБ показана на рис. 5.5.

В соответствии с требованиями ГМССБ спасательные средства судна должны быть укомплектованы портативными УКВ радиостанциями для связи с поисково-спасательными судами, для координации совместных действий.

УКВ береговые радиостанции, работающие в системе ГМССБ и обслуживающие район А1, должны обеспечивать круглосуточную вахту на частоте 16-го канала в режиме слухового приема и на частоте 70-го канала ЦИВ в автоматическом режиме с использованием аппаратуры ЦИВ. Кроме того, береговая УКВ радиостанция дежурит и на других закрепленных за ней частотах в слуховом режиме. Структурная схема УКВ береговой радиостанции ГМССБ приведена на рис. 5.6.

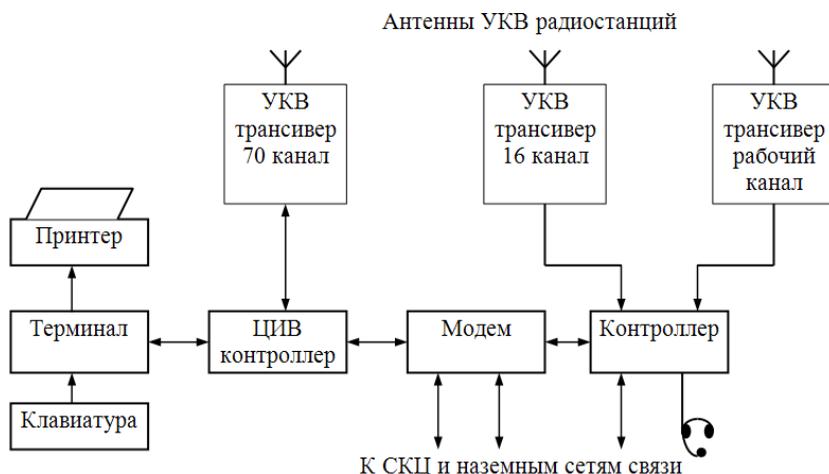


Рис. 5.6. Структурная схема береговой УКВ радиостанции ГМССБ

Функции УКВ, ПВ, КВ береговых радиостанций ГМССБ могут быть закреплены за разными радиостанциями или совмещены в одном главном (зональном) радиоцентре. Как уже указывалось выше, КВ береговые радиостанции, являющиеся главными радиостанциями района, имеют оборудование, обеспечивающее передачу навигационных и гидрометеорологических сообщений на суда в режиме УБПЧ. Отдельные (выделенные) бе-

реговые радиостанции работают в рамках службы НАВТЕКС. Структурная схема такой радиостанции приведена в гл. 7. Кроме того, береговые радиостанции имеют технические средства (радиостанции, радиопередатчики/радиоприемники, каналообразующее оборудование, ЦКС и т. п.) для обеспечения радиотелефонного и радиотелексного обмена с судами, не связанного с бедствием и безопасностью. Таким образом, структурная схема береговой радиостанции, обеспечивающей обслуживание районов А1, А2, А3 и А4 с помощью УКВ, ПВ и КВ, достаточно сложна. Отдельные элементы структуры такой радиостанции рассматриваются в главах 6 и 7.

Глава 6. СИСТЕМЫ ТЕЛЕГРАФНОЙ (ТЕЛЕКСНОЙ) РАДИОСВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

6.1. Общие сведения о судовой телеграфной радиосвязи

Телексная наземная связь использует для обмена пятиразрядный двоичный код, получивший название Международного телеграфного кода №2 (МТК-2). Общее количество кодовых комбинаций $N_{\text{общ}} = 2^n = 2^5 = 32$. Для более полного их использования в системе применяются три регистра знаков – по 26 знаков в каждом регистре. Латинский (международный) регистр обеспечивает передачу 26 латинских букв, русский (национальный) регистр обеспечивает передачу 26 русских букв, цифровой регистр обеспечивает передачу 10 цифр, 11 знаков препинания и 5 русских букв, не вошедших в русский регистр Ш, Щ, Ч, Э, Ю. Таким образом, каждая из 26 знаковых комбинаций может передавать три знака. Например: комбинация 10101 может передавать цифру 6, буквы Y и Ы. Для перевода печатающего устройства на печать знаков того или иного регистра используются три комбинации ЛАТ, РУС, ЦИФ. Еще три комбинации используются для управления печатающим устройством: возврат каретки (ВК) <, перевод строки (ПС) ≡ и пробел.

Следовательно, все 32 комбинации полностью использованы, а 26 из них используются трижды. Полный состав кода МТК-2 приведен в табл.6.1.

Отсутствие избыточности кода МТК-2 и, как следствие, низкая помехозащищенность, является недостатком, препятствующим широкому внедрению в судовой телеграфной связи прямого УБПЧ с использованием МТК-2 в коротковолновых каналах связи. Повышение достоверности в современных системах цифровой связи может быть достигнуто применением помехозащищенных (избыточных) кодов и использованием специальных систем передачи цифровой информации. Большое значение в повышении достоверности имеют организационные мероприятия: выбор каналов связи, повышение качественных параметров каналообразующей аппаратуры, улучшение организации труда при обработке информации, автоматизация систем связи.

Поскольку наземные каналы связи используют код МТК-2, то практически все буквопечатающие телеграфные аппараты (телетайпы) рассчитаны на работу этим кодом, в том числе и телеграфные аппараты (ТА), используемые в качестве оконечных устройств на судовой радиостанции.

Для обеспечения достаточно высокой помехоустойчивости телеграфных сигналов в КВ радиоканале связи в соответствии с Рекомендациями 476-4, 491-1 и 625-1 МККР были созданы образцы аппаратуры повышен-

ной достоверности (АПД), обеспечивающие высокую степень верности цифровой (телеграфной) информации на судовых коротковолновых радиоканалах связи.

Таблица 6.1

Состав кода МТК-2

N п/п	МТК-2	МТК-3	ЛАТ	РУС	ЦИВ	Примечания
1	11000	0001110	А	А	–	
2	10011	1011000	В	Б	?	
3	01110	0100011	С	Ц	:	
4	10010	0011010	D	Д	Команда «Кто там?» (WRU?)	
5	10000	1001010	Е	Е	3	
6	10110	0010011	F	Ф	Э	
7	01011	0101001	G	Г	Ш	
8	00101	0110100	Н	Х	Щ	
9	01100	0100110	I	И	8	
10	11010	0001011	J	Й	Ю	
11	11110	1000011	К	К	(
12	01001	0101100	L	Л)	
13	00111	0110001	M	М	.	Точка
14	00110	0110010	N	Н	,	Запятая
15	00011	0111000	O	О	9	
16	01101	0100101	P	П	0	
17	11101	1000101	Q	Я	1	
18	01010	0101010	R	Р	Ч	Цифра 4 и буква Ч
19	10100	0010110	S	С	‘	Апостроф
20	00001	1101000	T	Т	5	
21	11100	1000110	U	У	7	
22	01111	1100001	V	Ж	=	Знак раздела
23	11001	0001101	W	В	2	

№ п/п	МТК-2	МТК-3	ЛАТ	РУС	ЦИВ	Примечания
24	10111	1010001	X	Ь	/	Дробная черта
25	10101	0010101	У	Ы	6	
26	10001	0011100	Z	З	+	
27	11111	1010010	Перевод на латинские буквы (ЛАТ)			
28	00000	1010100	Перевод на русские буквы (РУС)			
29	11011	1001001	Перевод на цифры (ЦИФ)			
30	00010	1110000	Возврат каретки (ВК) или (<)			
31	01000	1100100	Перевод строки (ПС) или (≡)			
32	00100	1100010	Пробел			
33		0000111	α, фазирующий сигнал 1			
34		0011001	β, сигнал холостого хода			
35		1001100	RQ, сигнал повтора, фазирующий сигнал 2			

Использование АПД позволило организовать работу судовой радиостанции в режиме радиотелекса с применением избирательного вызова (ИВ). Номера ИВ присваиваются всем судовым радиостанциям и крупным береговым радиостанциям.

Работа АПД основана на использовании избыточного, помехоустойчивого кода и специальной системы передачи/приема информации. Ниже рассматриваются общие принципы построения таких систем.

В наземных сетях передачи данных и при передаче данных по спутниковым каналам связи ИНМАРСАТ источником информации является персональный компьютер или телексный терминал, рассчитанный на использование кода МТК-5 (КОИ-7). Общее количество кодовых комбинаций МТК-5 составляет $N_{\text{общ}} = 2^7 = 128$. Код имеет два регистра – латинский и русский. В каждом из них возможна передача прописных и строчных букв, цифр, знаков препинания, символов и команд. Для безрегистравой передачи сообщений кодовые комбинации могут дополняться восьмым разрядом (0 при передаче символов латинского регистра и 1 – русского регистра). При необходимости для защиты от ошибок комбинации МТК-5 могут кодироваться вторично.

6.2. Помехоустойчивое кодирование

Для того чтобы сделать телеграфный код защищенным от помех, необходимо ввести в него избыточность, т.е. общее количество возможных

кодовых комбинаций должно быть больше разрешенных для использования. Ярким примером избыточного, неравномерного кода является код Морзе, где отдельные кодовые комбинации значительно отличаются друг от друга как содержанием, так и длительностью, но для автоматизированных систем неравномерный код неудобен.

Самым простейшим равномерным избыточным кодом, позволяющим обнаруживать ошибки, является код с проверкой на четность. Для того чтобы получить такой код, достаточно к каждой кодовой комбинации исходного кода добавить один проверочный разряд, который сделает количество единиц в кодовой комбинации четным числом. Проиллюстрируем это на примере кода МТК-5:

МТК-5	Код с проверкой на четность	
А – 1000011	10000111 – количество единиц четное	
Я – 1000111	10001110 –	– “–

Можно рассматривать такой код как самостоятельный 8-разрядный, у которого общее количество кодовых комбинаций $N_{\text{общ}} = 2^8 = 256$, но из них разрешенными для использования являются только $N_{\text{разр}} = 128$, у которых четное количество единиц. Все остальные запрещены. То есть все разрешенные комбинации обладают одним общим признаком – четность количества единиц.

Именно наличие общего признака у разрешенных кодовых комбинаций позволяет обнаруживать ошибки при приеме. Если при приеме кодовой комбинации обнаруживается нечетное количество единиц, кодовая комбинация считается ошибочной. При приеме разрешенной кодовой комбинации шестой проверочный разряд отбрасывается и исходная 7-разрядная комбинация МТК-5 выводится на печать.

Возможность выделить в составе избыточного кода исходный код и проверочные разряды позволяет назвать такой код делимым.

Обнаруживающие свойства кода невысоки. Код не позволяет обнаружить двойные, четверные, шестерные ошибки, при которых количество единиц остается четным, но комбинации приняты неверно. По этой причине код применяют на линиях связи с низким уровнем помех (кабельные линии связи).

Создание кодовой комбинации при передаче происходит путем поразрядного сложения по модулю 2 исходной кодовой комбинации и добавлением полученного результата в качестве проверочного разряда к передаваемой кодовой комбинации. Принятая кодовая комбинация также подвергается поразрядному сложению по модулю 2. Если результат сложения равен единице, то принятая комбинация считается неверной, если результат равен нулю, то прием считается верным, выделяется комбинация исходного кода и выводится на печать.

Алгоритм работы устройств защиты от ошибок (УЗО), использующих код с проверкой на четность, при передаче (а) и при приеме (б) показаны на рис. 6.1.

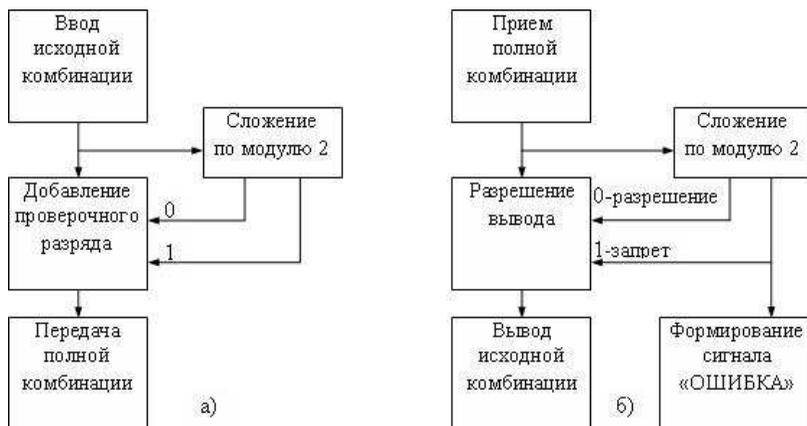


Рис. 6.1. Алгоритмы работы устройства защиты от ошибок, использующего код с проверкой на четность

Структурные схемы кодирующего и декодирующего устройств для 8-разрядного кода с проверкой на четность показаны на рис. 6.2.

При передаче в линию семи разрядов кодовой комбинации с выхода передатчика распределителя происходит их сложение по модулю 2 в схеме сумматора. В результате суммирования формируется проверочный разряд, передаваемый в линию в виде восьмой посылки.

При приеме происходит суммирование по модулю 2 семи информационных разрядов и сравнение полученного результата с проверочным (восьмым) разрядом принятой комбинации, и при их совпадении открывается ключевая схема, и исходная кодовая комбинация выводится на дешифратор.

Значительно лучшими обнаруживающими способностями обладает код с постоянным весом ("Код 3/4"), который получил название МТК-3 и рекомендован МККТТ для использования на судовых каналах радиотелекса.

МТК-3 является семиэлементным кодом, у которого $N_{\text{общ}} = 2^7 = 128$. Из общего количества кодовых комбинаций выбраны только такие, у которых количество единиц равно трем, а количество нулей – четырем. Всего разрешенных комбинаций, обладающих вышеуказанным общим признаком, 35. Это близко к количеству комбинаций МТК-2. В системе морского радиотелекса происходит полное перекодирование одного кода в другой (замена одной комбинации на другую), так как МТК-3 относится к разряду неразделимых кодов, и поэтому кодеры и декодеры УЗО строятся на базе

микропроцессоров. Кодовые комбинации МТК-3 приведены в табл. 6.1 совместно с кодом МТК-2. Комбинации α , β , RQ являются служебными. Практически код МТК-3 способен обнаруживать все варианты ошибок за исключением ошибок "замещения", когда в одной и той же кодовой комбинации ноль становится единицей, а единица – нулем, т. е. соотношение 3/4 не нарушается.

Как и в коде с проверкой на четность, защита информации от ошибок здесь осуществляется покомбинационно. Оба кода позволяют только обнаруживать ошибки, для исправления их система нуждается в переспросе.

Более подробно вопросы помехоустойчивого кодирования и принципы построения УЗО и систем передачи информации изложены в [27,29,62]. Кроме того, в последующих разделах рассмотрены вопросы помехоустойчивого кодирования с применением циклических и сверточных кодов.

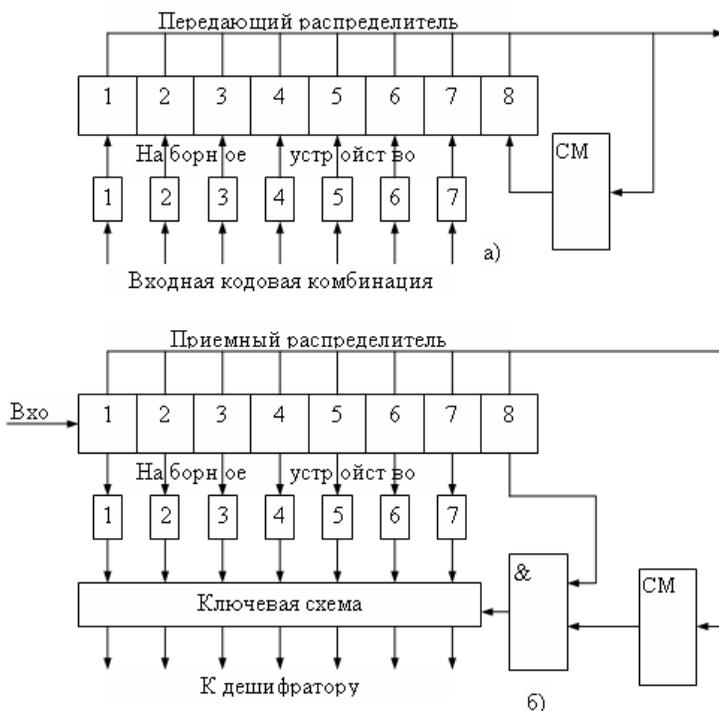


Рис. 6.2. Структурные схемы кодера (а) и декодера (б) с проверкой на четность

6.3. Системы передачи информации с обнаружением и исправлением ошибок

Такие системы могут использовать как простые безыбыточные коды, так и помехозащищенные коды с обнаружением ошибок. По методу построения делятся на системы с обратной связью и без обратной связи.

Системы без обратной связи, как правило, используют метод двух-трехкратного повторения кодовых комбинаций. Если используется простой, незащищенный от помех код, то повышение достоверности может быть получено при трехкратном повторении каждой комбинации с последующим выводом потребителю наиболее вероятной комбинации, определенной по методу голосования. Например, передана комбинация 11001. Приняты в результате трехкратного повторения:

10001 – 1-й результат

11101 – 2-й результат

01000 – 3-й результат

11001 – результат голосования по наибольшей вероятности выводится потребителю.

При использовании помехозащищенных кодов, позволяющих обнаруживать ошибки, можно ограничиться двукратным повторением кодовой комбинации. При этом потребителю выводится результат приема, в котором ошибка не обнаружена. В случае обнаружения ошибки в обеих комбинациях потребитель оповещается о наличии ошибки (на печать выводится знак * или делается пробел). Во избежание поражения одной помехой повторная передача кодовой комбинации может быть разнесена во времени.

Системы с обратной связью подразделяются на системы с информационной обратной связью (ИОС) и системы с решающей обратной связью (РОС).

Системы с ИОС могут также использовать простые коды. В них решение о продолжении передачи информации или повторении неверно принятой части информации принимает передающая станция. Структурная схема такой системы показана на рис. 6.3.

Вся переданная по прямому каналу информация возвращается обратно и сравнивается с переданной, т. е. идет процесс постоянного сравнения информации, переданной по прямому каналу, с возвращенной по обратному каналу. В случае обнаружения ошибки процесс передачи новой порции останавливается, производится повторение ошибочно принятой информации, и в случае отсутствия ошибки при проверке передача информации по прямому каналу возобновляется. Сравнивающее устройство обнаруживает практически любые ошибки за исключением зеркальных, когда ошибка в

прямом канале компенсируется ошибкой в обратном канале. Вероятность такой зеркальной ошибки очень мала, и ею можно пренебречь.

Система с ИОС позволяет получить максимальные скорости передачи информации, не требует обязательности помехозащищенных кодов, но требует постоянно загруженного обратного канала, что экономически нецелесообразно.



Рис. 6.3. Структурная схема системы передачи информации с ИОС:
ИИ – источник информации, ПИ – получатель информации

Более эффективными являются системы с РОС, в которых решение о передаче или повторении информации принимает приемная станция. Структурная схема такой системы приведена на рис. 6.4.

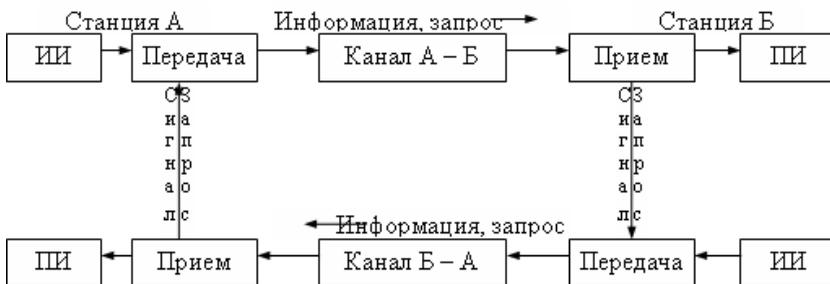


Рис. 6.4. Структурная схема системы передачи информации с РОС

В системах с РОС должен использоваться код, позволяющий обнаруживать ошибки. Система может быть дуплексной, как показано на рис. 6.4, и симплексной. В первом случае передача информации идет в обоих направлениях. Станция, обнаружившая ошибку, приостанавливает передачу информации и посылает на противоположную станцию сигнал запроса. Приняв запрос станция приостанавливает передачу новой порции

информации и повторяет неверно принятую информацию, которая также проверяется на наличие ошибки.

Степень защиты информации от ошибок в системах с РОС целиком определяется обнаруживаемыми свойствами кода. При рациональном выборе кода удастся повысить достоверность передачи на два-три порядка.

В симплексных системах "с ожиданием" передача информации ведется блоками (пакетами). Обратный канал используется для передачи в паузах между блоками квитирующих сигналов, подтверждающих безошибочный прием или запрашивающих неверно принятый блок. Для повышения достоверности блоки нумеруются, а в качестве квитирующих сигналов используются комбинации помехозащищенного кода, которые также проверяются на ошибку. Более подробно см. 6.5.

6.4. Судовая буквопечатающая аппаратура повышенной верности

В соответствии с рекомендацией МККР 625-2 судовые радиостанции для обеспечения радиотелекса на КВ используют буквопечатающую аппаратуру повышенной верности (БАПВ) (ARQ-модем), работающую в симплексном режиме с применением кода МТК-3. На отечественных судах установлена БАПВ различных фирм: отечественная БАПВ ДИСК, UTD-100 (Польша); STB-750 (Голландия); MX-80 (США) и др. Все разновидности БАПВ строятся на базе микропроцессорной технологии и работают по единому алгоритму. Структурная схема судовой БАПВ приведена на рис. 6.5.

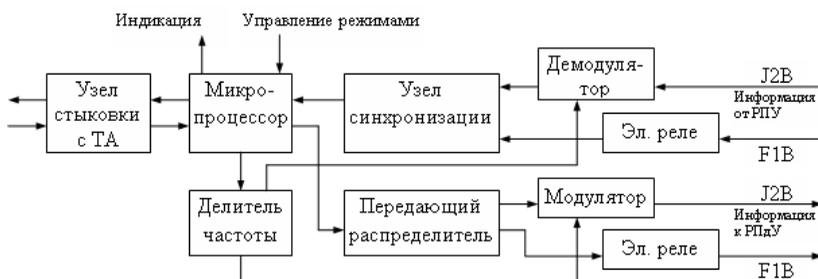


Рис. 6.5. Структурная схема БАПВ

Все функции обработки информации в соответствии с алгоритмом работы БАПВ осуществляются ЭВМ, которая сопрягается с оконечной и каналообразующей аппаратурой с помощью узлов сопряжения.

Узел стыковки с ТА обеспечивает преобразование последовательного стартстопного кода ТА (МТК-2) в пятиразрядный параллельный код при передаче и обратное преобразование – при приеме.

МикроЭВМ обеспечивает перекодирование МТК-2 в МТК-3 и, наоборот, проверку принимаемых комбинаций на ошибку, формирует необходимые режимы работы, сигналы телеуправления передатчиком, хранение информации в буферном накопителе, сигнализацию состояния БАПВ и прочее.

В процессе передачи параллельные кодовые комбинации МТК-3 выводятся на передающий распределитель, где преобразуются в последовательные, и в режиме F1B через электронное реле в виде импульсов постоянного тока поступают на блок частотной манипуляции передатчика. При работе в режиме J2B импульсы постоянного тока в схеме модулятора преобразуются в тонально-модулированные импульсы тока низкой частоты 1415 Гц – посылка, 1585 Гц – пауза и поступают на управление блоком однопольного сигнала передатчика.

При приеме происходит обратный процесс. Узел синхронизации обеспечивает синхронизацию работы передающей и приемной частей АПВ и преобразует последовательный код МТК-3 в параллельный.

Передние панели БАПВ и пульта дистанционного управления имеют световую сигнализацию состояния БАПВ.

Технические характеристики некоторых современных судовых БАПВ приведены в табл. 6.2.

Все виды судового БАПВ работают в рекомендованных МКТТ режимах А – ИВ ARQ (automatic request), Б – ЦВ FEC (forward error correction) и В – ИВЦВ SELFEC (selective calling forward error correction).

В режиме А (избирательный вызов) УЗО БАПВ работает с РОС (решающей обратной связью), а в режимах Б и В (циркулярный и избирательно циркулярный вызов) – без обратной связи.

Работу БАПВ в различных режимах удобно рассмотреть, используя временные диаграммы работы.

Таблица 6.2

Технические характеристики некоторых современных судовых БАПВ

№ пп	Технические характеристики	UTD-100	SCANCOM	DP-6
1	Конструкция	Аппаратный	Компьютерный	Аппаратный
2	Режим работы	ARQ, FEC, SELFEC, DIR	ARQ, FEC, SELFEC, DIR	ARQ, FEC, SELFEC, DIR
3	Вид излучения	F1B, J2B	J2B	J2B
4	Скорость ввода/вывода информации	50 Бод		50 Бод
5	Скорость обмена в канале связи	100 бод	100 бод	100 бод

№ пп	Технические характеристики	UTD-100	SCANCOM	DP-6
6	Вероятность ошибки в режиме ARQ при исходной вероятности $2 \cdot 10^{-2}$	$\leq 2 \cdot 10^{-4}$	$\leq 2 \cdot 10^{-4}$	$\leq 2 \cdot 10^{-4}$
7	То же в режимах FEC и SELFEC	$\leq 2 \cdot 10^{-3}$	$\leq 2 \cdot 10^{-3}$	$\leq 2 \cdot 10^{-3}$
8	Емкость буферного накопителя на передачу на прием	78 знаков 128 знаков	Возможности компьютера	Возможности компьютера
9	Наличие памяти	20000 знаков	То же	То же
10	Питающая сеть	220 VAC	24 VDC	24 VDC
11	Использование в р/с ГМССБ	Невозможно	Возможно	Возможно

6.5. Работа БАПВ в режиме ИВ (ARQ)

Вывод номера ИВ и вхождение в связь. Для ввода номера ИВ вызываемой станции нажимают кнопку «ВВОД ИВ» («SEL CALL») и с помощью ТА осуществляют ввод номера ИВ.

Затем, прослушав радиоканал и убедившись в том, что он не занят (береговая станция молчит или передает сигнал свободного канала), производят вызов нажатием кнопки «ПУСК ИВ» («START ARQ»).

В режиме ИВ передающая станция передает информацию блоками по 3 знака со скоростью 100 бод. При этом длительность знака 70 мс. Блок из трех знаков передается за 210 мс, тогда как ввод этих знаков с помощью ТА со скоростью 50 Бод длится 450 мс. В результате между блоками образуется пауза в 240 мс, используемая для передачи приемной станцией квитирующих сигналов длительностью 70 мс.

Цифры ИВ, введенные в АПВ, преобразуются в буквенный код, состоящий из четырех латинских букв в соответствии с кодовой таблицей, распределяются в два блока ИВ, где в качестве третьих элементов используются комбинации RQ. Процедура установления связи в режиме ИВ иллюстрируется диаграммой на рис. 6.б.

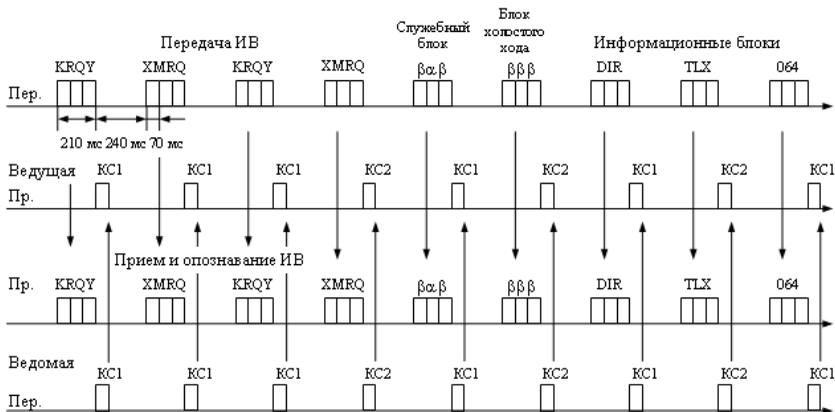


Рис. 6.6. Временная диаграмма процедуры установления связи в режиме ИВ (ARQ)

Станция-инициатор вызова передает блоки ИВ вызываемой станции. Приемная станция принимает блоки ИВ, проверяет их на ошибку и идентифицирует ИВ. Приняв безошибочно два следующих друг за другом блока ИВ, совпадающего с ее номером ИВ, приемная станция становится ведомой и передает первый квитирующий сигнал КС1. Передающая (ведущая) станция продолжает передачу блоков ИВ. Ведомая станция на каждый последующий блок ИВ выдает один и тот же КС1, так как в блоках ИВ содержатся комбинации RQ. Ведущая станция, приняв три подряд одинаковых КС, прекращает передачу блоков ИВ, передает служебный блок $\beta\alpha\beta$ и начинает передавать блоки информации или, если буферный накопитель пуст, блоки холостого хода $\beta\beta\beta$.

Передача информации и реакция на сбой. Работа БАПВ в процессе передачи информации иллюстрируется рис. 6.7. Прием информации от станции передачи информации (СПДИ) подтверждается квитирующими сигналами КС1 и КС2¹, которые чередуются друг с другом, если информация на станции приема (СПИ) принимается без ошибок. Если в информационном блоке при приеме обнаруживается ошибка, то СПИ передает повторно тот же КС, что и после предыдущего блока. СПДИ приостанавливает передачу нового информационного блока и повторяет предыдущий блок. В случае, если СПДИ обнаруживает ошибку в принятом КС, она также приостанавливает передачу нового информационного блока и запрашивает неверно принятый КС путем передачи блока, состоящего из

¹ Квитирующие сигналы КС1, КС2, КС3, используемые для передачи в обратном канале, представляют собой кодовые комбинации МТК-3. КС1–0101100, КС2–1010100, КС3–0110010.

трех комбинаций RQ. СПИ, приняв блок RQRQRQ, повторяет предыдущий КС.

При неритмичном поступлении информации от ТА свободные позиции в блоках заполняются сигналами холостого хода В. На время перезапросов информационных блоков или КС или передачи сигналов холостого хода вывод информации на печать СПИ блокируется, а в СПДИ блокировка ввода знаков происходит при заполнении буферного накопителя БАПВ.

Независимо от состояния (ведущая/ведомая) любая станция может перейти из СПДИ в СПИ и наоборот. Для этой цели используются сигналы перемены направления связи. Таким сигналом являются три последовательно переданные комбинации «ЦИФ» (перевод на цифровой регистр), «+», «?», всегда объединенные БАПВ в один блок. Сигнал перемены направления может быть передан с клавиатуры ТА, ленты трансмиттера или нажатием кнопки «ПН» («OVER»).

Перемена направления связи возможна по инициативе СПДИ. СПИ, приняв блок «ЦИФ +?», квитирует его очередным КС, передает блок $\beta\beta\beta$, в ответ СПИ передает КС3. СПДИ, получив КС3, передает служебный блок $\beta\alpha\beta$, приняв который СПИ переходит в режим СПДИ и выдает блок RQRQRQ, если она была ведущей, или одиночный RQ, если она являлась ведомой станцией. СПДИ, приняв блок из трех RQ, переходит в режим СПИ и квитирует его первым КС1. Произошла перемена направления связи. Обратный процесс осуществляется аналогично.

Если перемена направления связи необходима по инициативе СПИ, то достаточно нажать кнопку "ПН" ("OVER"). При этом СПИ выдает сигнал КС3, приняв который СПДИ выдает блок $\beta\alpha\beta$, и дальнейшее аналогично вышеописанному. Перемена направления иллюстрируется рис. 6.7.

При приеме 32-х подряд искаженных блоков, или блоков RQ, или 32-х подряд одних и тех же КС, или искаженных КС ведущая станция переходит в режим передачи ИВ ведомой станции, а ведомая – в ждущий режим, сохраняя при этом признаки, необходимые для восстановления связи. При восстановлении связи в течение 45-50 с комплекты БАПВ устанавливаются в состояния, в которых они находились до расфазирования. Потери информации не происходит.

Если в течение 45-50 с восстановления не происходит, то обе станции переходят в ждущий режим.

Для окончания сеанса связи необходимо нажать со стороны СПДИ кнопку «КОНЕЦ» («END»). В этом случае сразу после освобождения буферного накопителя передается служебный блок $\alpha\alpha\alpha$. Прием блока подтверждается очередным КС, и станция переходит в ждущий режим. При желании немедленно прекратить связь кнопку "КОНЕЦ" следует нажать дважды.

Автоответ ТА в режиме ИВ (ARQ) происходит при приеме сочетания знаков («ЦИФ», «Кто там?»). В этом случае СПДИ переходит в состояние СПДИ, выдает содержимое автоответчика ТА. После этого автоматически передает блок «ЦИФ +?» и переходит в режим СПИ.

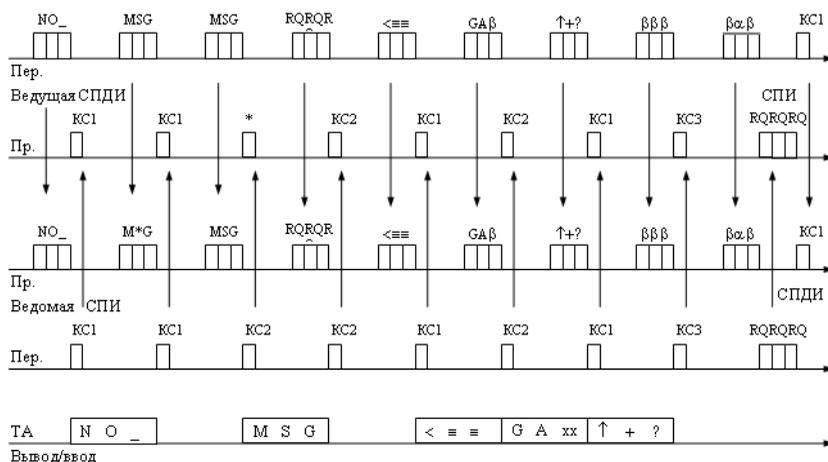


Рис. 6.7. Временная диаграмма передачи информации и перемены направления связи в режиме ИВ (ARQ)

Режим телеуправления судовой радиостанций. БАПВ в режиме ИВ предусматривает возможность телеуправления судовой радиостанцией. Для этой цели предусматривается система электронных ключей, срабатывающих при опознавании номера ИВ в начале обмена и при поступлении знака окончания ααα в конце обмена.

При соответствующем соединении БАПВ с органами управления радиостанцией и телетайпом производится автоматическое включение питания, рода работы и настройки радиопередатчика, запуск трансмиттера или памяти телетайпа сразу после опознавания БАПВ своего ИВ и выключения этих цепей сразу после поступления сигнала окончания сеанса связи. При этом предполагается, что радиоприемное устройство радиостанции, сама БАПВ и телетайп находятся в ждущем (дежурном) режиме. Информация, предназначенная для отправления с судна, должна быть заготовлена на ленте телетайпа, и лента установлена в трансмиттер или в памяти телекского терминала.

Таким образом, после приема своего ИВ от береговой радиостанции, БАПВ включает радиопередатчик и начинает отвечать на сигналы береговой радиостанции, принимать информацию, по команде перемены направления связи включает трансмиттер телетайпа или вывод информации из памяти терминала, передает свою информацию, получает от береговой

радиостанции подтверждение и по сигналу окончания выключает радиостанцию.

БАПВ «ДИСК» имеет режим «ХРАНЕНИЕ», удобный для автоматического обмена с использованием телеуправления. При нажатии кнопки «ХРАНЕНИЕ» в процессор БАПВ необходимо с помощью ТА ввести код, состоящий из пяти цифр, по желанию оператора (например, тот же номер ИВ), под которым информация будет храниться в буферном накопителе БАПВ. Информация не будет передана абоненту до тех пор, пока он перед командой перемены направления связи не передаст этот код в адрес судовой станции.

6.6. Работа БАПВ в режимах ЦВ (FEC) и ИВЦВ (SELFEC)

Режим ЦВ (FEC). В этих режимах осуществляется работа без обратной связи. СПДИ осуществляет непрерывную передачу знаков в адрес одной или нескольких станций, а СПИ осуществляет прием.

СПДИ передает каждый знак дважды: первый (позиция DX) – основная передача, второй (позиция RX) – повторная передача с интервалом 280 мс. Длительность знака 70 мс.

Работа БАПВ в режиме ЦВ (FEC) поясняется диаграммой, приведенной на рис. 6.8.

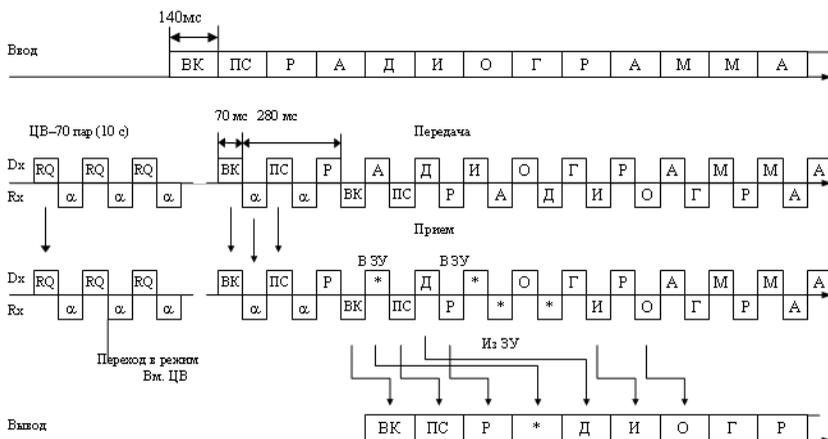


Рис. 6.8. Временная диаграмма работы БАПВ в режиме ЦВ (FEC)

Перед передачей информации передается в течение 10 с синхронизирующая последовательность, состоящая из чередования знаков RQ в позиции DX и α в позиции RX. Этот сигнал и является сигналом циркулярного вызова; всего выдается 70 пар RQ α .

Приемная БАПВ, находясь в состоянии дежурного приема, переходит в состояние ведомой ЦВ после приема последовательности RQ α RQ или α RQ α .

Для включения ТА на приемном конце любое передаваемое сообщение должно начинаться комбинациями «возврат каретки» (ВК) или «перевод строки» (ПС).

Для повышения информационной достоверности и уменьшения вероятности расфазирования СПДИ перед каждой комбинацией ВК или ПС выдает 4 пары сигналов RQ α , а после их передачи повторно выдает ту регистровую комбинацию, которая в последний раз была передана.

При неритмичной передаче информации позиции холостого хода также заполняются комбинациями RQ α , что позволяет уменьшить вероятность расфазирования и позволяет подключаться к приему информации на промежуточных стадиях.

Принятые СПИ знаки проверяются на ошибку. Знак, принятый в позиции DX, после проверки записывается в накопитель на три знака. Если при приеме знака в позиции DX обнаружена ошибка, то в накопитель записывается комбинация «пробел». К моменту приема знака в позиции RX на выходе накопителя оказывается этот же знак, принятый в порции DX. На печать выводится знак, принятый в позиции RX, если он верен. Если ошибка обнаружена при приеме знака в позиции RX, то на печать выводится знак из накопителя. Если оба знака искажены, выводится «пробел».

При длительных радиопомехах, поражающих свыше 30 подряд знаков, СПИ переходит в ждущий режим, если процент верно принятых знаков ниже 50.

Окончание сеанса связи происходит после передачи СПДИ трех знаков $\alpha\alpha\alpha$ при нажатии кнопки «КОНЕЦ» («END»).

Режим ИВЦВ (SELFEC). Работы БАПВ в режиме ИВЦВ(SELFEC) иллюстрируется диаграммой, показанной на рис. 6.9.

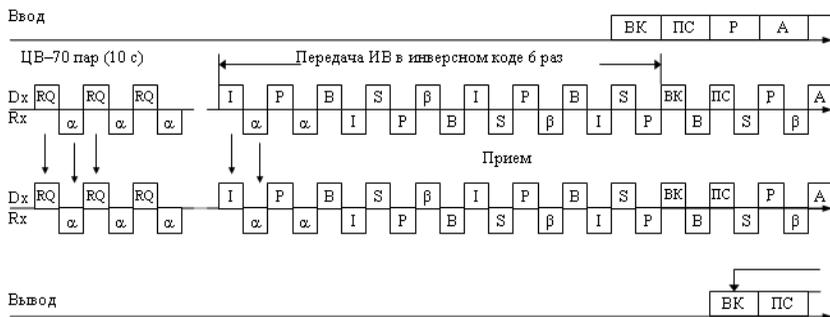


Рис. 6.9. Временная диаграмма работы БАПВ в режиме ИВЦВ (SELFEC)

На СПДИ перед началом работы вводится ИВ (SELL CALL) вызываемой станции, а затем производится ПУСК ИВ (START SELFEC).

Начало работы СПДИ в этом режиме полностью аналогично режиму ЦВ (FEC). После того как СПИ перейдет в режим ведомой ЦВ и закончится передача фазирующей последовательности, начнется передача номера ИВ вызываемой станции так называемым «инверсным» кодом, у которого соотношение единиц к нулям равно 4/3. ИВ передается в виде пятизначного блока, содержащего группу из четырех букв (аналогичную режиму ИВ) и сигнал β , используемый как разделитель. Вызов состоит из 6 последовательно передаваемых блоков. Следующая за блоками ИВ информация также передается инверсным кодом.

СПИ опознает свой ИВ и переходит в режим ведомой ИВЦВ (SELFEC). Прием информации происходит аналогично режиму ЦВ. В качестве сигналов холостого хода используются комбинации β .

Реакция на сбои и окончания сеанса аналогична режиму ЦВ. Режим ИВЦВ (SELFEC) может быть использован для передач «БЛИНД».

6.7. Процедура организации связи «судно-берег» с использованием БАПВ

В зависимости от степени автоматизации берегового радиопередатчика связь может быть установлена в ручном или автоматическом режимах.

Установление связи и обмен информацией с неавтоматизированным радиопередатчиком производится в следующем порядке.

Судовой оператор прослушивает частоты радиопередатчика и при наличии свободного канала (береговая радиостанция не излучает или передает сигнал свободного канала типа «DE UFL») производит вызов станции (вводит ИВ и производит пуск ИВ).

После установления связи производится обмен автоответами по инициативе судна или берега. После этого производится передача информации. Перед окончанием сеанса следует обмен автоответами по инициативе судна, и кнопкой «КОНЕЦ» («END») заканчивается связь.

Если необходимо выяснить наличие корреспонденции в адрес судна, приглашается оператор радиопередатчика. Для привлечения внимания оператора следует воспользоваться комбинацией Ю, которая включает звуковую сигнализацию на приемном аппарате, передавая ее несколько раз. Диалог с оператором ведется с клавиатуры ТА. Радиотелеграммы заготавливаются на ленте или в памяти ТА или БАПВ.

Автоматизированные радиопередатчики оборудованы ЦКС или ЦКК, которые представляют собой специализированную ЭВМ, способную накапливать информацию, обрабатывать, сортировать и коммутировать потоки информации на каналы наземной связи, а ЦКК позволяют осуществлять

прямое соединение радиоканала с наземными телексными каналами связи. Такой режим получил название «радиотелекс».

Связь судна с автоматизированными радиоцентрами, как правило, производится по рекомендованному МККР алгоритму (Рекомендация 492-5). Конкретные процедуры установления связи, обмена и окончания сеанса даются в Admiralty list of radio signals (volume 1, Coast radio stations). Вкратце процедура связи выглядит следующим образом.

Прослушав частоты АБРС (автоматизированной береговой радиостанции) и по наличию сигнала свободного канала определив свободный канал, судовой оператор производит вызов АБРС. После установления связи происходит автоматический обмен автоответами по инициативе АБРС. На ТА выводится «GA+?».

Если судно впервые обращается к услугам данной АБРС, то необходимо, передав код «OPR+», сообщить оператору АБРС данные о своей станции: название судна, номер ИВ, позывной, формат своего автоответа, код расчетной организации для ввода этих данных в ЭВМ АБРС. При необходимости уточнить процедуру установления связи можно, передав код «HELP+».

Наиболее важными видами услуг, которые предоставляются АБРС, являются: прямое телексное соединение с наземным абонентом телексной сети (DIRTLX); режим передачи телексного сообщения через "почтовый ящик", накопитель информации судна с последующей передачей сообщения абоненту телексной сети в удобное для АБРС время (TLX).

После установления соединения и получения команды GA+? судовой оператор вводит команду DIRTLX, код страны, телексный номер вызываемого абонента и «+» (знак окончания набора). АБРС отвечает кодом MOM (ждите) и производит соединение с наземным абонентом телексной сети. На ТА судовой радиостанции распечатываются дата, время, набранный номер, автоответ вызываемого абонента и команда MSG+?, что говорит о наличии соединения, или служебное слово, например OCC (абонент занят). В последнем случае необходимо повторить набор через некоторое время.

При получении команды MSG+? судно обменивается автоответами с абонентом телексной сети, осуществляет диалог или передает свое сообщение с ленты и вновь в конце сеанса обменивается автоответами. После этого передается команда, состоящая из четырех латинских букв К (KKKK). Происходит разъединение с телексным абонентом, но не с АБРС. АБРС производит обмен автоответами с судном, передает дату, время, ИВ и позывной судна, телексный номер абонента и продолжительность работы в сети. После этого вновь передается команда GA+?. Можно вновь набрать команду DIRTLX для связи с другим абонентом или любую другую команду из перечня команд (см. Admiralty list), которые обеспечивает данная АБРС. Например, команда MSG+ используется для получения из па-

мяти ЭВМ АБРС (из почтового ящика) сообщений, адресованных судну; TGM+ – для передачи обычных радиотелеграмм и т.д.

Каждая команда должна предваряться комбинациями ВК, ПС и переводом на латинский регистр.

Для разъединения с АБРС судовой оператор передает команду BRK+, и обе станции переходят в ждущий режим.

При использовании кода TLX также следует передать код страны и телексный номер абонента, которому адресовано сообщение, причем, как и в предыдущем случае, всё передается слитно, например:

DIRTLX072026336+ – команда на установление прямого телексного соединения с UNIORIENT TOKYO, где 072 – код Японии (0 – при работе через иностранные по отношению к Японии АБРС), 026336 – телекс фирмы, + – знак окончания набора.

TLX0571039108+ – команда на передачу телексного сообщения через почтовый ящик АБРС, где 057 – код Финляндии (0 – см. выше), 1039108 – телекс фирмы (судоверфь), + – см. выше.

6.8. Автоматические системы обработки телеграфной информации

Степень автоматизации радиоэлектронных средств морской подвижной службы определяется в основном степенью автоматизации береговых и судовых радиостанций. Так, например, внедрение системы МАРИТЕКС на радиостанции в Гетеборге (Швеция) с установкой на судах БАПВ, отвечающей Рекомендации 476-4 МККР, позволило полностью автоматизировать систему связи МПС этой страны, повысило эффективность использования КВ каналов в 3-5 раз.

Система МАРИТЕКС представляет собой построенную на базе ЭВМ полностью автоматизированную сеть для морского телекса. МАРИТЕКС управляется совместными усилиями Скандинавских стран: Дании, Финляндии, Исландии, Норвегии и Швеции. Сегодня система обслуживает суда более чем 30 стран.

Система МАРИТЕКС была внедрена в начале 70-х годов. В 1975 году на радиоцентре в Гетеборге была установлена ЭВМ, позволяющая повысить степень автоматизации процесса связи судов с наземными абонентами телексной сети. В 1986 г. к работе в системе подключилась радиостанция INTEL MAR RADIO в Панаме, а в настоящее время в систему входят радиостанции MANILA RADIO на Филиппинах и ARGENTINA RADIO. Это позволило сделать систему связи глобальной. Обе вспомогательные

станции находятся под прямым контролем Центральной компьютерной системы в GOTHENBURG RADIO.

Выход в телексную сеть осуществляется через центральную станцию в Швеции, поэтому всем судам системы МАРИТЕКС присвоены обычные телексные номера шведской серии 26000-26999. Суда рассматриваются как обычные абоненты телексной сети. Поэтому процедура для обмена в направлении «берег – судно» очень проста и идентична обычному международному телекстному обмену.

Посредством набора индивидуального телексного номера судна, которому предшествует код Швеции, абоненты во всем мире могут вносить сообщение в Центральную систему Гетеборг-радио. Система немедленно предпринимает попытки передачи избирательного вызова на нескольких КВ каналах. Приемник судовой радиостанции сканирует с периодом 5 с по шести рабочим частотам в разных участках КВ диапазона. Успешный вызов включает судовой радиопередатчик, который автоматически настраивается на излучение ответных сигналов. Происходит прием и распечатка сообщения на судне. Выбор вспомогательных береговых радиостанций МАРИТЕКС и направленных антенн полностью автоматический и основан на сообщениях о местонахождении, передаваемых с судов.

При передаче сообщения с судна на берег оператор по сигналу свободного канала определяет незанятый канал и производит вызов (START ARQ). После установления связи система МАРИТЕКС ведет от обмена автоответами и набора телексного номера до передачи сообщения и далее до окончания сеанса связи.

Для наземных абонентов в направлении «берег – судно» МАРИТЕКС обеспечивает полностью автоматизированный телекс с промежуточным накоплением сообщений в почтовом ящике судна с дальнейшей передачей его содержимого на судно в автоматическом необслуживаемом режиме.

В направлении «судно – берег» обеспечивается полностью автоматизированный телекс с промежуточным накоплением (TLX), полностью автоматизированный телекс с прямым соединением (DIRTLX), многоадресная телексная служба (MULTI). Дополнительно МАРИТЕКС предоставляет следующие услуги:

- письма МАРИТЕКС. Принятые в режиме радиотелекса и оформленные соответствующим образом письма направляются по почте с рабочего центра адресатам всего мира;
- передача сообщений по телефону. Принятые в режиме радиотелекса сообщения передаются по телефону адресатам Швеции, Дании, Финляндии и Норвегии.

МАРИТЕКС в циркулярном режиме (FEC) передает на суда сообщения, представляющие интерес для пользователей системы (изменения в работе системы и т. п.).

МАРИТЕКС может быть использован для передачи радиотелеграмм OBS (сообщения о погоде), AMVER (сообщения для береговой охраны США о местонахождении судна), MEDICO (запрос медицинской консульской помощи) бесплатно.

Процедура передачи с судна телексных сообщений соответствует Рекомендации 492-3 МККР.

Кроме системы МАРИТЕКС, действуют канадская система СНЕС, американские системы CURTS, MERCOMMS, позволяющие оценивать качество радиоканалов связи и на базе этой оценки осуществлять автоматизированную связь с судами.

В отечественной МПС в настоящее время действует автоматизированная система телеграфной связи. Автоматизированная система телеграфной связи строится на базе Центров коммутации сообщений установленных на береговых радиоцентрах Департамента морского транспорта и связанных между собой проводными каналами связи. Судам, работающим в этой системе, присвоены международные 5-значные, а АБРС 4-значные номера ИВ.

В качестве узлов автоматической коммутации АБРС используются ЦКС производства фирмы CASE (Великобритания). Общий принцип построения ЦКС – поэтапная коммутация сообщений по адресно-кодovому признаку корреспондента. При таком способе передача сообщений осуществляется поэтапно от источника сообщения до ближайшего ЦКС, не требуя соединения между вызывающим и вызываемым абонентами.

Применение ЦКС позволяет повысить оперативность, верность и надежность передачи информации; повысить коэффициент использования каналов связи; снизить производственные и эксплуатационные расходы и стоимость услуг связи; упростить технологию процессов передачи, обработки и приема сообщений.

В отличие от ЦКК, в ЦКС связь между входными и выходными каналами осуществляется через промежуточный накопитель информации. Передача не начинается до полного приема сообщения, которое в это время хранится в накопителе. Время между окончанием приема и началом передачи используется для анализа и контроля сообщений, их сортировки и распределения по выходным каналам. Основные операции ЦКС следующие:

- прием сообщений, анализ качества и соблюдения формата, запоминание сообщений по выходным каналам, организация очередей на передаче в канал в соответствии с категорией срочности и временем приема;
- передача сообщений в соответствии с установленной очередностью, контроль обработки, контроль линий связи;
- хранение обработанных сообщений;
- ведение журнала, обработка статистики трафика;
- поиск и повторение сообщений по запросу;

- автоматическая коррекция некоторых ошибок формата;
- вывод сообщений с ошибками в формате на специальные терминалы для вмешательства оператора;
- постоянная информация обслуживающего персонала об эксплуатационном и техническом состоянии ЦКС;
- обеспечение возможности вмешательства обслуживающего персонала для изменения эксплуатационного состояния центра;
- другие дополнительные услуги пользователям.

ЦКС представляет собой двоячную систему из специализированных вычислительных комплексов обработки сообщений, и общих цепей сопряжения с каналами связи и служебными терминалами. Структурная схема ЦКС показана на рис. 6.10.

Каждый вычислительный комплекс способен один выполнять все функции обработки сообщений, но необходимость защиты трафика требует реализации системы в виде двух независимых плеч А и В. Эти плечи идентичны, но одно плечо находится в рабочем режиме, т.е. принимает весь трафик, анализирует, запоминает организует очереди на передачу, а второе плечо находится в ждущем режиме на случай выхода из строя или сбоя первого. В этом случае происходит инициализация второго плеча и все данные сохраняются.

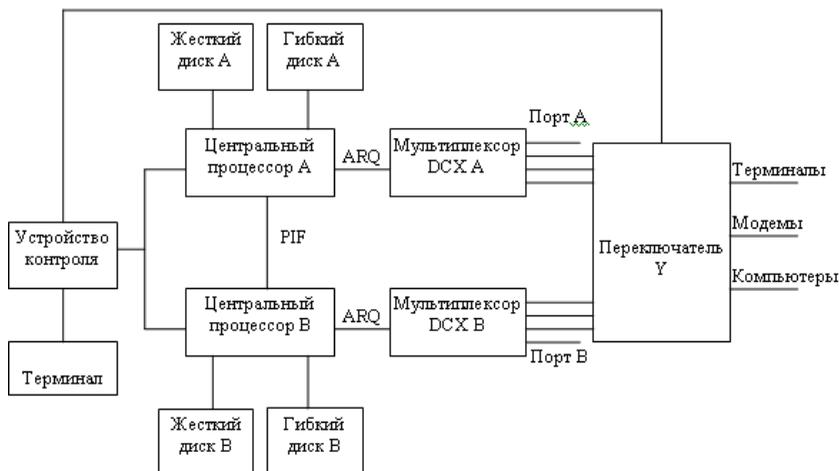


Рис. 6.10. Структурная схема ЦКС CASE

В системе предусмотрены средства, позволяющие вести постоянный контроль за работой плеч и осуществлять как ручную, так и автоматическую реконфигурацию системы, т. е. замену рабочей цепи резервной. Оба плеча системы имеют устройства преобразования телеграфных сигналов,

позволяющие подключить до 40 телеграфных каналов, посты операторов, до 3 телексных каналов, до 6 радиоканалов, служебные каналы, журналы центра, журналы постов коррекции и твердой копии, канал передачи данных через компьютерную сеть и один канал на Центральный телеграф (Москва). Конфигурация системы приведена на рис. 6.11. Цифрами обозначено количество каналов.

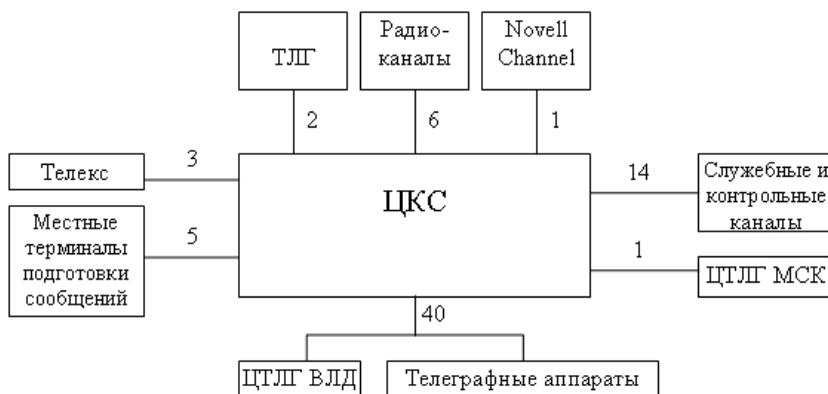


Рис. 6.11. Конфигурация системы

Основной процессор выполняет:

- сборку сообщений из знаков;
- анализ формата сообщения;
- направление сообщений в соответствии с указанным адресом;
- построение очередей в соответствии с категорией срочности и временем приема по каждому каналу;
- передачу сообщения;
- ведение журнала и архивацию сообщений;
- работу со своей периферией;
- работу с процессором второго плеча и его диском;
- распределение памяти и очищение ее и др.

Периферийный процессор аналогичен основному и отличается только емкостью внутренней памяти. Он работает с каналами связи и выполняет функции сборки знака при приеме, передачу знака с указанием номера канала основному процессору. При передаче получает от основного процессора знак с указанием номера канала и обеспечивает его передачу в канал. Периферийный процессор микропрограммирован.

Производительность основного и вспомогательного периферийного процессоров обеспечивает обработку двух входящих и четырех исходящих сообщений в секунду при средней длине 300 знаков.

Для обеспечения работы системы предусмотрено 14 служебных каналов. Структура служебных и контрольных каналов показана на рис. 6.12.

В ОЗУ хранятся сообщения до их передачи на диск или в канал, а также основные программы-резиденты, рабочие таблицы, а также зарезервирована часть ОЗУ для размещения программ и таблиц, вызываемых с диска. Накопитель на магнитных дисках состоит из контроллера диска и подключенных к нему двух дисков. Время доступа к диску 10 мс. Каждый диск имеет емкость 134 Мбайт.

На диске размещены все программы системы, рабочие таблицы, все сообщения, ожидающие передачи, "почтовый ящик" и около 5000 уже переданных сообщений для обеспечения повторения с диска часового трафика системы. Кроме того, контроллер обеспечивает доступ к диску процессора второго плеча системы.

Накопитель на магнитной ленте состоит из контроллера накопителя и подключенных к нему двух стримеров емкостью по 15 Мбайт. Магнитные ленты используются для записи в архив всех обработанных системой сообщений, для записи журнала системы.

Посты операторов состоят из персональной ЭВМ, с которой вводятся команды в систему, и принтера для вывода твердой копии работы.

Процедура обработки сообщений, прежде всего, определяется форматом сообщений, циркулирующих в сети. ЦКС строго следит за соблюдением формата. Подробно процедуры оформления радиотелеграмм и их передача в направлении «судно – берег» даны в [45] и [21].

Сообщение считается принятым, если нормально приняты признаки его начала и конца. После приема сообщения, записи его на диск, составления специальной таблицы, проверки маршрутного индекса программа начинает анализ адресных указателей, записанных в таблицу. Для каждого выходного канала программа организует очередь на передачу для каждой категории срочности в зависимости от времени приема сообщения.

В ЦКС используются четыре категории срочности сообщений, т.е. для каждого канала организуются 4 очереди по категориям срочности, и в каждой сообщения выстраиваются в зависимости от времени приема. Причем очередь организуется не из самих сообщений, а из тех таблиц, которые составляются для каждого сообщения. Если сообщение многоадресное, то оно будет стоять в нескольких очередях на передачу.

После обработки всех адресных указателей одного сообщения и внесения его в соответствующие очереди на передачу заканчивается первый этап обработки.

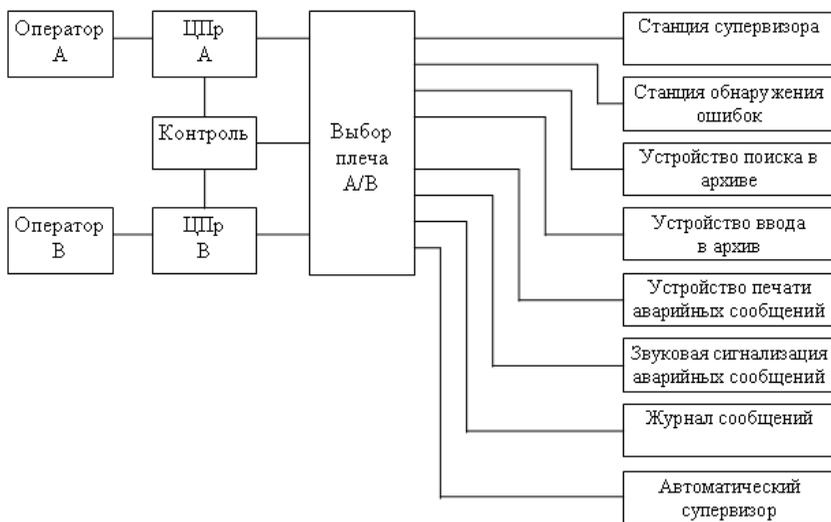


Рис. 6.12. Структура служебных каналов ЦКС

Передача сообщения производится с просмотра очередности на передачу по данному каналу, начиная с наивысшей категории срочности. Программа по данным таблицы для этого сообщения находит его адрес на диске и переписывает в ОЗУ. Для передачи каждого сообщения программа закрепляет для него так называемый счетчик распределения, в котором указывается, в скольких каналах надо передать это сообщение. При одноадресном сообщении в счетчике – единица, а при многоадресном и циркулярном – соответствующее число передач. После записи сообщения в ОЗУ программа формирует заново две первые строки сообщения в соответствии с форматом, указанным в разделе «формат», для каждой передачи этого сообщения и начинает передачу первых двух сформированных строк. В начале передачи в канал посылается сигнал для запуска приемного аппарата, стоящего на автостопе. После передачи двух первых строк производится передача текста и признака конца сообщения.

Каждому абоненту системы отводится определенный раздел на диске (почтовый ящик), куда записываются все предназначенные ему сообщения и куда абонент может также записать сообщения для передачи. Таким образом, обмен информацией упрощается. Возможности системы позволяют обслуживать через «почтовые ящики» до 5000 абонентов.

Глава 7. СЛУЖБА НАВТЕКС

7.1. Всемирная служба навигационных предупреждений

Для унификации системы передачи навигационной и метеорологической информации с целью обеспечения безопасности мореплавания в рамках Всемирной службы навигационных предупреждений (ВСНП) была организована служба навигационных предупреждений НАВАРЕА, обеспечивающая координацию передач навигационных предупреждений по радио всеми морскими государствами.

Этой службой предусмотрено деление Мирового океана на 16 морских географических районов. За каждым районом закреплен координатор – государство, осуществляющее сбор, анализ и передачу навигационной информации по данному району в виде предупреждений. Информация передается по расписанию не менее 2 раз в сутки на английском и национальном языках. Радиопередачи ведутся в КВ диапазоне в режиме излучения А1А. В зависимости от потребности судов и наличия оборудования используется режим буквопечатания. Зона действия передач охватывает как район НАВАРЕА, так и соседние районы на расстояние, которое может быть пройдено быстроходным судном за 24 часа (700 миль). В большинстве районов с интенсивным судоходством организованы региональные службы прибрежных предупреждений (ПРИП). Сбор, анализ и передачу по радио ПРИП осуществляют прибрежные страны – национальные координаторы. Эти предупреждения передаются в телефонном режиме R3E, телеграфном А1А и F1B.

Время передачи предупреждений в каждом районе НАВАРЕА устанавливается таким, чтобы обеспечить совпадение, по крайней мере, с одним периодом несения радиовахты. Кроме того, оно координируется со временем передач соседних или ближайших НАВАРЕА с целью приема предупреждений, передаваемых для нескольких соседних районов, в зависимости от курса судна и избегания помех при использовании одинаковых частот.

Координатор района в каждой стране, где имеется служба НАВАРЕА, получает информацию, содержащую предупреждения от национальных координаторов.

Россия является международным координатором района НАВАРЕА-ХIII с радиостанцией во Владивостоке и национальным координатором в районах Балтийского и Черного морей.

Существующая система передач навигационной и метеорологической информации не удовлетворяет в полной мере потребности мореплавателей и судовладельцев, и тем более она не отвечает требованиям ГМССБ.

Для повышения безопасности мореплавания Ассамблея ИМО утвердила Резолюцию А.525(13), определяющую рабочие характеристики оборудования для приема на судах навигационных и метеорологических предупреждений и срочной информации. Резолюция ИМО была принята на основе положительного опыта эксплуатации службы НАВТЕКС в пределах района НАВАРЕА-I. Позднее была принята Резолюция А.617(15), более полно характеризующая работу службы.

Служба НАВТЕКС в рамках ВСНП обеспечивает передачу предупреждений прибрежного действия.

Передача сообщений НАВАРЕА для района А3 в ГМССБ производится через систему спутниковой связи ИНМАРСАТ. Для этой цели используется расширенный групповой вызов (РГВ) судов, оснащенных станциями Стандарта-С. Внедряется коротковолновая система передачи информации по безопасности на море в районы А3 и А4 в режиме FEC радиотелекса. При этом сообщения должны приниматься полностью автоматическим многоканальным или сканирующим по частотам передачи радиоприемником, снабженным буквопечатающим устройством повышенной верности.

7.2. Характеристика службы НАВТЕКС

НАВТЕКС – международная служба, обеспечивающая передачу на суда навигационных и метеорологических предупреждений и другой срочной информации, связанной с безопасностью мореплавания и относящейся к прибрежным водам в радиусе до 400 миль от берега. В отличие от предупреждений НАВАРЕА, предназначенных для международного судоходства, сообщения НАВТЕКС содержат информацию, относящуюся ко всем типам и размерам судов, плавающих в обслуживаемом районе. Она также обеспечивает передачу метеопрогнозов и всех штормовых предупреждений, тогда как предупреждения НАВАРЕА включают только прогнозы по сильным штормам. Схема построения службы НАВТЕКС приведена на рис. 7.1.

Судовая приемная аппаратура системы НАВТЕКС обеспечивает выборочный прием сообщений, что позволяет судам получать только необходимую для безопасности информацию.

НАВТЕКС использует единую частоту 518 кГц, выделенную на глобальной основе для передач на английском языке. Для ведения передач на национальном языке выделена частота 490 кГц, а для передач в тропических и малообжитых районах – 4209,5 кГц.

Передачик береговой радиостанции должен обладать мощностью, достаточной для охвата района действия этой береговой радиостанции, и в

то же время взаимные помехи должны исключаться за счет ограничения мощности и координированного использования единой частоты.

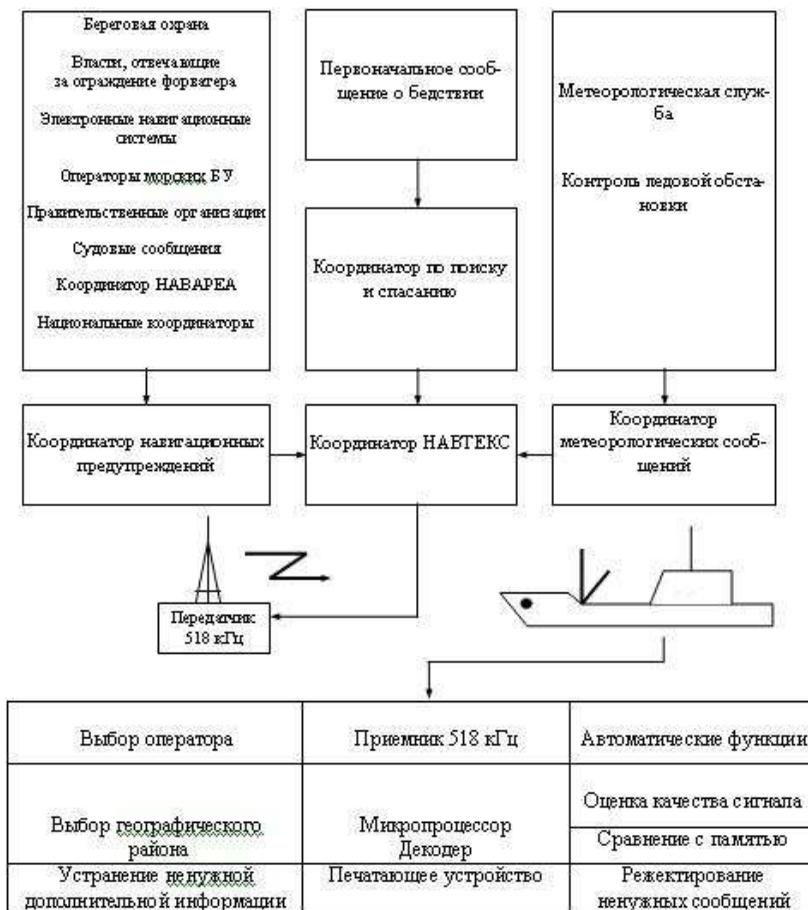
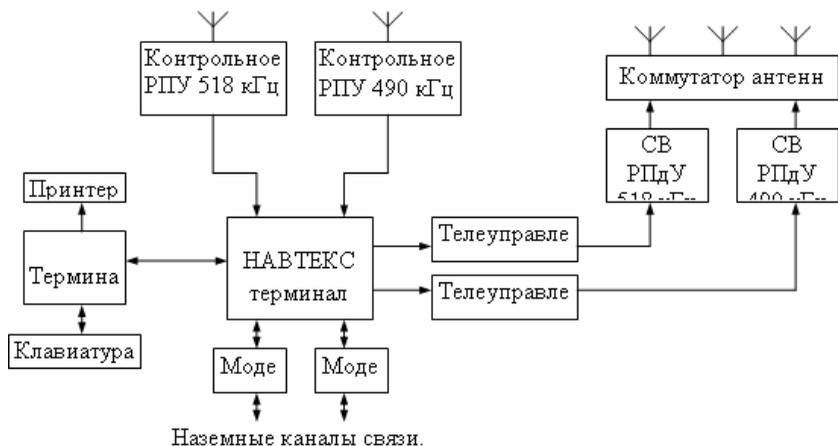


Рис. 7.1. Схема построения службы НАВТЕКС

Типовая структурная схема береговой радиостанции, обеспечивающей передачи службы НАВТЕКС, показана на рис. 7.2.



К национальному и международному координаторам

Рис. 7.2. Структурная схема береговой радиостанции службы НАВТЕКС

Информация, предназначенная для передачи, поступает от национального и международного координаторов НАВТЕКС по наземным каналам связи. Терминал управления обеспечивает накопление информации, формирует форматы сообщений, контролирует время и продолжительность передач, обеспечивает управление передатчиками и эфирный контроль передач. Рабочее место оператора (супервизора) оснащено персональным компьютером, позволяющим вести контроль работы системы. В общем случае такая станция может вести передачи как на международном (английском) языке, так и на национальном языке.

В каждом районе НАВАРЕА создается цепочка радиостанций, получающих свой буквенный опознавательный идентификатор (буквы латинского алфавита от А до Z). Распределение идентификаторов произведено так, чтобы максимально удалить друг от друга радиостанции, имеющие одинаковые идентификаторы в соседних районах НАВАРЕА (рис. 7.1). Кроме того, четко координируется расписание передач, приведенное на рис. 7.3.

Согласно расписанию каждый район НАВАРЕА делится на четыре района, обслуживаемых группой из шести передатчиков, работающих в течение 10 минут каждые 4 часа. Десятиминутное расписание передачи требуется только в исключительных случаях при наличии максимального количества передатчиков в группе.

Расписание, время UTC	Опознавательные знаки передатчиков (идентификаторы)																							
	Группа 1					Группа 2					Группа 3					Группа 4								
00 04 08 12 16 20	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
10 20 30 40 50 01 05 09 13 17 21	■																							
10 20 30 40 50 02 06 10 14 18 22							■																	
10 20 30 40 50 03 07 11 15 19 23													■											
10 20 30 40 50 04 08 12 16 20 24																			■					

Рис. 7.3. Принцип составления временного расписания передач службы НАВТЕКС

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество радиостанций службы НАВТЕКС. В дальневосточном регионе действует цепочка станций района НАВАРЕА-ХІ, приведенных в табл. 7.1.

Действующие отечественные станции в западном регионе: Архангельск-Ф, Мурманск-С, Новороссийск-А.

Планируется ввод отечественных станций службы НАВТЕКС в Дальневосточном регионе для района НАВАРЕА-ХІІІ: Владивосток-А, Холмск-В, Петропавловск-Камчатский-С, Магадан-Д, Беринговский-Е, Провидение-Ф.

Таблица 7.1

Станции района НАВАРЕА-ХІ

Страна	Место расположения	Буквенный идентификатор
Сингапур	Джилонг	С
Тайланд	Бангкок	Ф
Гонконг	Гонконг	L

Окончание табл. 7.1

Страна	Место расположения	Буквенный идентификатор
КНР	Далянь	R
	Шанхай	Q
	Гуанчжоу	N
	Жанянг	M
	Фучжоу	O
	Тяньжин	S
Япония	Куширо	K
	Модзи	H
	Наха	G
	Отару	J
	Йокогама	I
США	Гуам	V
Индонезия	Джакарта	E
	Джаяпура	A
	Амбон	B

Минимальные требования к характеристикам аппаратуры, используемой в службе НАВТЕКС, определены в приложениях к Резолюциям А.525(13) и А.617(15) ИМО. Основным требованием является соответствие аппаратуры Рекомендации 540-2 МККР, а передаваемых сигналов – сигналам буквопечатающего режима ЦВ (Рекомендации 625-2 МККР).

7.3. Формат сообщения службы НАВТЕКС

Формат сообщения службы НАВТЕКС должен иметь следующий вид:

Фазирующ. Сигналы >10 с	Начало переда- чи	Один пробел	Технический код	ВК и ПС	Сообщение	ВК и ПС
RQαRQα	ZCZC		B1B2B3B4	≡	Сообщение NNNN	≡

Здесь ZCZC – конец периода формирования, начало передачи;

B1 – буква латинского алфавита от A до Z, идентификатор передающей радиостанции;

B2 – признак вида информации, определяющий классы сообщений (буквы от A до Z), например:

A – навигационные предупреждения;

B – метеорологические предупреждения;

C – сообщения о ледовой обстановке;

D – информация по поиску и спасению;

E – метеопрогнозы и т. д.

Приемное устройство может быть настроено так, что исключается как прием ненужных станций, так и прием ненужных типов сообщений, но прием сообщений, обозначенных буквами A,B,D, и ряда других не исключается.

B3B4 – двузначный порядковый номер для каждого B2 начиная с 01 до 99.

Сообщения с номером 00 печатаются обязательно. Нумерация сообщений ведется отдельно для каждой передающей станции. Группы ZCZC B1B2B3B4, составляющие преамбулу, могут не печататься, так как используются только для запуска процессора и записи в память приемного устройства. Сообщение, печатаемое приемником, начинается с времени начала передачи, вторая строка сообщения указывает идентификатор серии, порядковый номер. Далее следует текст сообщения. В конце сообщения передается NNNN. Знаки сообщения, принятые с ошибками, выводятся на печать в виде звездочки *. Если уровень ошибок был слишком велик, в конце сообщения печатается NNN.

Пример сообщения службы НАВТЕКС, принятого от японской станции:

ZCZC KA10

131340 UTC APR 93

JAPAN NAVTEX N.W. NR 0464/1993

HONSYU, E COAST.

FOG SIGNAL AT SAME KADO LIGHT.

40-32.2N 141-34.8E, INOPERATIVE.

NNNN

7.4. Судовая приемная радиоаппаратура службы НАВТЕКС

Судовая аппаратура должна включать радиоприемник, блок обработки сигналов (процессор), печатающее устройство и устройство диагностики неисправности. Она должна иметь запоминающее устройство для запи-

си по крайней мере 30 идентификаций сообщений. Если число принятых идентификаций сообщений превышает объем памяти, самая старая идентификация стирается. Храниться в памяти должны лишь удовлетворительно принятые идентификации сообщений. Причем сообщение считается принятым удовлетворительно, если вероятность ошибок в приеме символа менее 4%. При принятии на судне информации о поиске и спасении должен включаться сигнал тревоги (звуковой и световой), и сброс этого сигнала должен быть возможен только вручную. В случае отключения питания от сети информация об идентификации передающей станции и виде сообщения не должна стираться в течение не менее 6 ч.

Чувствительность радиоприемника должна быть такой, чтобы при приеме сигнала от источника с ЭДС 2 мкВ, соединенного последовательно с активным сопротивлением 50 Ом, вероятность ошибки при приеме символа была не более 4%.

Печатающее устройство должно обеспечивать печатание в каждой строке не менее 32 символов. При автоматическом переводе строки с делением слова должен печататься знак переноса. После завершения печатания сообщения должна автоматически произойти подача бумаги.

Радиоприемные устройства НАВТЕКС выпускаются многими зарубежными фирмами, в частности JRC (Япония) – NCR-300A, STR Marine AB (Швеция) – PNW901 и т.д. Большинство из них рассчитано на прием одной частоты 518 кГц. Для приема второй частоты необходимо использовать внешний радиоприемник.

Наиболее распространенный на судах Дальневосточного региона радиоприемник службы НАВТЕКС PNW901 имеет два канала приема, один из которых рассчитан на прием частоты 518 кГц, а второй на прием национальной частоты в диапазоне 450...4500кГц. Предусмотрено подключение внешнего радиоприемника.

Прослушивание осуществляется путем сканирования частот по 2 с на канал. Предусмотрено сканирование в двух режимах: основной приемник (518 кГц) – встроенный национальный приемник, основной приемник – внешний приемник путем программирования процессора.

Предусмотрена печать сообщений, принятых по национальному встроенному или внешнему радиоприемнику на одном из четырех языков: английском, шведском, русском или греческом – путем программирования процессора.

Чувствительность основного и встроенного национального радиоприемников при 4% ошибок не ниже 2 мкВ (антенна 50 Ом). Центральная звуковая частота, поступающая с детектора, 1700 Гц.

Количество знаков в строке печатающего устройства 40 или 80 устанавливается при программировании путем изменения размера знаков (шрифта).

Предусмотрено составление программы для восьми районов НАВАРЕА, т.е. может быть выбран прием соответствующих станций для каждого района по признаку В2. Путем программирования можно исключить отдельные типы сообщений по признаку В2. Процедуры управления и программирования предельно просты и осуществляются с передней панели. Устройство имеет буферную память и снабжено аккумулятором, обеспечивающим питание (кроме печатающего устройства) в случае выключения бортовой сети.

Печатающее устройство использует чернильный метод записи на обычную бумагу.

Питание от сети 220 или 110 В 50–60 Гц.

Функциональная схема приведена на рис. 7.4. Сигнал с антенны поступает на входные цепи основного и национального приемников. Входные цепи защищены от перенапряжений газовыми разрядниками. Национальная частота преобразуется с помощью смесителя D51, кварцевого гетеродина V36 в частоту

518 кГц и после усиления поступает на коммутатор K15. При заказе приемника следует указывать значение частоты национального приемника, так как его гетеродин имеет кварцевую стабилизацию частоты. Международная частота 518 кГц после выделения входными цепями поступает на коммутатор K30. Управление коммутаций (сканированием) частот 518 кГц и национальной частотой производится импульсами длительностью 2 с с паузой 2 с, поступающими от микропроцессора (МП), коммутатор 1 (Микросхема D11) открывает и закрывает транзистор V13. В закрытом состоянии V13 отключает питание +10 В от национального приемника, выключает реле K15 и открывает транзистор V27. Получает питание реле K30, и сигнал национальной частоты поступает на вход X-фильтра частоты 518 кГц.

В открытом состоянии V13 включает питание на схему национального приемника, на реле K15 и запирает транзистор V27. Выключается реле K30 и включается реле K15. Сигнал национального приемника поступает на X-фильтр 518 кГц.

Выделенный фильтром сигнал усиливается и поступает на смеситель V66. Частота кварцевого гетеродина V85 4157,6 кГц делится на восемь в схеме делителя частоты D93 и поступает на смеситель V66.

В результате преобразования получается низкочастотный сигнал, среднее значение частоты которого равно 1700 Гц. После усиления он поступает на коммутатор 2. Коммутатор 2, управляемый импульсами МП, аналогичными импульсам, поступающим на коммутатор 1, обеспечивает сканирование приемника 518 кГц и внешнего приемника. Внешний приемник должен иметь выходной сигнал со средним значением частоты 1700 Гц.

Далее сигнал низкой частоты детектируется и в виде импульсов постоянного тока поступает для обработки в микропроцессор. После МП сообщение выводится на печать на принтер. Импульсы детектора посту-

пают также на индикатор приема, который управляет светодиодами SIG, индицирующими наличие сигналов.

С выхода коммутатора 2 сигнал низкой частоты поступает на коммутатор 3 и далее через УНЧ(Д225) для прослушивания на громкоговоритель. При поступлении сообщений с номером 00 или сообщений, имеющих идентификаторы А, В, D (В2), МП формирует сигнал включения коммутатора 3, включает лампу URG на передней панели и формирует тональный сигнал 2 кГц на коммутатор 3 для звуковой сигнализации.

Путем программирования МП можно включить/выключить громкоговоритель. При этом команда МП поступает также на коммутатор 3.

Глава 8. СИСТЕМА ЦИФРОВОГО ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ВЫЗОВА В ГМССБ

8.1. Характеристика системы

Как уже указывалось в главе 2, система цифрового избирательного вызова (ЦИВ) является неотъемлемой частью ГМССБ и в основном используется для передачи аварийных сообщений с судов, их последующего подтверждения береговыми радиостанциями и ретрансляции на береговые радиостанции аварийных сообщений, принятых другими судами.

Система прошла успешные испытания в 1983-1985 гг. в диапазоне ПВ, КВ, УКВ. Испытания показали большую вероятность правильного приема вызова, не ниже 85-90% на КВ и 96-99% на ПВ и УКВ на различных трассах в различное время суток.

Характеристики системы ЦИВ относительно судового оборудования определяются Рекомендациями 493-6 и 541-5 МСЭ, согласно которым Система обеспечивает ЦИВ судов и береговых радиостанций в СВ, ПВ, КВ и УКВ диапазонах. Требования к береговой составляющей системы ЦИВ определены Резолюцией А.801(19) ИМО.

Система ЦИВ основана на использовании адресного вызова судовых и береговых радиостанций. Во всех случаях, кроме вызовов "всем судам" и "бедствие", для вызова используются идентификаторы Морской подвижной службы (ИМПС) (MMSI – Maritime Mobile Service Identities), присваиваемые отдельным радиостанциям или группе радиостанций.

В соответствии с Приложением 43 Регламента радиосвязи ИМПС представляет собой десятичный номер, состоящий из девяти цифр, которые передаются с целью однозначного опознавания судовой или береговой радиостанцией или радиостанциями группы судов.

ИМПС судовой станции имеет следующий вид:

$M_1I_2D_3X_4X_5X_6X_7X_8X_9$, где $M_1I_2D_3$ (Maritime Identification Digits) – три цифры, обозначающие код страны, которой принадлежит судно (код России – 273). $X_4X_5X_6X_7X_8X_9$ – номер судовой радиостанции (X – любые цифры от 0 до 9).

Для группового вызова судов с общими интересами (суда одного флага или одного флота) используется ИМПС следующего вида:

$0_1M_2I_3D_4X_5X_6X_7X_8X_9$, где первая цифра 0, $M_2I_3D_4$ – код страны, $X_5X_6X_7X_8X_9$ – номер, присвоенный группе судов данной страны.

ИМПС береговых радиостанций образуются следующим образом:

$0_10_2M_3I_4D_5X_6X_7X_8X_9$, где первые две цифры являются нулями, $M_3I_4D_5$ – код страны, $X_6X_7X_8X_9$ – номер береговой радиостанции данной страны. Аналогичным образом строится ИМПС для группового вызова

береговых радиостанций, но в этом случае $X_6X_7X_8X_9$ – номер, присвоенный группе береговых радиостанций.

В диапазонах СВ, ПВ и КВ используются колебания F1B и J2B со сдвигом частоты 170 Гц при скорости 100 Бод. Средняя частота тона колебаний J2B равна 1700 Гц. Большая частота соответствует единичному биту, а меньшая – нулевому биту. Стабильность частоты не хуже ± 10 Гц, ширина полосы не более 300 Гц.

В диапазоне УКВ (метровые волны) для передачи используется частотная модуляция несущей сигналом низкой частоты 1700 Гц, который, в свою очередь, манипулируется цифровым сигналом с девиацией частоты ± 400 Гц, от 1300 Гц (нулевой бит) до 2100 Гц (единичный бит). Скорость манипуляции 1200 Бод.

Всемирная административная конференция по радиосвязи в 1987 году выделила в рамках ГМССБ для организации ЦИВ по поводу бедствия и безопасности следующие частоты: 2187,5; 4207,5; 6312; 8414,5; 12577; 16804,5 кГц (Регламент радиосвязи П 4681А) и 156,525 МГц.

Для осуществления ЦИВ, не связанного с бедствием и безопасностью, были выделены (Регламент радиосвязи П 4683) следующие частоты для судовых и береговых радиостанций:

Судовая радиостанция				Береговая радиостанция			
458,0	кГц			455,5	кГц		
2189,5	кГц			2177,0	кГц		
4208,0	4208,5	4209,0	кГц	4219,5	4220,0	4220,5	кГц
6312,5	6313,0	6313,5	кГц	6331,0	6331,5	6332,0	кГц
8415,0	8415,5	8416,0	кГц	8436,5	8437,0	8437,5	кГц
12577,6	12578,0	12578,5	кГц	12657,0	12657,5	12658,0	кГц
16805,0	16805,5	16806,0	кГц	16903,0	16903,5	16904,0	кГц
16898,5	16899,0	16899,5	кГц	19703,5	19704,0	19704,5	кГц
22374,5	22375,0	22375,5	кГц	22444,0	22444,5	22445,0	кГц
25208,5	25209,0	25209,5	кГц	26121,0	26121,5	26122,0	кГц
156,525 МГц				156,525 МГц			

Частота 2177 кГц судовыми радиостанциями может быть использована только для межсудового вызова. Частота 156,525 кГц в диапазоне УКВ (70-й симплексный канал) используется как для вызовов в случаях бедствия и безопасности, так и для вызовов, не связанных с ними.

Кроме того, парные частоты (для судовых/береговых радиостанций) 4208/4219,5 кГц; 6312,5/6331 кГц; 8415/8436,5 кГц; 12577,5/12657 кГц; 16805/16903 кГц; 16898,5/19703,5 кГц; 22374,5/22444 кГц и 25208,5/26121 кГц в соответствии со Статьей 62 Регламента радиосвязи являются международными частотами первого выбора для ЦИВ.

Помимо перечисленных частот для ЦИВ можно использовать и соответствующие рабочие частоты в диапазонах СВ, ПВ, КВ и УКВ.

8.2. Технический формат вызова и эксплуатационные процедуры

Технический формат вызывной последовательности в системе ЦИВ показан на рис. 8.1.

Формат состоит из преамбулы (1,2), используемой для фазирования, адресной части (3-6), информационных полей (7) и окончания (8,9).

Учитывая, что в системе ЦИВ используются вызовы различных типов (вызовы – оповещения о бедствии и безопасности, вызовы общего характера для обмена общественной корреспонденцией, а также информацией, относящейся к эксплуатации судна), длительность формата может быть в пределах 6,2-7,2 с на СВ, ПВ, КВ диапазонах (скорость 100 Бод) и 0,45-0,63 с на УКВ диапазоне (скорость 1200 Бод).

Для повышения вероятности правильного приема вызывного формата, кроме использования помехоустойчивого кодирования, вызовы, связанные с бедствием и безопасностью, повторяются пять раз на одной частоте или одновременно на нескольких частотах (до шести) на СВ, ПВ и КВ диапазонах.



Рис. 8.1. Технический формат ЦИВ

В соответствии с Рекомендацией 493-6 МСЭ, которая определяет технические характеристики, система ЦИВ является синхронной. Вызывные формализованные последовательности передаются с использованием десяти-

тиразрядного двоичного кода с обнаружением ошибок определенного формата. Используемый код относится к классу разделимых кодов. В нем информационными являются первые семь бит, а три последние бита – проверочными. Проверочные биты представляют собой двоичное число, соответствующее количеству нулей в первых семи информационных битах. При передаче семи информационных бит первым передается бит младшего разряда, а при передаче трех проверочных бит – бит старшего разряда. При построении кодовой таблицы для обозначения единицы используется символ Y, а для обозначения нуля – символ V.

Кодовая таблица используемого кода содержит $2^7 = 128$ кодовых комбинаций, некоторые из них в порядке передачи приведены ниже.

Номер комбинации	Кодовая комбинация										Двоичное число	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	V	V	V	V	V	V	Y	Y	Y			000000111
01	Y	V	V	V	V	V	Y	Y	V			100000110
02	V	Y	V	V	V	V	Y	Y	V			010000110
03	Y	Y	V	V	V	V	Y	V	Y			110000101
04	V	V	Y	V	V	V	Y	Y	V			001000110
..	
126	V	Y	Y	Y	Y	Y	V	V	Y			011111001
127	Y	Y	Y	Y	Y	Y	V	V	V			111111000

Комбинации от 00 до 99 используются для кодирования двух десятичных цифр, соответствующих их номеру, а комбинации от 100 до 127 для кодирования служебных команд.

Каждая кодовая комбинация вызывной последовательности (кроме последовательности точек) передается дважды – первый раз в позиции DX, а затем второй раз в позиции RX через промежуток времени, равный передаче четырех кодовых комбинаций (рис. 8.2). Это обеспечивает возможность прямой коррекции ошибок при приеме без обратной связи подобно режиму FEC в КВ каналах радиотелекса.

Рассмотрим более подробно структуру технического формата вызывной последовательности ЦИВ.

1. Последовательность точек сигнализирует о начале вызывной последовательности. Передается 200 бит в ПВ/КВ диапазонах (100 Бод) при вызовах «бедствие», ретрансляции и подтверждении вызова «бедствие» и при всех прочих вызовах, направленных в адрес судовой станции. Используется для управления сканирующими судовыми радиоприемниками, которые обеспечивают последовательный прием нескольких частот. Сканирование частот в радиоприемном устройстве производится в течение 2 сек. При обнаружении точек приемное устройство прекращает сканирование и производит прием на той частоте, на которой была принята последовательность точек. На береговых радиостанциях сканирование не рекомен-

дуются. Каждой частоте соответствует отдельный приемник, или должен использоваться многоканальный приемник.

Для всех последующих форматов подтверждения приема и ретрансляции принятых сообщений (исключая Distress Ack и Distress Relay Ack) и для всех вызывных последовательностей, направленных в адрес береговых радиостанций в ПВ/КВ диапазонах, и для всех типов вызывных последовательностей в УКВ диапазоне передается 20 бит для обозначения начала вызывной последовательности. Это объясняется тем, что в этих случаях режим сканирования не используется.

2. Фазирующая последовательность содержит информацию для приемника, позволяющую корректировать фазы бит и однозначно определять позицию кодовой комбинации в вызывной последовательности. Ознакомление с характером синхронизации достигается с помощью кодовых комбинаций, признанных наиболее верными, т. е. принятых без ошибок.

Фазирующая последовательность состоит из специальных кодовых комбинаций, передаваемых поочередно в позициях DX и RX (рис. 8.2). В позиции DX передается 6 комбинаций номер 125, а в позиции RX 8 комбинаций номер 111, 110, 109, 108, 107, 106, 105 и 104. Фазирование считается состоявшимся, когда будут приняты подряд три безошибочных комбинации в чередующихся позициях DXRXDX или RXDXRX или три подряд безошибочных комбинации в позиции RX из состава фазирующей последовательности.

3. Обозначение формата передается в виде двух одинаковых кодовых комбинаций, передаваемых поочередно в позициях DX и RX (рис. 8.2). Состав комбинаций обозначения формата иллюстрируется табл. 8.1.

Последовательность точек	DX/RX Фазирующая последовательность	A Обозначение формата 2 одинаковых комбинации	B Адрес 5 комбинаций	C Категория 1 комбинация	D Идентификатор передающей радиостанции 5 комбинаций	→
--------------------------	--	---	----------------------------	--------------------------------	--	---

→	E Телекоманды 1 и 2 2 комбинации	F Частота 3 комбинации	G Частота 3 комбинации	H Конец сообщения 3 одинаковых комбинации в DX и 1 в RX	I Знак проверки верности приема 1 комбинация
---	---	------------------------------	------------------------------	---	---

а) технический формат типового обычного сообщения

Последовательность точек	DX	DX	DX	DX	DX	DX	A	A	B1	B2	B3	B4	B5	C	D1	→
	RX	0	A	A	B1	B2	B3	B4								

→	D2	D3	D4	D5	E1	E2	F1	F2	F3	G1	G2	G3	H	H	H	I
	C	D1	D2	D3	D4	D5	E1	E2	F1	F2	F3	G1	G2	G3	H	

Рис. 8.2. Конструкция вызывной последовательности

Таблица 8.1

№ комбинации	Обозначение формата
112	Вызов «бедствие»
116	«Всем судам»
<i>Избирательный вызов в адрес:</i>	
120	– одной станции
102	– группы судов в заданном географическом районе
114	– группы судов, имеющих общий интерес
123	Полуавтоматическая/автоматическая служба

4. Адрес. Вызовы «бедствие» и «всем судам» не имеют адреса в отличие от всех других вызовов и адресованы всем радиостанциям. Для избирательного вызова, направленного на одну радиостанцию или группу станций, адрес состоит из номера ИМПС, передаваемого как пять цифровых кодовых комбинаций (00...99) в соответствии с табл. 8.2.

Таблица 8.2

Цифры для обозначения разрядов									
N·10 ⁹	N·10 ⁸	N·10 ⁷	N·10 ⁶	N·10 ⁵	N·10 ⁴	N·10 ³	N·10 ²	N·10 ¹	N·10 ⁰
Ц2	Ц1	Ц2	Ц1	Ц2	Ц1	Ц2	Ц1	Ц2	Ц1
Комбинация C5		Комбинация C4		Комбинация C3		Комбинация C2		Комбинация C1	

Каждая кодовая комбинация передает два числа (разряда) ИМПС. Как уже было показано выше, ИМПС представляет собой 9 цифр

$$M_1I_2D_3X_4X_5X_6X_7X_8X_9,$$

которые объединяются парами (последняя, десятая, цифра всегда ноль)

$$(M_1I_2)(D_3X_4)(X_5X_6)(X_7X_8)(X_9 0)$$

и передаются с помощью комбинаций C5, C4, C3, C2, C1.

Для избирательного вызова, направленного группе судов в определенном географическом районе, передаются географические координаты района в меркаторской проекции в виде широты и долготы верхнего левого угла прямоугольного района (реперная точка) и девиации широты и долготы (рис. 8.3).

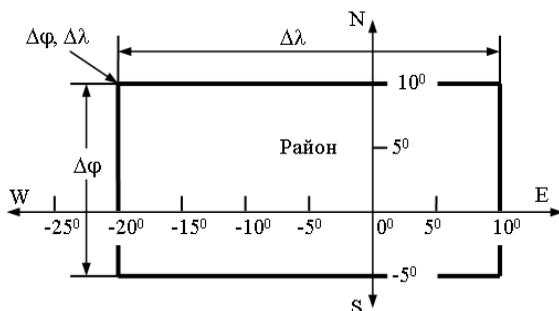


Рис. 8.3. К определению координат географического района

Передача кодируемых данных производится в соответствии с диаграммой, показанной на рис. 8.4.

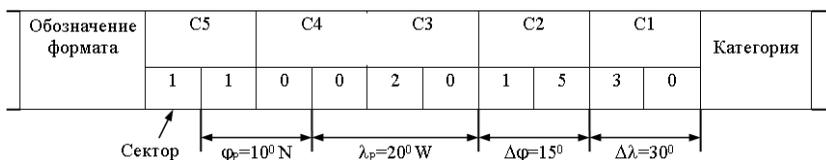


Рис. 8.4. Диаграмма формирования координат географического района

Для передачи десяти цифр используются пять кодовых комбинаций C5, C4, C3, C2, C1 (00...99). Цифра, соответствующая сектору, в котором находится реперная точка, может принимать значения 0, если реперная точка находится в квадранте NE, 1 – для квадранта NW, 2 – для квадранта SE и 3 – для квадранта SW.

5. Категория сообщения передается с помощью одной кодовой комбинации, передаваемой в позициях DX и RX. Для обозначения категорий используются комбинации, приведенные в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Номер комбинации	Категория
112	Бедствие
110	Срочность
108	Безопасность
106	Деловая
100	Обычная

6. Идентификатор передающей радиостанции (самоидентификатор) представляет собой ИМПС передающей радиостанции и кодируется и передается аналогично ИМПС вызываемой радиостанции (см. п. 4).

7. Сообщение, если оно является сообщением о бедствии, состоит из четырех частей: характер бедствия, координаты места бедствия, время бедствия или передачи сообщения, вид последующей связи.

Характер бедствия передается с помощью одной кодовой комбинации, координаты места бедствия передаются с помощью пяти кодовых комбинаций, время – с помощью двух комбинаций, вид последующей связи с помощью одной комбинации. Для передачи координат и времени используются комбинации 00...99 в соответствии с рис. 8.5 и 8.6. Комбинации, используемые для передачи характера бедствия и вида последующей связи, приведены в табл. 8.4.

Цифра, соответствующая сектору в сообщении 2 о координатах места бедствия, формируется аналогично разделу 4. Если координаты места бедствия не были введены, то сообщение 2 будет состоять из цифр 9, переданных десять раз. Если время не установлено, то автоматически передаются цифры 3333.

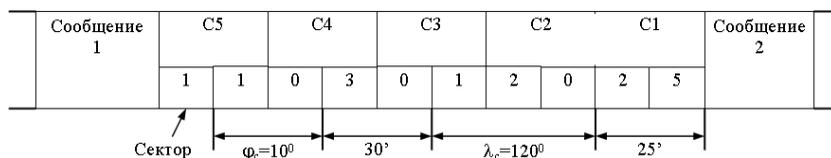


Рис. 8.5. Диаграмма формирования сообщения 2 о координатах места бедствия

Для других типов вызовов, кроме «Distress relay», «Distress relay acknowledgement» и «Distress acknowledgement», в вызывную последовательность включаются два сообщения.

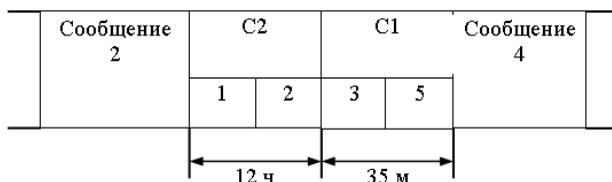


Рис. 8.6. Диаграмма формирования сообщения 3 о времени

Сообщение 1 состоит из двух телекоманд, передаваемых с помощью двух кодовых комбинаций: телекоманда 1 характеризует вид запрашиваемой связи; телекоманда 2 передает дополнительную информацию или сигнализирует о невозможности осуществления связи.

Сообщение 2 может содержать информацию о каналах или частотах, на которых будет производиться связь, или координатах судна, передается с помощью шести кодовых комбинаций (два значения частоты или канала или координаты). Кодирование координат производится аналогично вышеописанному, а принцип кодирования частот и каналов иллюстрируется рис. 8.7.

Если в сообщении указываются координаты судна, то за сообщением 2 следует сообщение 3 о времени (UTC) ввода координат. Кодирование времени производится аналогично вышеописанному.

Вызывная последовательность, передаваемая для установления полуавтоматического/автоматического соединения с наземным абонентом (признак формата 123), кроме сообщений 1 и 2, также содержит сообщение 3, которое представляет собой номер абонента, состоящий из девяти цифр и кодируемый по принципу, показанному в табл. 8.2.

8. Конец сообщения (EOS) передается с помощью одной кодовой комбинации, передаваемой трижды в позиции DX и один раз в позиции RX. Используются комбинации 117, 122 и 127.

9. Знак для проверки верности (Error-check character) приема представляет собой кодовую комбинацию, используемую для выявления пропущенных ошибок в вызывной последовательности. Семь информационных бит комбинации ЕСС получаются в результате поразрядного сложения по модулю 2 всех информационных кодовых комбинаций, содержащихся в вызывной последовательности. К информационным комбинациям относятся все комбинации начиная от признака формата до комбинации "конец сообщения". Три проверочных бита комбинации ЕСС формируются по общему правилу. Комбинация ЕСС также передается в позициях DX и RX.

Таблица 8.4

№ комбинации	Сообщение 1	Сообщение 2
	Характер бедствия	Вид последующей связи
100	Пожар/взрыв	F3E/G3E (УКВ) симплекс
101	Пробоина, затопление	F3E/G3E (УКВ) дуплекс
102	Столкновение	
103	Посадка на мель	
104	Крен, опасность опрокидывания	
105	Погружение	
106	Повреждение/дрейф	
107	Неопределенный вид бедствия	

№ комбинации	Сообщение 1	Сообщение 2
	Характер бедствия	Вид последующей связи
108	Покидание судна	
109		J3E (радиотелефон)
111		H3E (радиотелефон 2182 кГц)
112	Излучение АРБ	
113		F1B/J2B FEC (радиотелекс)
115		F1B/J2B ARQ (радиотелекс)
123		A1A Морзе (ключ)
124		F1C/F2C/F3C (факсимиле)
126		Нет информации

* при передаче номера УКВ канала используются только четыре цифры, передаваемые комбинациями 2 и 1.

Частота ПВ/КВ, кГц	N·10 ⁴					
Номер канала*	X	X	X	X	X	X
	Комбинация 3		Комбинация 2		Комбинация 1	

Рис. 8.7. Принцип кодирования частот и каналов связи в сообщении 2

8.3. Судовое оборудование ЦИВ

Оборудование ЦИВ, выпускаемое рядом зарубежных фирм, имеет единый алгоритм работы, отвечающий рекомендациям МККР.

В диапазоне ПВ и КВ судовое оборудование ЦИВ состоит из сканирующего приемника и контроллера с встроенным дисплеем и печатающим устройством. Печатающее устройство, как правило, выносное и может быть общим с телексным терминалом. Выпускаются отдельные радиоприемники для ПВ диапазона на одну частоту и ПВ/КВ диапазона на шесть частот со сканированием.

Контроллер ЦИВ может входить в состав ПВ/КВ радиостанции или в состав телексного модема с общим для них принтером.

Контроллер ЦИВ УКВ отличается скоростью передачи сообщений и, как правило, имеет встроенный или отдельный радиоприемник 70 канала, но мо-

жет быть предусмотрено подключение его к УКВ радиостанции, осуществляющей дежурство (методом сканирования) на 70-м и 16-м каналах.

Выполненный в виде самостоятельного блока контроллер ЦИВ состоит из модема, включающего микропроцессор, модулятор и демодулятор, и устройства сопряжения с дисплеем и принтером. На передней панели имеется наборное поле клавиш и выходные устройства сигнализации.

Координаты судна вводятся в контроллер от навигационной аппаратуры или вручную при формировании сообщения.

После приема вызова устройство ЦИВ включает звуковую сигнализацию, а информация, содержащаяся в принятом формате, отображается на дисплее, записывается в память или выводится на печать. Принятые форматы ЦИВ могут храниться в памяти до вывода их на печать. При приеме форматов ЦИВ, не связанных с бедствием и безопасностью, устройство ЦИВ автоматически формирует и по команде оператора передает формат подтверждения о приеме. При формировании сообщений ЦИВ, не связанных с бедствием, в формат ЦИВ могут быть введены сообщения, указывающие на необходимые виды связи, номера абонентов, с которыми требуется установить связь, границы района, в который передается групповой вызов, значения частот, на которых необходимо установить связь и т.п. Содержание формата программируется клавишами наборного поля контроллера.

Передача формата ЦИВ в случае бедствия производится нажатием кнопки «DISTRESS» или «SOS» на передней панели. С помощью клавиатуры в формат вызова предварительно можно ввести дополнительную информацию о бедствии. После нажатия на кнопку передача формата о бедствии повторяется автоматически через интервал длительностью около 4 мин до получения подтверждения о приеме аварийного формата любой радиостанцией или до выключения оператором.

С помощью клавиатуры наборного поля передней панели оператор может формировать содержание вызывной последовательности.

ЗУ ЦИВ модема может хранить идентификаторы береговых и судовых радиостанций, с которыми оператор поддерживает связь, сокращенные форматы различных вызовов в системе ЦИВ и т. п.

В качестве примера рассмотрим ЦИВ контроллер DSC9000, выпускаемый датской фирмой SKANTI. Контроллер предназначен для работы в ПВ и ПВ/КВ диапазонах.

Внешний вид передней панели контроллера показан на рис. 8.8.

Технические характеристики контроллера следующие:

Род работы	F1B/J2B
Скорость	100 Бод
Модулирующая частота при работе J2B	1700 ₋₇ + ₀ 85 Гц
Код процессора	10-разрядный код с коррекцией ошибок, соответствующий

Рекомендации МККТТ 493-3

Дисплей

ЖК, 4 строки, 160 знаков

Питание

24 В постоянного тока

Функции клавиш управления:

Supply – включение питания, для включения нажать кнопку и On/Off удерживать более 6 сек;

Distress – выбор режима «бедствие», для подачи сигнала бедствия удерживать в нажатом состоянии более 6 сек;

Call – для составления сообщения вызова, а также для передачи и составленного сообщения;



– позволяют перемещать курсор по экрану дисплея для выбора команд, осуществлять шаговые изменения цифровых значений в выбранном поле, переключать цифровой регистр на буквенный и наоборот;



Enter – вхождение в меню печати;

Cancel – возврат в предыдущий шаг;

Main Menu – перемещение в текущем выбранном меню;

1...9,0 – для ввода цифровых и буквенных данных.



– изменяет подсветку дисплея и кнопок управления между «днем» и «ночью»;

* и #

– не используются.

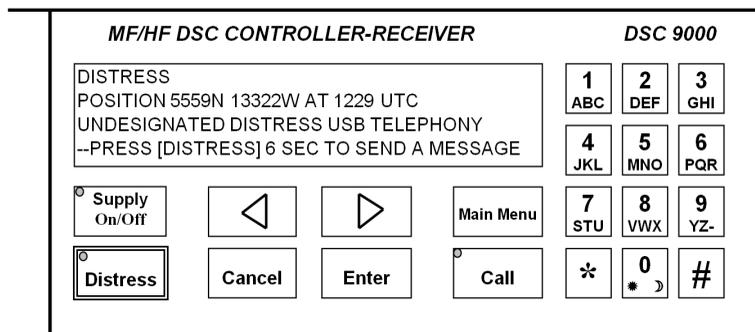


Рис. 8.8. Передняя панель ЦИВ контроллера DSC9000

Рассмотрим операцию передачи сигнала бедствия без предварительного редактирования. Для этой цели следует нажать и удерживать кнопку Distress в течение 6 секунд. Сообщение о бедствии, отображенное на экране (рис. 8.8), будет передано. При этом координаты принимаются от встроенного или судового приемника GPS, характер бедствия подставляется как UNDESIGNATED DISTRESS, а режим последующей связи как USB TELEPHONY. В случае необходимости содержание сообщения может быть отредактировано.

Глава 9. СИСТЕМЫ ФАКСИМИЛЬНОЙ СВЯЗИ

9.1. Основные понятия и определения

Вид документальной электросвязи, обеспечивающей передачу неподвижных изображений, называется факсимильной связью. Иногда используется термин «фототелеграфная связь», но правильнее будет применять его к одной из разновидностей факсимильной связи, при которой на приемном конце используют фотографический метод синтеза изображения.

В морской подвижной службе факсимильная связь используется для следующих целей:

- передача на суда гидрометеорологической информации в виде карт погоды и снимков земной поверхности, полученных с искусственных спутников Земли по коротковолновым радиоканалам;
- передача на суда общественной информации в виде газет, бюллетеней и сводок по КВ каналам;
- обмен между судном и берегом документальной информацией по каналам спутниковой связи;
- обмен документальной информацией между наземными абонентами структурных подразделений по наземным проводным каналам связи.

Первые два вида связи осуществляются с помощью специализированных низкоскоростных факсприемников, принимающих передачи гидрометеорологических радиоцентров. При этом связь односторонняя в направлении «берег-судно». Два других вида факсимильной связи осуществляются в обоих направлениях с помощью абонентских скоростных факсаппаратов широкого применения по телефонным каналам связи и получили название «телефакс».

Структурные схемы связи «телефакс» для наземных абонентов показаны на рис. 9.1.

Абонентский телефакс для наземных абонентов (рис. 9.1а) осуществляется по телефонным линиям общего пользования через городские, междугородные и межгосударственные АТС, которые коммутируют абонентов в соответствии с набором абонентского номера. По этой причине абонентские факсаппараты объединены с телефонным аппаратом, позволяющим производить обмен голосом.

При наличии на судне станции спутниковой связи (СЗС), обеспечивающей телефонный обмен, широко используют связь «телефакс», что позволяет получать/передавать информацию любому абоненту через береговые станции спутниковой связи и АТС (рис. 9.1б). И в том и в другом случае используются факсаппараты широкого применения. Как правило, факсаппараты рассчитаны на работу по физическим линиям связи и обес-

печивают передачу/приём сигналов низкой частоты в полосе 300-3400 Гц (стандартный телефонный канал). Для использования их на радиоканалах связи необходима приемо-передающая радиостанция (станция спутниковой связи), в которой происходят процессы модуляции и демодуляции, позволяющие получать сигналы радиочастоты, передавать их по радиоканалу и после приема преобразовывать вновь в сигналы низкой частоты.

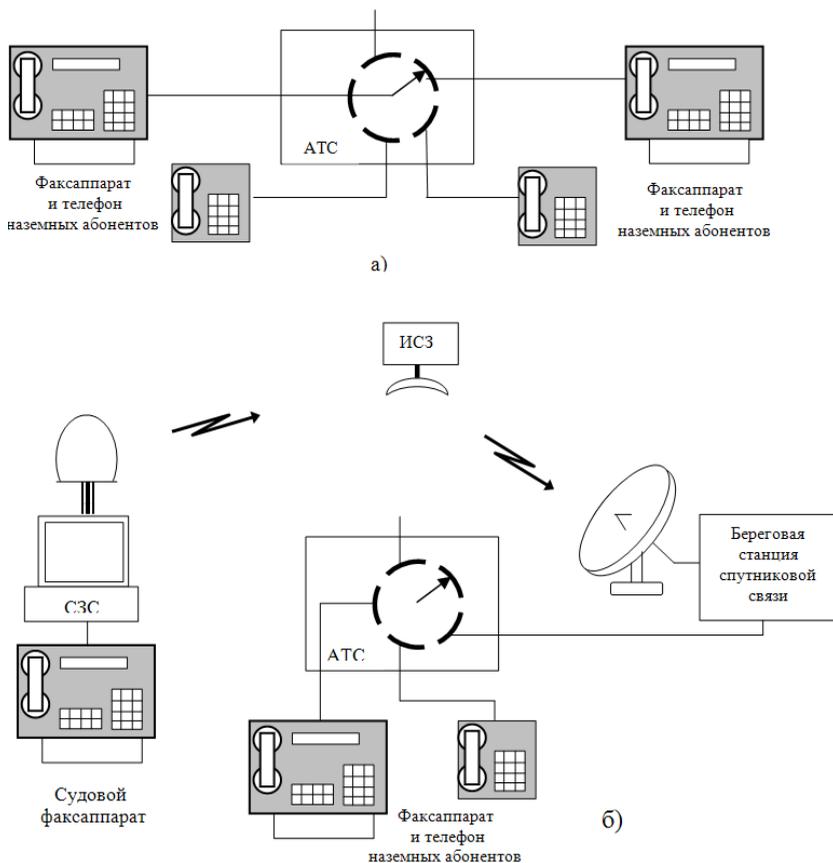


Рис. 9.1. Структурные схемы связи "телефакс"

Отдельные виды зарубежных факсприемников имеют встроенный КВ-радиоприемник с дискретной или фиксированной настройкой. Низкое качество КВ каналов связи, большая ширина канала при скоростной факсимильной связи, дефицит телефонных КВ каналов связи являются препятствием для использования скоростной факсимильной связи на коротких волнах.

9.2. Структурная схема факсимильной связи

Система передачи и приёма изображения в факсимильной связи иллюстрируется рис. 9.2.

Передаваемое изображение (оригинал) можно рассматривать, как большое число элементов способных в разной степени отражать падающий на них свет. Человеческий глаз способен различать на единице площади только конечное число таких участков изображения с различной яркостью. При уменьшении размера каждого участка они воспринимаются как единое изображение.

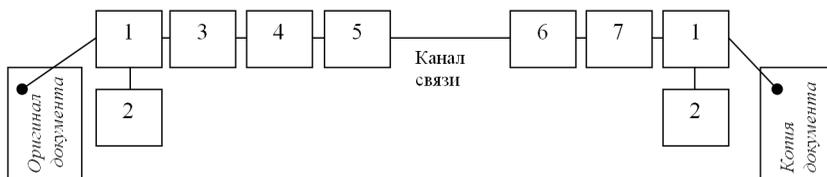


Рис. 9.2. Структурная схема факсимильной связи:

- 1,2,3,4 – анализирующее устройство; 1 – развертывающее устройство; 2 – привод, синхронизирующее и фазированное устройства; 3 – светооптическая система; 4 – фотоэлектрический преобразователь; 5 – модем (передатчик); 6 – приемник; 7,1 – синтезирующее устройство; 7 – записывающее устройство

Передача изображений по каналам электросвязи осуществляется путем преобразования световых излучений элементарных участков оригинала в электрические сигналы. Для этого изображение должно быть разбито на большое количество элементарных площадок за счет перемещения светового луча, создаваемого светооптической системой, по поверхности оригинала. Яркость каждого элемента, который может содержать различные оттенки, усредняется, и отраженный свет воздействует на фотоэлектрический преобразователь.

Для передачи одного изображения световой луч в определенной последовательности, строку за строкой, просматривает все изображение. Перемещение луча производится развертывающим устройством, приводящим луч в движение по отношению к оригиналу.

Отраженный от каждой площадки свет преобразуется с помощью фотоэлектрического преобразователя в электрические импульсы. Узлы передающего аппарата, обеспечивающие просмотр изображения, объединены в группу анализирующих устройств.

В приемном аппарате производится обратное преобразование электрических импульсов в световые или электрические сигналы, способные вызвать реакцию «окрашивания» элементарных площадок на поверхности носителя записи, т.е. осуществить запись изображения, являющегося ко-

пией оригинала. Сложение элементарных участков записи (синтез изображения) осуществляется в той же последовательности (синхронно и синфазно), как и в передающем аппарате. Эти узлы объединены в группу синтезирующих устройств.

В состав передающего аппарата входят электрические узлы, преобразующие импульсы фотоэлектронного преобразователя в электрические сигналы тока низкой частоты для передачи их по физическим линиям связи. В случае использования радиоканала производится дополнительное преобразование (модуляция) сигнала низкой частоты для переноса его в область радиочастот с помощью радиопередатчика.

Приемный аппарат также имеет электрические узлы, преобразующие сигнал низкой частоты, пришедший с линии связи или с выхода радиоприемника, в сигналы, способные воздействовать на узел записи.

Факсаппараты, используемые для коммерческой связи по телефонным, проводным или спутниковым радиоканалам связи, являются приемопередающими, т. е. содержат как анализирующий, так и синтезирующий узлы, что позволяет использовать их при двусторонних симплексных связях, а также при снятии копий документов.

9.3. Элементы анализирующих и синтезирующих устройств

Анализирующее устройство состоит из развертывающего устройства светооптической системы и фотоэлектрического преобразователя.

Синтезирующее устройство факсимильного аппарата состоит из развертывающего механизма и записывающего устройства. В случае записи на светочувствительных материалах узел записи содержит светооптическую систему.

Развертывающие устройства по своей конструкции подразделяются на барабанные и плоскостные.

При барабанной развертке разложение на элементарные площадки производится за счет вращательного движения барабана, на котором закреплен бланк оригинала (строчная развертка), и поступательного движения светового развертывающего элемента, образуемого светооптической системой, или за счет вращательного и поступательного движения барабана при неподвижном развертывающем элементе (кадровая развертка). При этом получается винтообразная линия развертки. Достоинством барабанной развертки является простота и надежность. Недостатки заключаются в сложности крепления бланка, необходимости деформации бланка, невозможности непрерывной подачи изображения. Эти причины привели к тому, что основным методом развертки является плоскостная развертка.

Барабанная развертка в синтезаторах приемных факсаппаратов выполняется аналогично передающему аппарату.

При плоскостной развертке широко используется метод качающегося зеркала, с помощью которого осуществляется строчная развертка. Кадровая развертка осуществляется за счет перемещения бланка оригинала в направлении, перпендикулярном строке (протяжка бланка). Один из вариантов плоскостной развертки показан на рис. 9.3.

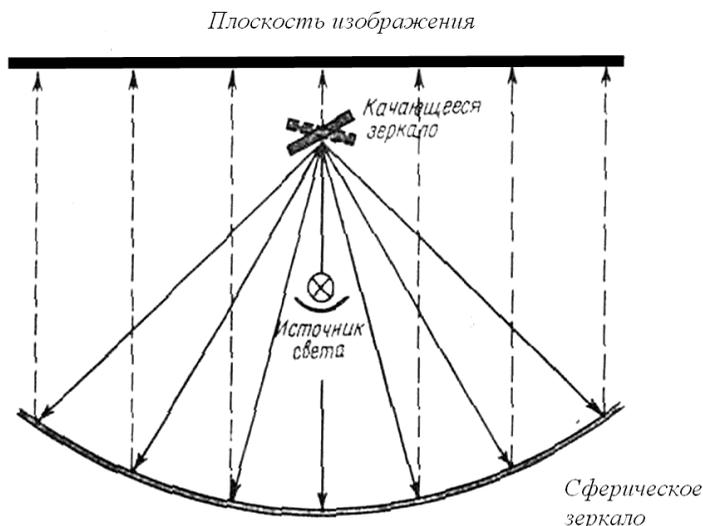


Рис. 9.3. Плоскостная развертка при помощи качающегося зеркала

В данном случае используется вспомогательное сферическое зеркало. Световой луч от источника света падает на качающееся зеркало. Качание зеркала осуществляется с помощью кулачкового механизма. Профиль кулачка определяет линейность развертки. Обратный ход луча не превышает 5% от времени строки. За это время осуществляется протяжка бланка на расстояние кадровой развертки. Обратный ход луча может быть использован для передачи следующей строки при условии идентичности приемного аппарата. Этот метод достаточно прост и надежен в работе, но относится к низкоскоростным из-за конструкции кулачкового механизма. Для получения больших скоростей развертывающего устройства используют проекционные электронно-лучевые трубки.

В высокоскоростных факсаппаратах, используемых для передачи и приема газет, применяется метод дуговой развертки. Бланк (газетная полоса) размещается внутри цилиндрической камеры и за счет разрежения воздуха прижимается к ее стенкам. Внутри камеры с помощью вращающейся оптической системы развертывающий элемент перемещается по дуге, образуя строчную развертку. Кадровая развертка образуется за счет перемещения камеры

вместе с оригиналом относительно оптической системы. В приемном аппарате вместо бланка оригинала размещается фотопленка, на которую с помощью светооптической системы экспонируется принимаемое изображение.

Другие разновидности развертывающих устройств, применяемых при приеме изображений, описаны ниже.

9.4. Параметры развертывающих устройств

Развертывающие устройства характеризуются следующими параметрами.

Строка развертки – узкая полоса перемещения светового пятна (развертывающего элемента), длина которой определяется максимальной шириной изображения, которое должно быть передано. Отечественные стандарты длины строки L составляют 220 мм для аппаратов общего назначения, 610 мм для передачи газетных полос и 480 для передачи гидрометеорологических карт.

Зарубежные аппараты характеризуются длиной строки, выраженной в дюймах – 8, 9, 12, 16, 18 дюймов.

Скорость развертки определяется числом строк в минуту. По рекомендации МККТТ для низкоскоростных аппаратов, предназначенных для передачи гидрометеокарт, скорость передачи должна составлять 60, 90, 120, 180 и 240 стр./мин. В ряде случаев скорость измеряют в оборотах в минуту записывающего барабана, так как за один его оборот записывается одна строка.

В факсаппаратах, используемых в сети "телефакс", вместо скорости развертки скорость передачи/приема измеряется в бит/с. Она определяет количество единиц информации, переданных за единицу времени. За бит информации в факсимильной связи принимается токовый или бестоковый элемент, формируемый таким элементом изображения, который по своей ширине равен диаметру (ширине) развертывающего элемента (светового пятна). Скорость передачи/приема может быть 1200, 2400, 4800, 9600 бит/с.

Шаг развертки (шаг подачи) δ – расстояние между центрами двух смежных строк – зависит от требуемой четкости передачи.

Плотность развертки (четкость) определяется числом линий развертки на один миллиметр подачи бланка, следовательно, четкость есть величина, обратная шагу развертки ($m = 1/\delta$). Выбор плотности развертки определяется требованиями к качеству воспроизведения изображения. Для факсимильной аппаратуры широкого применения $m = 4-5$ лин/мм, для гидрометеорологических факсаппаратов в зависимости от скорости $m = 1,9; 3,8$ лин/мм. Для аппаратуры передачи газетных полос $m = 16; 24$ лин/мм.

Достаточно сказать, что разрешающая способность человеческого глаза порядка 10 лин./мм.

Индекс взаимодействия (модуль) – механический параметр, определяющий возможность совместной работы факсаппаратов. Для плоскостной развертки $M = L/(\pi \cdot \delta)$. Несоответствие индексов передающего и приемного

аппаратов приводит к сжатию или растяжению принятого изображения. МККТТ рекомендует для аппаратуры передачи полутоновых изображений (фото) индекс $M = 352$, штриховых изображений – $M = 264$, для аппаратуры, предназначенной для передачи гидрометеокарт, $M = 576$ или 288 . Аппаратура для передачи газетных полос имеет индексы $M = 3060$ и $M = 4800$.

Светооптическая система, определяющая форму и размеры растрового элемента, содержит источник света и оптические устройства (линзы, объективы, зеркала, призмы, диафрагмы). Светооптическая система формирует световое пятно определенного размера и формы. В современных факсаппаратах в качестве источника света используют лазеры, а фотоэлектрические преобразователи строятся на базе полупроводниковых фотоэлементов или фотоэлектронных умножителей.

Принцип преобразования световой энергии в электрический сигнал иллюстрируется рис. 9.4.

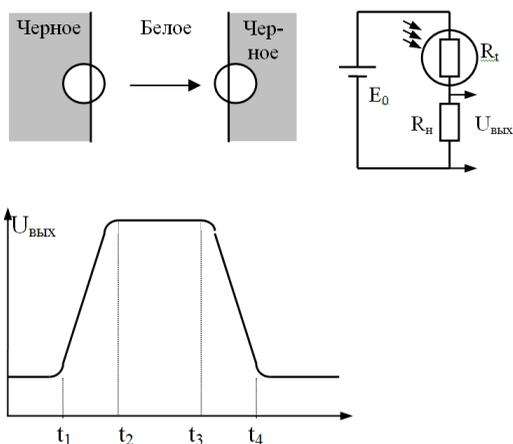


Рис. 9.4. Преобразование световой энергии в электрический сигнал

При прохождении круглого светового пятна (растрового элемента) через границу черного и белого полей меняется величина отраженного светового потока, поступающего на фотоэлектрический преобразователь, меняется величина тока через нагрузку и падение напряжения на ней. Если обозначить диаметр светового пятна d , то длительность переднего и заднего фронтов определяет скорость перемещения светового пятна по изображению

$$V = d/(t_2 - t_1) = d/(t_4 - t_3).$$

Для увеличения крутизны фронтов следует уменьшить d или использовать прямоугольный растровый элемент, у которого больший растр равен шагу развертки. При равенстве высоты прямоугольного растрового элемента диаметру круглого элемента и равных площадях ширина прямо-

угольного элемента в 1,27 раза меньше диаметра круглого пятна, что позволяет увеличить крутизну фронтов импульса в нагрузке фотоэлемента. При передаче графических материалов (текста, рисунка, чертежа) за время передачи строки в нагрузке фотоэлектрического преобразователя возникает последовательность импульсов тока, характеризующих уровни белого и черного цветов изображения. На рис. 9.5 показан принцип образования максимальной и минимальной частоты видеосигнала.

Очевидно, что максимальная частота видеосигнала получается, если изображение состоит из чередования черных и белых полос, ширина которых равна диаметру (ширине) растрового элемента.

$$F_{max} = (L \cdot N) / (60 \cdot 2 \cdot d) = V / (2 \cdot d),$$

где L – длина строки, d – диаметр (ширина) растрового элемента, N – число строк в минуту, V – линейная скорость развертки (см/сек).

Минимальная частота фототока получается при развертке изображения, содержащего по длине строки: полстроки черное, полстроки белое (рис. 9.5б). $F_{min} = N/60$ Гц.

При скорости развертки 120 стр./мин частота видеосигнала меняется от 2 до 1100 Гц. Такой сигнал не может быть передан по стандартным телефонным каналам, полоса пропускания которых от 300 до 3400 Гц.

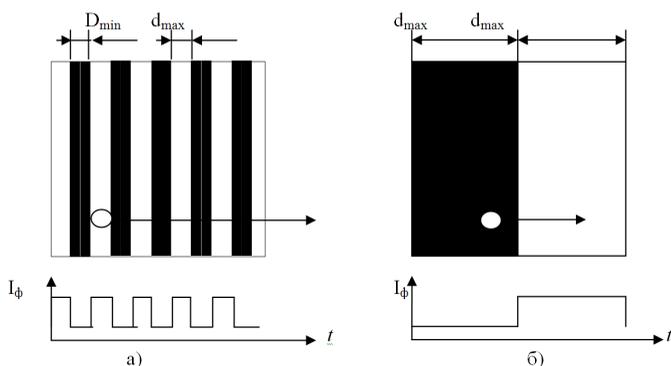


Рис. 9.5. Принцип образования: а) максимальной и б) минимальной частоты фототока (видеочастоты)

По этой причине видеосигнал модулирует вспомогательную несущую, частота которой выбирается в зависимости от используемого канала. Используют как амплитудную, так и частотную модуляцию. Передача сигнала может производиться как позитивным, так и негативным методом.

Расположение сигнала после модуляции в полосе канала связи может быть как симметричным (двухполосная передача), так и асимметричным (однополосная передача).

Коэффициент использования канала η во втором случае выше, что позволяет повысить скорость передачи. Процессы модуляции, демодуляции, селекции и усиления электрических сигналов в факсаппаратуре осуществляются обычными методами.

9.5. Запись изображения в приемном факсаппарате

В записывающем устройстве происходит обратное преобразование электрического сигнала в световой, необходимый для регистрации отдельных элементарных площадок, из которых образуется копия передаваемого изображения (факсимиле).

В приемных аппаратах используется фотографический, электрохимический, электротермический, ксерографический и чернильный (штриховой) методы записи.

Светооптические системы, обеспечивающие фотографический метод записи с барабанной и дуговой разверткой, описаны выше. В них используются газосветные лампы в качестве безынерционных источников света. Видеоимпульсы с демодулятора поступают на источник света и с помощью светооптической системы формируют растровый элемент на поверхности светочувствительного бланка (фотобумаги или фотопленки), форма и размер растрового элемента определяется диафрагмой.

Фотографический метод записи требует светоизоляции бланка до окончания его химической обработки (проявки), т.е. является закрытым и не позволяет вести визуальный контроль качества приема, требует достаточно сложного процесса обработки принятой копии, но в то же время позволяет передавать полутоновые изображения с большой градацией тонов и цветные изображения. Прием на фотопленку позволяет тиражировать принятое изображение в месте приема. Большая стоимость и длительность обработки светочувствительных материалов ограничивает их применение в факсимильной связи. Широкое применение нашли методы открытой записи на обычной и электрочувствительной бумаге.

Электрохимическая запись производится на бумаге, пропитанной электролитом, который изменяет свою окраску в результате химической реакции, происходящей под действием протекающего через него электрического тока.

Метод нашел применение в приемных аппаратах для приема гидрометеокарт. Как правило, применяется плоскостная развертка с пишущим устройством в виде спирали и контактной линейки.

При вращении барабана вместе со спиралью точка касания спирали и линейки создает развертывающийся элемент, который равномерно перемещается, образуя строку развертки. Одновременно за полный оборот спирали бумага протягивается на один шаг подачи по кадровой развертке. Контактующая площадка спирали и линейки имеет форму ромба или параллелограмма, что

позволяет получить достаточно высокую разрешающую способность. Вертикальный размер растрового элемента находится в пределах 0,03–0,08 мм. Разрешающая способность не превышает 4 лин/мм, но простота устройства записи, возможность получения непрерывной записи, автоматизация процесса приема делает этот способ надежным в условиях постоянной эксплуатации.

Качество записи на электрохимической бумаге зависит от скорости передачи и величины токов, протекающих через электролит. Недостаточная оптическая плотность фона затрудняет передачу полутоновых изображений, поэтому метод применяется в основном для документальной связи (передача текста, чертежей, карт погоды).

Электротермическая запись, получившая широкое распространение в абонентских аппаратах системы «телефакс», производится на электротермическую бумагу, имеющую трехслойную структуру, благодаря которой она под действием тепла, выделяемого протекающим через нее током, окрашивается в черный цвет.

Ассортимент электротермических бумаг очень широк. К ним относятся металлизированные виды бумаг, качество электротермической записи близко к электрохимическому методу. Разрешающая способность порядка 4 лин/мм. Подавляющее большинство зарубежных факсимильных аппаратов используют электротермический метод записи. К достоинствам метода следует отнести долговечность электротермических бумаг, простоту устройства записи, возможность непрерывной записи продолжительных передач, возможность использования для скоростной передачи изображений.

Все три описанные ранее метода записи требуют специальных видов бумаги, что повышает стоимость услуг связи и эксплуатации. Поэтому наряду с их дальнейшим использованием широко применяются методы записи на обычную бумагу: ксерографический и чернильный.

Ксерографический метод использует принцип, применяемый в множительной технике (ксероксах). В его основе лежит электризация поверхности бумажного листа, на котором будет воспроизводиться копия. С помощью светового потока, создаваемого развертывающим устройством, на поверхности бланка создается электростатический рельеф принимаемого изображения. При обработке с помощью специального порошка на основе графита (картриджа) частички порошка притягиваются к наэлектризованной поверхности бумаги. Закрепление изображения производится путем пропускания бланка между двумя нагретыми валиками. Метод прост, пригоден для скоростной передачи изображений, но обладает низкой разрешающей способностью, низким качеством передачи полутоновых изображений, критичен к сортности бумаги, характеризуется сравнительно большим расходом порошковых материалов. В последнее время как в множительных аппаратах, так и в некоторых разновидностях факсаппаратов метод используется для передачи цветных изображений.

Чернильный метод записи использует электромагнитный рекордер, якорь которого связан с пишущей иглой или пишущим роликом. При ис-

пользовании иглы красящее вещество (чернила) поступает капиллярным способом через внутреннее отверстие иглы, а при использовании ролика – от красящего валика, пропитанного типографской краской. Прижимаясь к бумаге под действием якоря, при протекании импульсов сигнала игла или ролик оставляют на ней штриховые отпечатки.

Низкая разрешающая способность метода 2–3 лин/мм, низкое качество полутоновых изображений позволяют использовать метод только для приема текстовых материалов (фототелеграмм). Несмотря на использование обычных сортов бумаги, необходимо использовать сорта с определенной плотностью и низкой ворсистостью. Кроме того, требуется следить за наличием и качеством красящего материала (картриджа). Метод неприменим для скоростной передачи изображений.

Для передачи цветного изображения по каналам факсимильной связи используется метод разложения спектра видимого света на три участка, соответствующих красному, синему и зеленому цветам.

Светоптическая система проецирует растровый элемент на поверхности бланка оригинала. Отраженный свет направляется на систему специальных зеркал (дихронические зеркала), способных пропускать и отражать свет заданной длины волны (могут использоваться призмы). В результате световой поток разделяется на три, проходит через цветоделительные фильтры (красный, синий, зеленый) и поступает на фотоэлектрический преобразователь. Видеосигнал каждого цвета передается в полосе частот телефонного канала 300–3400 Гц. Каждый из сигналов проходит через свой каналный полосовой фильтр с соответствующей полосой пропускания (для красного 2,5–3,4 кГц, синего 1,4–2,3 кГц, зеленого 0,3–1,2 кГц).

Передача по каналу связи производится в виде группового сигнала в диапазоне низких частот, либо при использовании многоканальной связи (радиосвязи) групповой сигнал поступает в модулятор, где модулирует ВЧ несущую и далее поступает в канал связи.

Групповой сигнал трех цветов в полосе 300–3400 Гц поступает на вход цветного факсаппарата, где с помощью трехканального приемного устройства усиливается, демодулируется, корректируется гамма-корректорами и поступает на оконечные усилители записи.

При фотографическом методе записи сигналы с трех каналов приемной части поступают на газосветные лампы, свет которых проходит через светофильтры и фокусируется с помощью диафрагмы и объектива в виде растрового элемента на поверхности цветной фотобумаги или фотопленки. Запись цветных изображений может быть произведена с использованием ксерографического метода.

Глава 10. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

10.1. Системы пространственной фильтрации сигналов

Разработка систем пространственной фильтрации является одной из важнейших задач проектирования систем обработки информации. При переходе к цифровым методам обработки возникает ряд проблем, основной из которых является огромное количество вычислительных затрат при аппаратурной реализации. Так число элементарных операций типа суммирования или сдвига достигает сотен миллионов, а порою и миллиардов в секунду. Такие скорости находятся на пределе возможностей современной элементной базы, поэтому следует уделять серьёзное внимание оптимизации систем обработки. При анализе процесса стремятся к его низкочастотному представлению [71].

В основу пространственно-временной обработки информации, как известно, положена гипотеза, что в дальней зоне (Фраунгофера) фронт сигнала от точечного источника становится плоским, т.е. в момент компенсации задержки τ он может быть представлен в виде [72]:

$$y(t, \bar{x}) = S \left(t - \frac{(\bar{x}, \bar{\zeta}_0)}{C} \right), \quad (10.1)$$

где $(\bar{x}, \bar{\zeta}_0)$ – скалярное произведение векторов

$$(\bar{x}, \bar{\zeta}_0) = x_1 \zeta_{10} + x_2 \zeta_{20} + x_3 \zeta_{30};$$

\bar{x} – вектор координат;

$\bar{\zeta}_0$ – единичный вектор направления распространения сигнала;

C – скорость распространения энергии в среде.

Действительно, соотношение $t - \tau + \frac{(\bar{x}, \bar{\zeta}_0)}{C} = 0$ является нормальным

уравнением плоскости в координатном пространстве $\bar{x} = (x_1, x_2, x_3)$.

Фронт плоской волны по определению перпендикулярен вектору $\bar{\zeta}_0$.

Комплексная огибающая принятой реализации описывается выражением [71]:

$$\gamma(t) = y(t, \bar{x}) \cdot \exp \left(j \omega_0 \left(t - \left(\frac{(\bar{x}, \bar{\zeta}_0)}{C} \right) \right) \right). \quad (10.2)$$

Выполнив преобразование Фурье по пространственным координатам получим:

$$F_{\bar{x}}\{\gamma(t)\} = \tilde{y}(\omega) \cdot \exp(j\omega_0 t) \cdot \iiint_{\bar{x}} \exp\left(-j\omega_0 \cdot \left(\frac{\langle \bar{x}, \bar{\zeta}_0 \rangle}{C}\right)\right) \cdot \exp(j\bar{k}\bar{x}) d\bar{x} = \quad (10.3)$$

$$= (2\pi)^3 \cdot \tilde{y}(\omega) \cdot \exp(j\omega_0 t) \cdot \delta\left(k - \frac{\omega_0}{C} \cdot \bar{\zeta}_0\right),$$

где $F\{\bullet\}$ – оператор преобразования Фурье;

\bar{k} – вектор пространственных частот (волновой вектор).

Анализ выражения (10.3) показывает, что носители плоских сигналов в переменных (\bar{k}, ω_0) расположены на конической поверхности $C = \left|\frac{\omega_0}{\bar{k}}\right|$,

$|\bar{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$, где $|\bar{k}|$ – волновое число, равное длине волнового вектора, $|\bar{k}| = \sqrt{k_1^2 + k_2^2 + k_3^2}$, λ – длина волны.

Учитывая дисперсионное соотношение $\bar{k} = \frac{\omega_0}{C} \cdot \bar{\zeta}_1$, а так же

$\delta(\alpha) = \frac{1}{|\alpha|} \cdot \delta(t)$ получаем окончательно

$$F_{\bar{x}}\{\gamma(t)\} = (2\pi)^3 \cdot \tilde{y}(\omega) \cdot \exp(j\omega_0 t) \cdot \frac{C}{|\omega_0|} \delta(\bar{\zeta}_1 - \bar{\zeta}_0), \quad (10.4)$$

где $\bar{\zeta}_1$ – вектор компенсации при пространственной фильтрации.

При этом δ -функция имеет смысл, если $\bar{\zeta}_1 = \bar{\zeta}_0$, т.е. вырезается линия, проходящая через начало координат, лежащая на образующей конуса и заданная вектором $\bar{\zeta}_0$. Геометрия этих условий представлена на рис. 10.1.

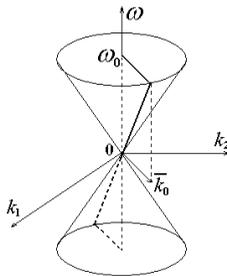


Рис. 10.1. Носитель плоской волны в частотном пространстве (\bar{k}, ω_0)

Для выделения компонент спектра плоского сигнала необходимо выбрать передаточную характеристику фильтра, равную единице для точек, совпадающих с носителем спектра сигнала и равную нулю во всех остальных случаях. Заметим, что носителем спектра комплексной гармоники $y(t, \omega_0, \bar{\zeta}_0, \bar{x}) = \exp(-j\omega_0 t) \cdot \exp\left(-j\omega_0 \cdot \frac{(\bar{x}, \bar{\zeta}_0)}{C}\right)$ в области (\bar{k}, ω_0) является точка, полученная пересечением плоскости $\omega = \omega_0$ и образующей конуса, заданной вектором $\bar{\zeta}_0$.

Следует отметить, что пространственные размеры антенны имеют конечные значения, и объём обрабатываемой реализации также ограничен. Данное условие записывается в виде произведения сигнала и пространственно-временного окна $W(\bar{x}, t)$. Осуществляя перебор по волновому вектору \bar{k} при условии $\bar{k} = \frac{\omega_0 \bar{\zeta}_1}{C}$, отклик устройства формирования характеристики направленности (УФХН) на плоский сигнал можно записать:

$$S(t, \bar{\zeta}_1, \bar{\zeta}_0) = F_t^{-1} \left\{ \tilde{y}(\omega) \cdot \exp(j\omega_0 t) \cdot \tilde{W}\left(\frac{\omega_0}{C}(\bar{\zeta}_1 - \bar{\zeta}_0)\right) \right\}. \quad (10.4)$$

Если положить, что плоский сигнал имеет вид δ -функции, то с учётом $F\{\delta(t)\} = 1$, отклик УФХН на указанный сигнал будем называть импульсной характеристикой:

$$h(t, \bar{\zeta}_1, \bar{\zeta}_0) = F_t^{-1} \left\{ \tilde{W}\left(\frac{\omega_0}{C}(\bar{\zeta}_1 - \bar{\zeta}_0)\right) \right\}. \quad (10.5)$$

Если рассмотреть импульсную характеристику $h(t, \bar{\zeta}_1, \bar{\zeta}_0)$ в области временных частот, получим (по определению) комплекснозначную передаточную характеристику. Модуль комплекснозначной передаточной характеристики называется характеристикой направленности:

$$G = \left| \tilde{W}\left(\frac{\omega_0}{C}(\bar{\zeta}_1 - \bar{\zeta}_0)\right) \right|, \quad (10.6)$$

а квадрат модуля – энергетической диаграммой направленности.

Необходимо отметить, что этот метод диаграммоформирования реализуем при выполнении условия:

$$L < \frac{C}{2\Delta f}, \quad (10.7)$$

где L – длина активной части апертуры антенны.

Важнейшим направлением развития систем обработки информации является применение сложных широкополосных сигналов. Как известно, комплексная огибающая имеет смысл лишь для узкополосных сигналов, тем самым, ограничивая область применимости данного метода. Избежать этих ограничений позволяет мультипликативный подход, основой которого служит эквивалентность аддитивных и мультипликативных сигналов $S_m(t) \leftrightarrow \frac{S(\ln t)}{\sqrt{t}}$ и изоморфизм между аддитивными и мультипликативными

$$\text{ми преобразованиями } \left(\begin{array}{c} G \xrightarrow{\text{exp}} \bar{G} \\ \bar{G} \xrightarrow{\text{ln}} G \end{array} \right).$$

При мультипликативном подходе, когда $y_m(t, \bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{t}} y(\ln t, \bar{x})$, плоский сигнал запишется:

$$y_m(t, \bar{x}) = S \left(\ln t - \frac{(\bar{x}, \bar{\zeta}_0)}{C} \right), \quad (10.8)$$

а комплексная огибающая, следовательно:

$$\gamma_m(t) = y_m(t, \bar{x}) \cdot \exp \left(j\Omega_0 \cdot \left(\ln t - \left(\frac{(\bar{x}, \bar{\zeta}_0)}{C} \right) \right) \right). \quad (10.9)$$

Таким образом выражение (4.4) примет следующий вид:

$$F_{\bar{x}} \{ \gamma_m(t) \} = (2\pi)^3 \cdot \tilde{y}_m(\Omega) \cdot \exp(j\Omega_0 \ln t) \cdot \frac{C}{|\Omega_0|} \delta(\bar{\zeta}_1 - \bar{\zeta}_0), \quad (10.10)$$

а выражение для характеристики направленности соответственно:

$$G_m = \left| \tilde{W}_m \left(\frac{\Omega_0}{C} (\bar{\zeta}_1 - \bar{\zeta}_0) \right) \right|. \quad (10.11)$$

Как уже отмечалось, форма характеристики направленности зависит от эффективной площади апертуры $A_{\text{эф}}$ и несущей частоты сигнала f , и для антенны с плоской апертурой коэффициент концентрации определяется формулой [73]:

$$KK(f) \cong \frac{4\pi A_{\text{эф}} f^2}{C^2}. \quad (10.12)$$

Исходя из этого, в УФХН для частотно модулированных сигналов необходимо включить коммутатор элементов апертуры по закону, компенсирующему изменение текущей частоты сигнала, т.е. при увеличении f , обеспечивать пропорциональное уменьшение $A_{\text{эф}}$.

Мультипликативный подход позволяет эффективно решить задачу формирования характеристики направленности с применением комплексной огибающей, т.е. существенно снизить требуемый объем вычислительных затрат и памяти УФХН.

Известно, что частота дискретизации входного сигнала должна быть вдвое выше верхней частоты его спектра [74]. В тоже время вся информация о входном сигнале содержится в его комплексной огибающей, наибольшая частота которой значительно меньше несущей частоты. Это позволяет сократить вычислительные затраты. Так, например, алгоритм БПФ требует проведения числа вычислений, пропорционально $n \cdot \log_2 n$, где n – объем выборки [75]. Для оценки η снижения вычислительных затрат воспользуемся тем, что частота дискретизации уменьшилась в $\left(\frac{2 \cdot f_0}{w} + 1\right)$ раз

[71, 75], тогда выигрыш составит,

$$\eta = \frac{\left(\frac{2 \cdot f_0}{w}\right) \log_2 n}{\log_2 \left(\frac{1}{\frac{2 \cdot f_0}{w} + 1}\right) + \log_2 n} \quad (10.13)$$

где f_0 – верхняя частота спектра входного сигнала;

w – верхняя частота спектра комплексной огибающей входного сигнала.

Однако известно, что оператор формирования комплексной огибающей в общем случае не коммутирует с оператором задержки, при этом последняя, то есть задержка является основным оператором формирования отклика (характеристики направленности) антенны. Физически это означает, что конечный результат будет разным, если сначала сформировать комплексную огибающую, а затем выполнить операцию его сдвига, или сначала выполнить операцию его сдвига, а затем сформировать его комплексную огибающую [72]. Это свойство некоммутативности операций формирования комплексной огибающей не позволяло использовать её для формирования отклика (характеристики направленности) антенны. Поэтому операторы вычисления комплексной огибающей не нашли применение, о чем свидетельствует Самойлов Л.К. в своей монографии [76].

На рис. 10.2 изображена структурная схема устройства цифрового формирования отклика приемной антенны [77], где обозначены:

- 1 – приемники;
- 2 – комплексные демодуляторы;
- 3 – многоканальный АЦП;

- 4 – многоканальный БЗУ;
- 5 – многоканальный вычислитель БПФ;
- 6 – блок управления;
- 7 – генератор опорных сигналов;
- 8 – фазовращатель.

Применение предлагаемого устройства обеспечивает требуемое для практики сокращение вычислительных затрат (см. формулу (10.13)) и уменьшение сложности устройства (сокращается количество сложных узлов – вычислителей БПФ). С увеличением частоты несущей относительно ширины полосы спектра принимаемого сигнала эффективность заявляемого устройства увеличивается в соответствии с выражением (10.13) и составит для:

$$f_0 = 3000 \text{ Гц}; w = 300 \text{ Гц}; n = 1024, \text{ получаем } \eta = 37;$$

$$f_0 = 6000 \text{ Гц}; w = 300 \text{ Гц}; n = 1024, \text{ получаем } \eta = 88;$$

$$f_0 = 12000 \text{ Гц}; w = 300 \text{ Гц}; n = 1024, \text{ получаем } \eta = 221.$$

Таким образом, предложенная реализация цифрового метода формирования отклика пространственного фильтра частотного типа позволяет сократить вычислительные затраты. Преимущество такого построения пространственного фильтра особенно проявляется при необходимости наращивания числа пространственных каналов наблюдения, а также при обработке высокочастотных сигналов.

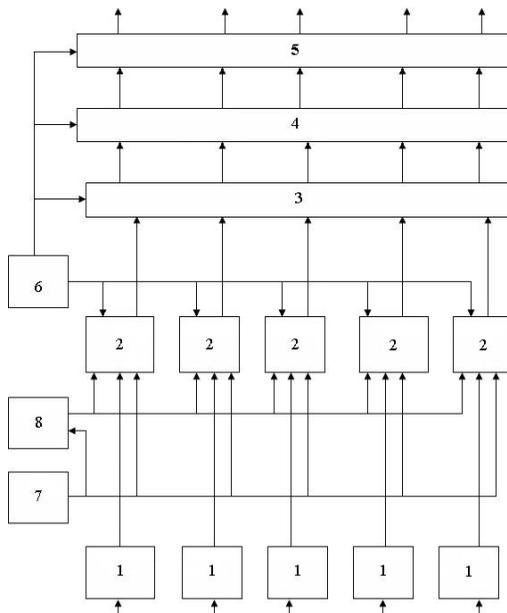


Рис. 10.2. Устройство цифрового формирования отклика пространственного фильтра

Выводы:

1. Реализовать преимущества низкочастотного представления входного процесса для вычисления характеристики направленности позволяет метод определения модуля комплекснозначной передаточной характеристики.
2. Предложенный мультипликативный подход позволяет применить аппарат формирования комплексной огибающей для широкополосных сигналов с гиперболической частотной модуляцией.

10.2. Пространственная фокусировка энергии излучателей

Для повышения эффективности систем телекоммуникаций требуется решение ряда противоречивых задач. С одной стороны для повышения пропускной способности и помехоустойчивости необходимо увеличение ширины спектра сигналов, а с другой стороны требуется обеспечить пространственную селекцию. При этом необходимо учесть, что обработка широкополосных сигналов затруднена вследствие влияния доплеровской дисперсии. Данная задача особенно актуальна для обеспечения коммуникаций с высокоскоростными объектами. Далее изложен один из вариантов решения данного противоречия.

Пространственная фокусировка может быть выполнена за счёт свойства сигнала с гиперболической частотной модуляцией (ГЧМ). Влияние доплеровского эффекта на ГЧМ-сигнал вида

$$S(t) = \frac{\sin(\Omega \cdot \ln(t - \tau))}{\sqrt{t - \tau}}, \quad (10.14)$$

где Ω – гиперболическая несущая частота, $\Omega = f(t) \times t$;

$f(t)$ – мгновенная частота;

t – текущий момент времени;

τ – сдвиг начала сигнала относительно начала отсчёта,

будет состоять в смещении по времени на величину τ_α [78], которое эквивалентно изменению дальности на величину

$$\Delta D = C \times \tau_\alpha \quad (10.15)$$

где C – скорость распространения энергии в среде;

$$\tau_\alpha = \frac{V}{C} \cdot \tau = \frac{\alpha - 1}{2\alpha} \cdot \tau \quad (10.16)$$

α – доплеровский параметр;

V – относительная радиальная скорость.

Действительно, сигнал в точке фокусировки с учетом доплеровского преобразования $S(t) = \sqrt{\alpha} \cdot S(\alpha t)$ примет вид [79]:

$$S_0(t) = \frac{\sqrt{\alpha}}{\sqrt{-\alpha t + \tau}} \sin(\Omega \ln \alpha((t - (\tau' + \tau_\alpha) - \tau))), \quad (10.17)$$

где τ' – задержка за счет конечности скорости распространения сигнала.

То есть сигнал распространяется с запаздыванием или опережением в зависимости от знака доплеровского параметра. Этот известный результат является прямым следствием свойства инвариантности ГЧМ-сигнала к доплеровскому эффекту [72, 78].

Искусственно вводя в сигналы (10.14) двух излучателей определённые заранее доплеровские параметры, эквивалентные относительным радиальным скоростям перемещения точки фокусировки относительно этих излучателей, можно добиться фокусировки энергии этих излучателей в заданной точке пространства.

Для наглядности рассмотрим ситуацию, приведённую на рис. 10.3, основные параметры связаны соотношением:

$$\Delta\alpha = \alpha_1 \cdot \left(1 \pm \frac{2D_\Sigma - 4D_1}{C \cdot \tau} \right), \quad (10.18)$$

где $\Delta\alpha = \alpha_1/\alpha_2$;

α_1, α_2 ; – параметры вводимые в ГЧМ – сигналы первого и второго излучателей;

$$D_\Sigma = D_1 + D_2;$$

$$D_\Sigma = D_1 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D_1} \right)^2 - 2 \frac{L}{D_1} \cdot [\cos \theta_0 \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi_2) + \sin \theta_0 \cdot \sin \theta_2]} \right), \quad (10.19)$$

$D_1, D_2 = D_1 \pm \Delta D$ – расстояние от первого и второго излучателей до точки фокусировки;

L – расстояние между излучателями;

φ_0, θ_0 и φ_2, θ_2 – угловые сферические координаты точки фокусировки (0) и второго излучателя (2) (первый излучатель (1) находится в начале координат).

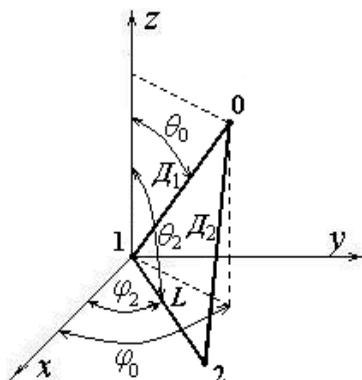


Рис. 10.3. Пространственное расположение излучателей и точки фокусировки

Таким образом, при излучении сигналов вида

$$S_i(t) = \frac{\sin(\Omega \cdot \ln \alpha_i + \Omega \cdot \ln(t - \tau))}{\sqrt{t - \tau}}, \quad (10.20)$$

где i – номер излучателя;

и выполнении условий (10.18) и (10.19) обеспечивается синфазное сложение сигналов двух излучателей в заданной точке пространства.

На основании свойства линейности преобразования Фурье, сумма сигналов $a \cdot S_1(t) + b \cdot S_2(t)$ соответствует сумме их спектров $a \cdot S_1(\Omega) + b \cdot S_2(\Omega)$ (см. стр. 120 в кн. [80]). Последовательное применение прямого и обратного преобразования Фурье не изменяет сигнал, а энергия сигнала во временной и частотной областях одинакова, т. е. преобразование Фурье является унитарным (см. стр. 44 – 46 в кн. [72]).

При необходимости передачи информации по радиоканалу в определённую точку пространства, в качестве носителя информации может быть использован сигнал вида (10.20). При этом его спектр представляется в виде двух составляющие и равен их сумме, одна с параметром α_1 , переводится во временную область и излучается первым излучателем, вторая с параметром α_2 , переводится во временную область и поступает на второй излучатель.

Устройство передачи и приёма информации, реализующее предлагаемый метод пространственной фокусировки энергии излучателей приведено на рис. 10.4 [81], где обозначены:

1. источник информации;
2. фазовый модулятор;
3. модулятор;
4. генератор несущей частоты;
5. генератор фазоманипулированного сигнала;

6. синхронизатор передающей стороны;
7. усилитель мощности (УМ);
8. первая передающая антенна;
9. приёмная антенна;
10. смеситель;
11. усилитель промежуточной частоты;
12. согласованный фильтр;
13. решающий блок;
14. получатель информации;
15. синхронизатор приёмной стороны;
16. гетеродин;
17. аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
18. первый блок быстрого преобразования Фурье (БПФ);
19. блок разности;
20. второй блок БПФ;
21. первый цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП);
22. блок ввода координат абонента;
23. блок управления;
24. магистраль;
25. регулируемый цифровой генератор сигнала с ГЧМ;
26. первый регулируемый цифровой модулятор;
27. второй регулируемый цифровой модулятор;
28. третий блок БПФ;
29. второй ЦАП;
30. второй УМ;
31. вторая передающая антенна.

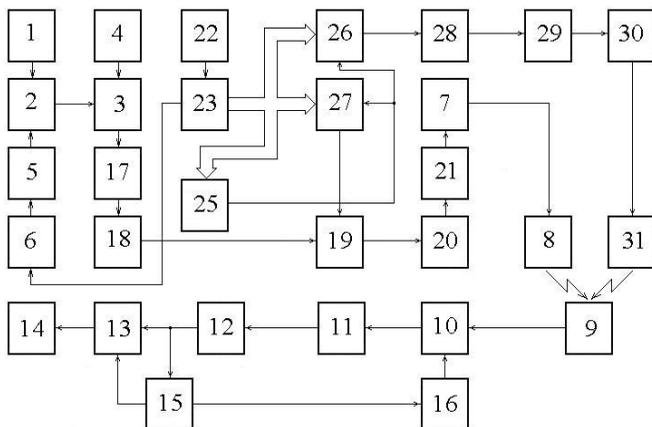


Рис. 10.4. Устройство передачи и приёма информации

Устройство работает следующим образом.

С пульта ввода координат абонента 22 задаются координаты заданной точки в пространстве приёмной стороны, по которым в блоке управления 23 на основании выражений (10.18) и (10.19) определяются вносимые в ГЧМ-сигналы значения параметров α_1 и α_2 . При этом данные ГЧМ-сигналы формируются на основании выражения (10.20) в регулируемом цифровом генераторе 25. Зависящие от координат абонента параметры α_1 и α_2 поступают с блока управления 23 по магистрали 24 на первый 26 и второй 27 регулируемые цифровые модуляторы. В блоках 1 ÷ 6 формируется информационный сигнал и поступает на вход АЦП 17 и далее через первый блок БПФ 18 поступает на первый вход (уменьшаемое) блока разности 19, на второй вход (вычитаемое) которого подаётся спектр ГЧМ сигнала с доплеровским параметром α_2 . Разностный сигнал с выхода блока разности поступает через последовательно соединённые второй блок БПФ 20, первый блок ЦАП 21 и далее в аналоговом виде через усилитель мощности 7 на передающую антенну 8.

В то же время, сигнал с параметром α_1 с выхода первого регулируемого цифрового модулятора 26 через последовательно соединённые третий блок БПФ 28, второй блок ЦАП 29 и далее в аналоговом виде через усилитель мощности 30 на вторую передающую антенну 31.

В заданной точке пространства находится приёмная антенна 9, на которой сигналы излучённые двумя передающими антеннами 8 и 31 синфазно складываются, формируя информационный сигнал, при этом дополнительно наложенный в блоке разности 19 сигнал с параметром α_2 компенсируется, т.е. устраняется операция, осуществляемая в блоке 19. Приёмник может быть выполнен по супергетеродинной схеме на элементах 10, 11, 16 и согласованного фильтра 12, с выхода которого сигнал поступает на решающий блок 13 и далее в необходимом формате потребителю информации 14.

Синхронизация работы всех элементов передающей стороны выполняется командами блока управления 23, который может быть выполнен, например, на основе программируемого процессора, в постоянном запоминающем устройстве которого записаны все возможные синхронизирующие сигналы и параметры управления, а их выбор осуществляется по данным, поступающим с пульта ввода координат абонента 22 и источника информации 1.

Следует отметить, что в других точках пространства формирование информационного сигнала не происходит, т.к. не выполняется условие синфазности, т.о. устройство осуществляет пространственную фокусировку энергии излучателей.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

AAIC	Accounting Authority Identification Code	Код расчетной организации	
AC	Alternating Current	Переменный ток	
AC	Area Code	Код района	
ACK	Acknowledgement	Подтверждение	
ADE	Above Decks Equipment	Надпалубное оборудование	
AES	Aircraft Earth Station	Авиационная земная станция	АЗС
AFC	Automatic Frequency Control	Автоматическая подстройка частоты	АПЧ
AFSK	Audio Frequency Shift Keying	Частотная манипуляция на звуковой частоте	
AGC	Automatic Gain Control	Автоматическая регулировка усиления	
ALC	Automatic Level Control	Автоматическая регулировка уровня	APУ
ALPHA		Протокол произвольного доступа к каналу ИСЗ	APУ
AMPS	Advanced Mobile Phone Service	Усовершенствованная мобильная телефонная служба (стандарт сотовой связи)	
AMVER	Automated Mutual-assistance Vessel Rescue System	Автоматизированная система взаимопомощи при спасении судов	АМВЕР
AOC	Automatic Output Control	Автоматическая регулировка выхода	АПВ
AOR-E/W	Atlantic Ocean Region East/West	Атлантический океанский район Восточный/Западный	АОР-В/З

ARQ	Automatic Request Repeat	Автоматический переспрос ошибки	
ARU	Antenna RF Unit	Антенный радиочастотный блок	
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	Американский стандартный код для информационного обмена	МТК-5
AUSPER	System similar to AMVER, but operated by the australian authorities	Австралийская система, аналогичная системе АМВЕР	АУС-ПЕР
BB	Bulletin Board	Информационный бюллетень о состоянии системы связи	
BBER	Bulletin Board Error Rate	Степень ошибки информационного блока	
BCH	Bose-Chaudhuri-Hooquenghem code	Код Боуза-Чоудхури-Хоквингема	БЧХ
BDE	Below Decks Equipment	Подпалубное оборудование	
bps	Bit per second	Бит в секунду	б/с
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Двухпозиционная фазовая манипуляция	2-ФМ
C/I	Carrier to interference ratio	Отношение несущая/помеха	
C/N	Carrier to noise	Отношение несущая/шум	
ca	circa (лат.) (about)	Примерно, приблизительно	
CC	Common Channel	Общий канал (ИНМАРСАТ)	
CCIR	International Radiocommuncation sConsultative Committee	Международный консультативный комитет по радиосвязи	МККР

CCITT	International Telephone and Telegraph Consultative Committee	Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии	МККТТ
CDMA	Code Division Multiple Access	Многостанционный доступ с кодовым разделением каналов связи (стандарт беспроводного телефона)	
CELP	Code-Excited Linear Prediction	Линейное предсказание с кодовым возбуждением	
CES	Coast Earth Station	Береговая земная станция	БЗС
CNID	Closed Network Identification	Идентификатор закрытой сети	
Codec	encoder-decoder	Кодек	
CPU	Central Processing Unit	Блок (плата) центрального процессора	
CSC	Common Signalling Channel	Общий канал сигнализации	
CSS	Co-ordinator Surface Search	Координатор надводного поиска	КНП
CW	Continuous Wave	Телеграфия незатухающими колебаниями, аналог А1А	ТЛГ-НЗТ
DAC	Digital-Analogue Converter	Цифроаналоговый преобразователь	ЦАП
D-AMPS	Digital AMPS	Цифровой AMPS (стандарт сотовой связи)	
DC	Direct Current	Постоянный ток	
DCE	Data Circuit Terminal Equipment	Сетевой терминал обработки данных	

DECT	Digital European Cordless Telecommunications	Цифровая европейская беспроводная электро-связь (стандарт беспроводного телефона)	
DHSD	Duplex High Speed Data	Дуплексная высокоскоростная передача данных	
DMG	Distress Message Generator	Генератор аварийного сообщения	
DNIC	Data Network Identification Code	Идентификационный код сети передачи данных	
DNID	Data reporting Network Identification code	Идентификационный код сети передачи рапортов данных	
DRP	Digital Receiver Processor	Цифровой приемный процессор	
DSP	Digital Signal Processor	Цифровой сигнальный процессор	
DTE	Data Terminal Equipment	Терминал обработки данных	
DSC	Digital Selective Calling	Цифровой избирательный вызов	ЦИВ
E/N_0	Energy to spectral Noise ratio	Отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума	
ECS	Electronic Commissioning System	Электронная коммиссионная система (для проведения испытаний)	
EGC	Enhanced Group Call	Расширенный групповой вызов	РГВ
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power	Эквивалентная изотропно излучаемая мощность	ЭИИМ
ELT	Emergency Locator Transmitter	Передачик места бедствия	

EMC	Electromagnetic Compatibility	Электромагнитная совместимость	ЭМС
EMI	Electromagnetic Interference	Электромагнитная интерференция	
E-mail	Electronic mail	Электронная почта	
ENID	EGC Network Identification	Идентификатор сети РГВ (для FleetNet)	
EPIRB	Emergency Position Indicating Radio Beacon	Аварийный радиобуй-указатель местоположения	АРБ
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory	Стираемая программируемая постоянная память	
ERMES	European Radio Messaging System	Европейская система передачи сообщений (стандарт пейджинговой связи)	
etc.	Et cetera (лат.) (and so on)	и так далее	и т. д.
EU	Electronic Unit	Электронный блок	
FAX	Facsimile	Факсимиле, Телефакс, Факс сообщение	ФАКС
FDD	Frequency Division Duplex	Дуплексное разделение по частоте	
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Многостанционный доступ с частотным разделением каналов	МДЧР
FEC	Forward Error Correction	Прямое исправление ошибок	
Fig.	Figure	Рисунок (фигура)	
FIO	Fax Interface Unit	Плата (блок) интерфейса факсаппарата	

FleetNET		Сеть (служба) Флота РФВ в ИНМАРСАТ.	
FSK	Frequency Shift Keying	Частотная манипуляция	ЧМ
FSS	Fixed Satellite Service	Стационарная (фиксированная) система спутниковой связи	
GA	Go ahead	Буквально «Давай дальше» (приглашение к передаче в телексной связи)	
GEO	Geostationary Earth Orbit	Геостационарная околоземная орбита	ГСО
GF	Gold Franc	Золотой франк (условная денежная единица для международных расчетов по связи)	
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System	Глобальная морская система связи при бедствии и для безопасности	ГМССБ
GMT	Greenwich Mean Time	Усредненное Гринвичское время (то же, что и UTC)	ВЧ
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying	Гауссовская манипуляция с минимальным сдвигом	
GMPCS	Global Mobile Personal Communications by Satellite	Глобальная спутниковая система персональной мобильной связи	
GPS	Global Positioning System	Глобальная спутниковая навигационная система определения местоположения	
GSM	Global System for Mobile communications	Глобальная система мобильной связи (стандарт сотовой связи)	

G/T	Gain to Noise temperature	Добротность (отношение коэффициента усиления приемной антенны к шумовой температуре)	
HDX	Half Duplex	Полудуплекс	
HEO	High Elliptical Orbit	Высокоэллиптическая орбита	
HF	High Frequency	Высокая частота	
HPA	High Power Amplifier	Усилитель мощности	УМ
HS	HandSet	Ручной телефон	
HSD	High Speed Data	Высокоскоростная передача данных	ВСПД
IA	International Alphabet	Международный алфавит	МТК-5
IA5	International Alphabet 5, also known as AASII	Международный телеграфный код №5 (известен также, как ААСИИ)	
IAB	Invalid AnswerBack	Неверный автоответ	
ICAO	International Civil Aviation Organization	Международная организация гражданской авиации	ИКАО
ICO	Intermediate Circular Orbit	Промежуточная круговая орбита (название системы спутниковой связи)	
ID	Identificator	Идентификатор	
IF	Intermediate Frequency	Промежуточная частота	ПЧ
ИНО	International Hydrographic Organization	Международная гидрографическая организация	
IMN	Inmarsat Mobile Number	Идентификатор мобильной станции ИНМАРСАТ	

IMO	International Maritime Organization	Международная морская организация	ИМО
IN	Intelligent Network	Интеллектуальная сеть	
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization	Международная организация и система спутниковой связи на море	ИНМАРСАТ
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organization	Международная организация и система спутниковой коммерческой связи	ИНТЕЛСАТ
I/O	Input/Output	Ввод/Вывод (Вход/Выход)	
IOR	Indian Ocean Region	Индийский океанский район	ИОР
ISL	Interstation Signalling Link	Межстанционная линия связи (канал)	
ISDN	Integrated Services Digital Network	Цифровая сеть с интегрированным обслуживанием	
ISO	International Standards Organization	Международная организация стандартизации	
ITA	International Telegraph Alphabet	Международный телеграфный код	МТК
ITA2	International Telegraph Alphabet 2	Международный телеграфный код №2	МТК-2
ITU	International Telecommunication Union	Международный союз электросвязи	МСЭ
JASREP	System similar to AMVER, but operated by the Japanese Authorities	Японская система аналогичная системе АМВЕР	

Kbps	kilobits per second	Килобит в секунду	кб/с
kbyte	1024 bits, or 128 characters	килобит = 1024 бит или 128 символов	кб
LCD	Liquid Crystal Display	Жидкокристаллический дисплей	ЖКД
LED	Light-Emitting Diode	Светодиод	
LEO	Low Earth Orbit	Низкая околоземная орбита	
LES	Land Earth Station	Наземная стационарная станция	
LHCP	Left Hand Circular Polarization	Левосторонняя круговая поляризация	
LMES	Land-mobile Earth Station	Сухопутная мобильная станция	
LNA	Low Noise Amplifier	Малошумящий усилитель	МШУ
LSB	Lower Sideband	Однополосная телефония на нижней боковой полосе частот (J3E)	
LUT	Local User Terminal	Местный терминал пользователя	
MCC	Mobile Country Code	Код страны мобильной станции	
MCC	Mission Control Centre	Координационный центр управления	
MCW	Modulation Continuous Wave	Тонально модулированная телеграфия, аналог H2A	
MEM	Macro-encoded Message	Макрозакодированное сообщение	
MEO	Medium Earth Orbit	Промежуточная (средневысотная) околоземная орбита	

MES	Mobile Earth Station	Подвижная (мобильная) земная станция	ПЗС (МЗС)
METAREA	Meteorological Area	Океанский район и служба передачи метеорологических предупреждений	
MF	Medium Frequency	Средние и промежуточные волны (частоты)	СВ/ПВ
MID	Maritime Identification Digits	Цифры-опознаватели морской подвижной службы	
MMSI	Maritime Mobile Services Identities	Идентификатор морской подвижной службы	ИМПС
MMSS	Maritime Mobile Satellite Service	Морская подвижная спутниковая служба	МПСС
Modem	Modulator-demodulator	Модем	
MS	Mobile Station	Подвижная станция	ПС
MS-DOS	MicroSoft Disk Operating System	Дисковая операционная система фирмы MicroSoft	
MSG	Message	Сообщение, отметка в начале служебной телеграммы или код запроса сообщения	
MSI	Marine Safety Information	Информация по безопасности мореплавания	ИБМ
NAVAREA	Navigational Area	Океанский район и служба передачи навигационных предупреждений	
NAVTEX	Navigational Telex (MF Navigational Broadcast Service)	Служба передачи прибрежных навигационных предупреждений	НАВТЕКС

NBDP	Narrow-Band Direct-Printing	Узкополосное буквопечатание	УБПЧ
NCS	Network Coordination Station	Координирующая станция сети	КСС
NDN	Non-delivery Notification	Извещение о недоставке	
NMEA	National Marine Electronics Association	Национальная ассоциация морской электроники (США)	
NMT	Nordic Mobile Telephone system	Система мобильной телефонной связи северных (скандинавских) государств (стандарт сотовой связи)	
NOC	Network Operations Centre	Сетевой центр управления	
NUA	Network User Address	Сетевой адрес пользователя	
O/E conv	Optical / Electrical converter	Оптико-электрический преобразователь	ОЭП
OCC	Operations Control Centre (INMARSAT)	Центр контроля эксплуатации системы	
O-QPSK	Offset Quadrature Phase Shift Keying	Офсетная квадратурная фазовая манипуляция	КАМ
OSC	On-scene Commander	Командир на месте аварии	
OSC	Oscillator	Осциллограф	
OSS	Out of Service	Вне зоны обслуживания системы	
PA	Power Amplifier	Усилитель мощности	
PABX	Private Automatic Branch eXchange	Учрежденческая АТС	УАТС

PAMR	Public Access Mobile Radio	Системы подвижной радиосвязи с доступом к сетям общего пользования	
PBX	Private Branch eXchange	Офисный коммутатор, офисная АТС	
PC	Personal Computer	Персональный компьютер	
PCM	Pulse Code Modulation	Импульсно-кодовая модуляция	ИКМ
PCU	Pedestal Control Unit	Базовый блок контроля	
PIN	Personal Identification Number (PIN-code)	Персональный идентификационный номер (ПИН-код)	ПИН
PLB	Personal Locator Beacon	Персональный аварийный радиобуй	
PLL	Phase Locked Loop	Кольцо фазовой автоподстройки (Цифровой синтезатор частоты)	
PMR	Professional Mobile Radio	Профессиональные системы подвижной радиосвязи	
POR	Pacific Ocean Region	Тихоокеанский район	ТОР
POCSAG	Post Office Code Standardization Advisory Group	Консультативная группа стандартизации кодов почтовой связи (стандарт пейджинговой связи)	
POTS	Plain Old Telephone Service	Традиционные виды услуг телефонной связи	
ppm	periods per minute	Периодов в минуту	
pps	periods per second	Периодов в секунду	
PROM	Programmable Read Only Memory	Программируемое ПЗУ	ППЗУ

PSDN	Packet Switched Data Network	Коммутируемая сеть пакетной передачи данных	
PSPDN	Packet Switched Public Data Network	Коммутируемая общедоступная сеть пакетной передачи данных	
PSTN	Public Switched Telephone Network	Общедоступная коммутируемая телефонная сеть	
PTS	Proceed to select	Приступы (Начни выбирать)	
PTT	Press – to – talk	Буквально «нажми и говори»	
PVT	Performance Verification Test	Комиссионный тест	
PWR	Power	Мощность	
RAM	Random Access Memory	Оперативное запоминающее устройство	ОЗУ
RCC	Rescue Coordination Centre	Спасательно-координационный центр	СКЦ
RDS	Radio Data System	Система радиоданных (стандарт пейджинговой связи)	
RF	Radio Frequency	Радиочастота	РЧ
RHCP	Right Hand Circular Polarization	Правосторонняя круговая поляризация	
ROM	Read Only Memory	Постоянное запоминающее устройство	ПЗУ
RPE-LTR	Regular Pulse Excited Long Term Predictor	Метод линейного предсказания с возбуждением регулярной последовательностью импульсов и долговременным предсказанием	
RX	Receive/Receiver	Прием/Приемник	

SAC	Special Access Code	Специальный код доступа	
SAR	Search and Rescue	Поиск и спасение	
SARSAT	Search and Rescue Satellite Aided Tracking	Спутниковая следающая система для поиска и спасения	
SART	Search and Rescue Radar Transponder	Радиолокационный поисково-спасательный ответчик	PCO
SCADA	Supervisory control and data acquisition	Система диспетчерского контроля и сбора данных	
SCC	Satellite Control Centre	Центр управления спутниками	
SCPC	Single Channel per Carrier	Один канал на несущую	ОКН
SDR	Special Drawing Right	Специальная переводная денежная единица	
SES	Ship Earth Station	Судовая земная станция	СЗС
SFU	Store and Forward Unit	Блок хранения и передачи информации	
SIM	Subscriber Identity Module	Модуль идентификации абонента (SIM-карта)	
SINAD	Signal to Noise plus Distortion (ratio)	Отношение сигнала к сумме шума и продуктов искажений	
SOLAS	Safety of Life at Sea	Международная конвенция по охране жизни на море	СОЛАС
SRSC	Ship Radio Safety Certificate	Сертификат судна по радиобезопасности	
SSB	Single Sideband	Однополосная радиотелефония	ОБП-ТЛФ

STCW	Standards of Training, Certification and Watchkeeping	Конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты	
SVC	Service	Отметка, предшествующая служебной телеграмме	
TCC	Telephone Country Code	Телефонный код страны	
TDD	Time Division Duplex	Дуплексное разделение во времени	
TDM	Time Division Multiplex	Временное разделение (уплотнение) каналов	ВРК (ВУ)
TDMA	Time Division Multiple Access	Многостанционный доступ с временным разделением каналов	МДВР
TEL	Telephone	Телефон	ТЕЛ
TETRA	Trans European Trunked Radio	Общеввропейская система транкинговой связи (стандарт транкинговой связи)	
TORAC	Telephone Ocean Region Access Code	Телефонный код (доступа) океанского района (ИНМАРСАТ)	
TTY	TeleTYpe	Телетайп (любой терминал)	
TX	Transmit / Transmitter	Передача/Передатчик	
URG	Urgent	Отметка срочности в телексных сообщениях	
USB	Upper Sideband	Однополосная телефония на верхней боковой полосе частот (J3E)	
UTC	Coordinated Universal Time	Универсальное координированное время (Гринвичское)	

UW	Unique Word	Уникальное (стандартное) слово (двоичная комбинация)	
VAD	Voice Activity Detector	Детектор речевой активности	
VAS	Value-Added Service	Служба расчетов стоимости связи	
VCO	Voltage Controlled Oscillator	Генератор, перестраиваемый напряжением	
VDU	Visual Display Unit	Блок видеодисплея	
VHF	Very High Frequency	Очень высокая частота (Ультракороткие волны)	ОВЧ (УКВ)
VOX	Voice Operated Transmission	Передача речевых сообщений	
VSELP	Vector Sum Excited Linear Prediction	Линейное предсказание с возбуждением векторной суммой	
WARC	World Administrative Radio Conference	Всемирная административная конференция по радиочастотам	ВАКР
WMO	World Meteorological Organization	Всемирная метеорологическая организация	ВМО
WWNWS	World-Wide Navigational Warning Service	Всемирная служба навигационных передач	ВСНП
WWW	World Wide Web	Всемирная паутина (Сеть Интернет)	
$\pi/4$ ΔΘΠΣΚ	$\pi/4$ Διφференτιαλ Θ υαδρατυρε Πηασε Σηιφτ Κεψινγ	Дифференциальная квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом $\pi/4$	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированная радиосвязь с судами / под ред. К.А. Семенова. – Л.: Судостроение, 1989. – 336 с.
2. Андрианов, В.И. Средства мобильной связи / В.И. Андрианов, А.В. Соколов. – СПб.: ВНУ–Санкт-Петербург, 1998. – 256 с.
3. Беллами, Дж. Цифровая телефония / Дж. Беллами; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 544 с.
4. Бабков, В.Ю. Системы мобильной связи / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, В.И. Дмитриев. – СПб.: СПб ГУТ, 1999. – 330 с.
5. Бабков, В.Ю. Системы связи с кодовым разделением каналов / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, А.Н. Никитин, М.А. Сиверс. – СПб.: СПб ГУТ, 1999. – 120 с.
6. Бобков, В.А. Береговые средства связи в морской подвижной службе: справочник / В.А. Бобков, В.В. Крестьянинов, В.И. Щепотин. – М.: Транспорт, 1989. – 192 с.
7. Боккер, П. Передача данных: Техника связи в системах телеобработки данных: в 2 т.: пер. с нем. / П. Боккер; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. Т.1: Основы. 1980. – 264 с.; Т.2: Устройства и системы. 1981. – 256 с.
8. Борцов, Д.В. Телеграфия и передача данных на железнодорожном транспорте: учеб. для техникумов / Д.В. Борцов, Н.С. Сухоруков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979. – 454 с.
9. Венскаускас, К.К. Спутниковые системы связи / К.К. Венскаускас. – М.: Знание, 1991. – 64 с.
10. Венскаускас, К.К. Принципы построения глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания: учеб. пособие / К.К. Венскаускас, А.А. Ильин. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1988. – 104 с.
11. Витерби, А.Д. Принципы цифровой связи и кодирования: пер. с англ. / А.Д. Витерби, Дж.К. Омура; под ред. К.Ш. Зигангирова. – М.: Радио и связь, 1982. – 536 с. (Стат. теория связи; Вып. 18).
12. Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности / пер. с англ. Ю.С. Ацерова, В.А. Богданова, Ю.А. Русина; под общ. ред. Ю.С. Ацерова. – М.: Транспорт, 1989. – 63 с.
13. Городская телефонная связь: справочник / Б.З. Берлин, А.С. Брискер, Л.С. Васильева и др.; под ред. А.С. Брискера и К.П. Мельникова. – М.: Радио и связь, 1987. – 280 с.
14. Гроднев, И.И. Оптоэлектронные системы передачи информации / И.И. Гроднев. – М.: Знание, 1991. – 64 с.
15. Громаков, Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю.А. Громаков. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 240 с.

16. Деарт, В.Ю. Телеграфные центры коммутации: учеб. для техникумов / В.Ю. Деарт, А.Н. Курочкин. – М.: Радио и связь, 1994. – 208 с.
17. Дьяченко, Б.М. Техническая эксплуатация судовых радиотехнических устройств и систем передачи информации: учеб. пособие / Б.М. Дьяченко, Ю.С. Иванченко. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1991. – 160 с.
18. Жерлаков, А.В. Радиотехнические средства обеспечения безопасности морского судоходства: учеб. пособие для вузов / А.В. Жерлаков, А.А. Ильин, Г.Е. Румянцев. – М.: Транспорт, 1992. – 216 с.
19. Жилин, В.А. Международная спутниковая система морской связи ИНМАРСАТ: справочник / В.А. Жилин. – Л.: Судостроение, 1988. – 160 с.
20. Иванов, А.А. Оконечные устройства аппаратуры передачи данных / А.А. Иванов, Б.И. Твердов, А.И.Кобленц. – М.: Связь, 1979. – 128 с.
21. Игнатов, В.А. Теория информации и передачи сигналов: учеб. для вузов / В.А. Игнатов. – М.: Советское радио, 1979. – 280 с.
22. Инструкция для операторов-радиотелефонистов по несению радиовахты, обеспечивающей безопасность на море. ДМТ РД. 31.64.24-94. СПб.: ЦНИИМФ, 1994. – 27 с.
23. Инструкция по использованию БАПВ «ДИСК» на судовых каналах связи. ДМТ РД. 31.64.01-94. – СПб.: ЦНИИМФ, 1994. – 74 с.
24. Инструкция по работе в автоматизированной системе телеграфной связи морского транспорта. ДМТ РД 31.64.22-94. – СПб.: ЦНИИМФ, 1994. – 45 с.
25. Кантор, Л.Я. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты / Л.Я. Кантор, В.В. Тимофеев. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
26. Конвенция и эксплуатационное соглашение о международной организации морской спутниковой связи (ИНМАРСАТ). – М.: ЦРИА Морфлот, 1981. – 88 с.
27. Копничев, Л.Н. Передача данных: учеб. пособие для техникумов / Л.Н. Копничев. – М.: Связь, 1979. – 136 с.
28. Копничев, Л.Н. Оконечные устройства документальной электро-связи: учеб. пособие для вузов / Л.Н. Копничев, В.С. Алешин. – М.: Радио и связь, 1986. – 248 с.
29. Лазарева, Е.Е. Циклические и сверточные коды. – М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 1986. – 52 с.
30. Маритекс. Руководство по обмену информацией. Шведская администрация по радиосвязи. Март 1989. – 37 с.
31. Международная космическая радиотехническая система обнаружения терпящих бедствие / А.И. Балашов, Ю.Г. Зурабов, Л.С. Пчеляков и др.; под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1987.–376 с.
32. Мельник, С.О. Оператор факсимильных связей / С.О. Мельник. – М.: Связь, 1978.– 216 с.
33. Многоканальная связь / под ред. И.А. Аболища. – М.: Связь, 1971. – 494 с.

34. Мордухович, Л.Г. Радиорелейные линии связи. Курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие для техникумов / Л.Г. Мордухович. – М.: Радио и связь, 1989. – 160 с.
35. Невдяев, Л.М. Персональная спутниковая связь / Л.М. Невдяев, А.А. Смирнов. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 216 с.
36. Непряхин, А.К. Радиооборудование промысловых судов / А.К. Непряхин. – М.: Агропромиздат, 1987. – 327 с.
37. Носов, Ю.Р. Волоконно-оптическая связь / Ю.Р. Носов. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
38. Осипов, В.Г. Телеграфные аппараты и аппаратура передачи данных: учеб. пособие для техникумов связи / В.Г. Осипов, В.А. Воронов. – М.: Радио и связь, 1984. – 320 с.
39. Писарев, В.А. Радиооборудование морских судов: учеб. для сред. мореход. училищ / В.А. Писарев. – 5-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1991. – 261 с.
40. Подвижные земные станции системы связи ИНМАРСАТ. Модуль 2. ИНМАРСАТ, 1993.
41. Правила радиосвязи морской подвижной службы Союза ССР. – М.: ЦРИА Морфлот, 1980. – 116 с.
42. Правила технической эксплуатации средств радиосвязи на судах Министерства морского флота. РД. 31.65.06-85. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1985. – 44 с.
43. Прагер, Э. Цифровая техника в связи / Э. Прагер, Б. Шимек, В.П. Дмитриев; под ред. В.В. Маркова. – М.: Радио и связь; Прага, SNTL, 1981. – 280 с.
44. Радиотехнические системы: учеб. для вузов / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
45. Радиорелейные и спутниковые системы передачи: учеб. для вузов / А.С. Немировский, О.С. Данилович, Ю.И. Маримонт и др.; под ред. А.С. Немировского. – М.: Радио и связь, 1986. – 392 с.
46. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / под ред. Д.Б. Зимина. – М.: Радио и связь, 1998. – 248 с.
47. Регламент радиосвязи. Т.1. МСЭ ISBN 92-61-04144-2, 1990.
48. Романов, В.В. Системы и сети электросвязи: учеб. для техникумов / В.В. Романов, В.П. Кубанов. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.
49. Руководство по радиосвязи морской подвижной службы и морской подвижной спутниковой службы. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1991.
50. Руководство по организации связи с использованием аппаратуры повышенной верности (АПВ) на судовых каналах связи / В.С. Богданов, К.В. Бахирев. – Владивосток: АО ДВМП, 1994. – 33 с.

51. Сборник инструкций по общей эксплуатации электросвязи в Министерстве морского флота СССР. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1989. – 160 с.
52. Сборник резолюций ИМО, касающихся Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ). – СПб.: ЦНИИМФ, 1993. – 250 с.
53. Сельская телефонная связь: справочник / Ю.А. Алексеев, В.А. Бирюков, А.С. Брискер и др.; под ред. К.П. Мельникова, Ю.А. Парфенова. – М.: Радио и связь, 1987. – 280 с.
54. Системы и средства радиосвязи морской подвижной службы: справочник / К.К. Венскаускас, С.Г. Каргополов, С.А. Михайлова, Д.П. Степаненко. – Л.: Судостроение, 1986. – 432 с.
55. Соловьев, А.А. Пейджинговая связь / А.А. Соловьев. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 286 с.
56. Спилкер, Дж. Цифровая спутниковая связь: пер. с англ. / Дж. Спилкер; под ред. В.В. Маркова. – М.: Связь, 1979. – 592 с.
57. Справочник по спутниковой связи и вещанию / под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1983. – 288 с.
58. Спутниковая связь и вещание: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.Б. Аскинази, В.Л.Быков, М.Н.Дьячкова и др.; под ред. Л.Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1988. – 344 с.
59. Техника электросвязи за рубежом: справочник / Л.И. Яковлев, В.Д. Федоров, Г.В. Дедюкин, А.С. Немировский. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
60. Убайдуллаев, Р.Р. Волоконно-оптические сети / Р.Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 268 с.
61. Фарбер, Ю.Д. Системы передачи с частотным разделением каналов: учеб. пособие для техникумов / Ю.Д. Фарбер, С.Ю. Шадренко. – М.: Связь, 1979. – 280 с.
62. Шварцман, В.О. Теория передачи дискретной информации: учеб. для вузов связи / В.О. Шварцман, Г.А. Емельянов. – М.: Связь, 1979. – 424 с.
63. Конвенция СОЛАС. Консолидированный текст Конвенции СОЛАС-74. СПб.: ЦНИИМФ, 1993. – 758 с.
64. Правила по оборудованию морских судов. Морской Регистр Судостроения. 1995.–320 с.
65. GMDSS Handbook. 1st Edition. London.: IMO, 1992.
66. Inmarsat-A. Maritime User's Manual. Iss. 1. Inmarsat, 1991.
67. Inmarsat-B. Maritime User's Manual. Iss. 1. Inmarsat, 1994.
68. Inmarsat-C. Maritime User's Manual. Iss. 1. Inmarsat, 1991.
69. Inmarsat Maritime Communications Handbook. Iss. 2. Inmarsat, 1995.
70. Техническая документация судового радиооборудования.

71. Найт, У.С. Цифровая обработка сигналов в гидролокационных системах / У.С. Найт, Р.Г. Придэм, С.М. Кей // ТИИЭР. – 1977. – Т. 65. – № 11.
72. Сапрыкин, В.А. Теория гидроакустики и цифровая обработка сигналов / В.А. Сапрыкин, С.П. Рокотов. – Л.: ВВМУРЭ, 1991. Ч. 2. – 416 с.
73. Бурдик, В.С. Анализ гидроакустических систем / В.С. Бурдик. – Л.: Судостроение, 1988. – 392 с.
74. Свидетельство на полезную модель 14677, Россия. Устройство цифрового формирования отклика приемной антенны / С.Н. Павликов, Е.И. Убанкин, В.С. Богданов, И.А. Коленченко. – Бюл. изобр. – 2000. – № 22.
75. Гольд, Б. Цифровая обработка сигналов / Б. Гольд, Ч. Рейдер; Под ред. Трахтмана А.М.. – М.: Сов. Радио, 1973. – 204 с.
76. Самойлов, Л.К. Электронное управление характеристиками направленности антенн / Л.К. Самойлов. – Л.: Судостроение, 1987. – 280 с.
77. Котельников, В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи / В.А. Котельников // Материалы по радиосвязи к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции связи. Всесоюзный энергетический комитет, 1933.
78. Рихачек, А.В. Сигналы допустимые с точки зрения доплеровского эффекта / А.В. Рихачев // ТИИЭР. – 1966. – Т. 54. – № 6.
79. Убанкин, Е.И. Оптимизация широкополосных сигналов / Е.И. Убанкин, С.Н. Павликов. – Владивосток: ДВМГА, 1998.
80. Свидетельство на полезную модель 15062, Россия. Устройство передачи и приёма информации / С.Н. Павликов, Е.И. Убанкин, В.С. Богданов, И.А. Коленченко. – Бюл. изобр. – 2000. – № 25.
81. Сиберт, У.М. Цепи, сигналы, системы / У.М. Сиберт; пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 360 с.

Научное издание

Богданов Виктор Сергеевич
Котов Геннадий Григорьевич
Павликов Сергей Николаевич
Убанкин Евгений Иванович

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Монография

Печатается с оригинал-макета, предоставленного авторами

Подписано в печать 01.03.2018. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,25.
Тираж 600 экз. Заказ

Издательство Владивостокского государственного
университета экономики и сервиса
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41
Отпечатано во множительном участке ВГУЭС
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41