

• РАДИО И СВЯЗЬ •

# СПРАВОЧНИК

ТЕХНИКА  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ  
ЗА РУБЕЖОМ

# **СПРАВОЧНИК**

## **ТЕХНИКА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ЗА РУБЕЖОМ**



**МОСКВА „РАДИО И СВЯЗЬ”**

**1990**

ББК 32.88  
Т38  
УДК 621.396 (035)

АВТОРЫ:

Л. И. ЯКОВЛЕВ, В. Д. ФЕДОРОВ, Г. В. ДЕДЮКИН, А. С. НЕМИРОВСКИЙ

Рецензент В. В. Плеханов

Редакция литературы по радиотехнике и электросвязи

Т38 **Техника электросвязи за рубежом: Справочник / Л. И. Яковлев, В. Д. Федоров, Г. В. Дедюкин, А. С. Немировский. — М.: Радио и связь, 1990—256 с.: ил.**

ISBN 5-256-00686-X.

Даются характеристики радиостанций и систем радиосвязи ряда зарубежных государств. Описываются области использования и пути дальнейшего совершенствования, а также технико-экономические показатели систем электросвязи (по состоянию на 1987 г.). Приводится большое число иллюстраций, схем, таблиц станций, устройств и элементов систем.

Для инженерно-технических работников в области радио- и электросвязи.

Т 2303040000—179  
046 (01)—90 112—90

ББК 32.88

Справочное издание

ЯКОВЛЕВ ЛЕОНИД ИВАНОВИЧ,  
ФЕДОРОВ ВЛАДИМИР ДМИТРИЕВИЧ,  
ДЕДЮКИН ГЕРОЛЬД ВАСИЛЬЕВИЧ,

НЕМИРОВСКИЙ АЛЕКСАНДР СОЛОМОНОВИЧ

**ТЕХНИКА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ЗА РУБЕЖОМ**

Справочник

Заведующий редакцией В. Н. Вяльцев  
Редактор В. К. Старикова  
Переплет художника Н. А. Пашуро  
Художественный редактор А. В. Проценко  
Технический редактор Л. А. Горшкова  
Корректор Н. В. Козлова

ИБ № 1994

Сдано в набор 12.12.89. Подписано в печать 21.08.90. Формат 60×88/16. Бумага офсетная № 2. Гарнитура таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,68. Усл. кр.-отг. 15,68. Уч.-изд. л. 18,71. Тираж 20 000 экз. Изд. № 22657. Зак. № 3893. Цена 1 р. 30 к.

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Государственного комитета СССР по печати. 113054, Москва, Валуевая, 28.

ISBN 5-256-00686-X

© Яковлев Л. И., Федоров В. Д., Дедюкин Г. В., Немировский А. С., 1990

## Предисловие

Международная конвенция по электросвязи, ратифицированная СССР, определяет термин «электросвязь» как «...передачу, излучение и прием заказов, сигналов, письменного текста, изображений и звуков или сообщений любого рода по проводной, радио, оптической или другим электромагнитным системам». Таким образом, термин «электросвязь» предполагает не только связь в объединенном понимании, например связь по телефону, телеграфная связь, связь с ЭВМ и т. д., но и передачу вещательных и телевизионных программ, которые ранее традиционно рассматривались отдельно от электросвязи, поскольку здесь осуществляется не двусторонняя связь, а односторонняя передача информации для широкого круга потребителей.

В настоящее время система электросвязи, посредством которой осуществляются передача и распределение информации, считается одним из самых сложных сооружений, когда-либо создававшихся человечеством.

Интенсивное развитие технических средств электросвязи определяет необходимость освоения новых, более высоких диапазонов частот, использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) в качестве носителей ретрансляторов, стекловолоконных линий и т. д. Практически все открытия современной радиоэлектроники так или иначе используются в перевооружении систем электросвязи, повышении количества и качества услуг. В развитых капиталистических странах осуществляется переход от аналоговых к цифровым сигналам, создаются цифровые сети с интеграцией обслуживания.

В отечественной литературе получили незначительное освещение как принципы организации и использования, так и технические характеристики средств и систем электросвязи капиталистических государств, а также взгляды на дальнейшее их совершенствование и возможные пути научного их развития. Вместе с тем при разработке и сооружении отечественных систем связи и управления имеется настоятельная необходимость учитывать достижения зарубежной промышленности.

Материалы справочника могут быть использованы специалистами в практике при сравнении проводимых научно-исследовательских, опытно-конструкторских ра-

бот, организации серийного производства, унификации и стандартизации средств, их инженерно-конструктивного построения, а также при строительстве сетей и систем связи, разработке технических и организационных методик на период их эксплуатации.

Публикация основана на многочисленных журнальных статьях, рекламных материалах и экспонатах выставок средств электросвязи. Следует иметь в виду, что публикации, и особенно фирменные рекламные материалы, довольно часто преувеличивают возможности аппаратуры, поэтому подход к ним должен быть критическим.

Авторы не претендуют на полноту изложения материалов из-за ограниченного числа публикаций в литературе. Справочник такого рода издается впервые, он не имеет аналогов, поэтому авторы будут благодарны за критические замечания, отзывы и пожелания по его содержанию, которые просят направлять по адресу: 101000, Москва, Почтамт, а/я 693.

# I. Организация и использование электросвязи

## I.1. Общие положения

Международное сотрудничество в области электросвязи обеспечивает созданный еще в 1965 г. Международный союз электросвязи (МСЭ), штаб-квартира которого находится в Женеве. Целями союза являются: обеспечение и расширение международного сотрудничества для рационального использования всех видов электросвязи, а также совершенствование развития технических средств и наиболее эффективная их эксплуатация: помощь развивающимся странам в области развития электросвязи. Международный союз электросвязи обеспечивает интеграцию усилий ученых разных стран в деле улучшения всех средств электросвязи, координацию и нормирование качественных показателей международных сетей связи.

Структура МСЭ приведена на рис. 1.1. Руководящим органом союза является полномочная конференция, собираемая обычно один раз в пять лет. Она определяет общие принципы работы союза, финансирование, избирает генерального секретаря и его заместителя, а также административный совет и совет директоров Международных консультативных советов. Для рассмотрения определенных конкретных вопросов созываются административные конференции (всемирные и региональные).

В подчинении полномочной конференции стран-участниц находится рабочий орган — генеральный секретариат, координирующий всю деятельность МСЭ, куда входят два международных консультативных комитета: по телефонии — телеграфии (МККТТ) и по радио (МККР), а также международный комитет по регистрации

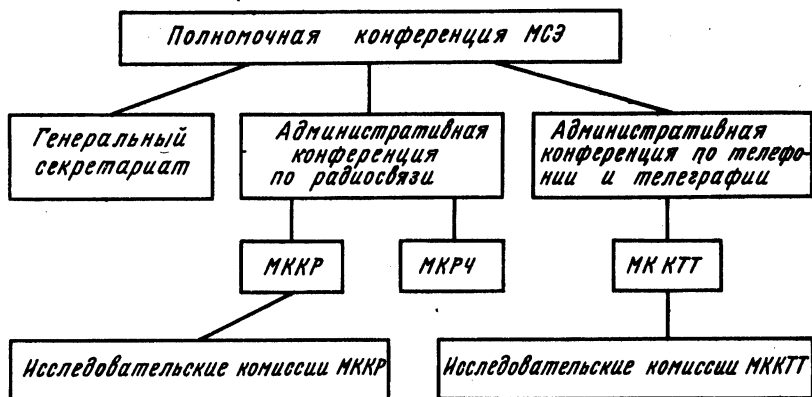


Рис. 1.1. Структура Международного союза электросвязи

частот (МКРЧ). Деятельность первых двух комитетов осуществляется на Пленарных ассамблеях, собираемых один раз в четыре года, и в исследовательских комиссиях.

Исследовательские комиссии МККР изучают следующие основные вопросы:

спектры частот, занимаемые различными службами, и повышение эффективности использования спектров частот; распределение частот с учетом характеристик систем и аппаратуры; измерение характеристик радиоизлучений, влияющих на другие системы радиослужбы, взаимные влияния радиосистем и методы их уменьшения;

исследования пространственных излучений и вопросов радиоастрономии;

распространение радиоволн всех диапазонов и во всех средах (ионизированных, в атмосфере Земли, в межзвездном пространстве);

финишированные (между неподвижными земными станциями) службы связи, использующие ретрансляцию как через ИСЗ, так и наземные пункты;

подвижные службы связи с самолетами, морскими судами и наземными средствами;

проблемы звукового и телевизионного вещания, включая аппаратуру передачи — приема, антенны и т. д.;

повышение точности стандартов частоты и службы времени.

Исследовательские комиссии МККТТ изучают:

тарифы и трафик всех служб электросвязи;

телеграфную службу: методы работы, коммутацию и переключения, ретрансляцию, аппаратуру и оборудование, качество передачи и особенности эксплуатации, планы всемирной телеграфной службы;

телефонную службу: методы работы, переключения и системы служебных сигналов, требования к качеству передачи магистральных и местных сетей, гипотетические цепи, контроль и эксплуатацию, особенности работы через ИСЗ, помехи и шумы;

факсимильную и фототелеграфную службы: оборудование, передача черно-белых и цветных сигналов, требования и характеристики при передаче по телефонным цепям;

передачу данных с низкой, средней и высокой скоростями, цепи, стандартизацию и эксплуатацию;

эксплуатацию линий и цепей при передаче всех видов информации, новые типы оборудования, эффективность эксплуатации;

защиту линий связи от влияний электрических сетей, грозозащиту, защиту от коррозии, изоляцию;

системы многоканальной передачи: оборудование, требования и характеристики при передаче различных видов информации.

Исследовательские комиссии готовят рекомендации, утверждаемые на Пленарных ассамблеях, предлагают исследовательские программы и вопросы для изучения, составляют отчеты и мнения.

Международный комитет по регистрации частот определяет правила распределения и использования радиочастот и работу всех радиослужб, зафиксированных в «Регламенте радиосвязи», производит методическую запись и регистрацию частотных присвоений, сделанных отдельными странами, а также регистрацию расположения геостационарных спутников, дает рекомендации с целью эксплуатации возможно большего числа радиоканалов без взаимных помех. Правом международной защиты от сторонних помех пользуются только радиосредства, зарегистрированные в МКРЧ и опубликованные в «Международном регистре частот».

Таблица 1.1.

## Объем рынка сбыта средств связи в США и Европе, млрд дол.

Оборудование, услуги	1987		1991		Годовой рост, %	
	США	Европа	США	Европа	США	Европа
Системы передачи	3,8	1,6	5,8	2,1	10,7	6,9
Коммутационное оборудование	3,6	2,8	3,0	2,7	-4,3	-0,7
Служба электросвязи (услуги связи)	153,4	45,7	221,5	63,7	9,9	8,2
Системы подвижной связи	2,0	0,5	5,5	0,97	28,9	17,4
Всего	162,8	50,6	235,8	69,5	10,0	8,2

Примечание. Капиталовложения в связь только в 1986 г. составили, млрд дол.: США — 24,01; Япония — 7,08; ФРГ — 5,89; Франция — 4,48; Италия — 3,92; Англия — 3,15; Канада — 1,89; КНР — 1,89; Ю. Корея — 1,42.

Некоторые вопросы, косвенно касающиеся электросвязи, рассматриваются также и в Международной электротехнической комиссии (МЭК), например вопросы взаимных помех (СИСПР).

Кроме всемирной организации электросвязи созданы и международные региональные организации. В частности, социалистические страны имеют такие организации в области радио- и телевизионного вещания (ОИРТ) и в области связи (ОСС).

Рост средств электросвязи можно характеризовать следующими данными: телефонная связь в мире последние 40 лет развивается ежегодно на 6,7%, число терминалов ЭВМ в Западной Европе в последние годы возросло на 26% в год и есть тенденция к еще большему увеличению. Предполагается, что к 2020—2025 гг. число терминалов для всех видов информации сравняется с населением Земного шара (с учетом прироста населения, равного 2% в год). Масштабы капитальных вложений только за 5 лет (1973—1978 гг.) в подводные международные кабельные системы составили 1 млрд дол., в спутниковые системы — 0,25 млрд дол. Объем рынка сбыта средств связи в США и Европе приведен в табл. 1.1, динамика роста пропускной способности сетей связи — на рис. 1.2.

В «Справочнике» основное внимание уделено современным, быстро развивающимся системам электросвязи: многоствольным радиосистемам передачи — РСП (радиорелейным линиям прямой видимости, тропосферным и спутниковым системам), волоконно-оптическим линиям (ВОЛС), а также перспективам их развития.

Большинство современных радиосистем передачи работает в диапазонах дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн, что позволяет передавать по ним широкополосные сигналы и использовать антенны с малыми габаритами при узконаправленном излучении. Радиоволны этих диапазонов устойчиво распространяются только в пределах прямой видимости. Вследствие этого при передаче информации на большие расстояния всегда используется ретрансляция сигналов. При РРЛ прямой видимости (рис. 1.3, а) ретрансляторы размещаются на расстоянии, не превышающем 3...70 км (а в диапазоне миллиметровых волн из-за большого затухания — до 5 км).

Системы связи на декаметровых волнах используются чаще всего в радиовещании, особенно там, где не требуются мощные пучки каналов и экономически

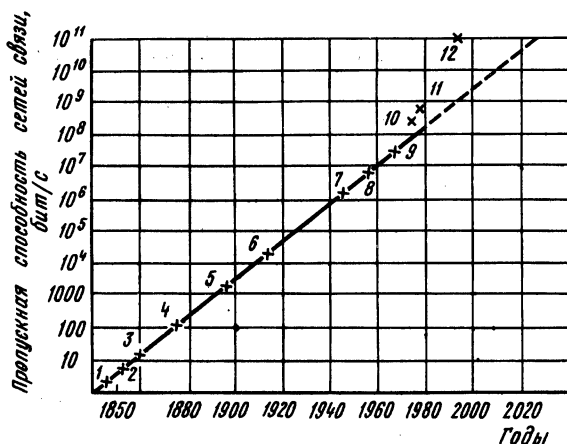


Рис. 1.2. Динамика роста пропускной способности сетей:

1 — телеграфная передача с использованием иголок; 2 — телеграфная передача с использованием кода Морзе; 3 — печатающие телеграфные системы; 4 — многократное телеграфирование Бодо (6 телеграфных аппаратов в одной линии); 5 — первые телефонные линии; 6 — высокочастотное телефонирование с несущей (12 телефонных каналов по одной паре проводов); 7 — коаксиальный кабель (600 ТФ); 8 — сантиметровые линии связи (1800 ТФ); 9 — современные сети, использующие коаксиальный кабель и сантиметровые линии связи (32000 ТФ); 10 — винтообразные волноводы (100000 ТФ); 11 — спутники связи; 12 — лазеры ТФ

целесообразно иметь всего один ТЧ или телекодový канал для связи с подвижными объектами.

Связь с подвижными объектами (автомобилями, самолетами, судами) также является одной из наиболее интенсивно развивающихся отраслей электросвязи. Строятся подвижные системы, обеспечивающие непрерывную связь с автомашина-

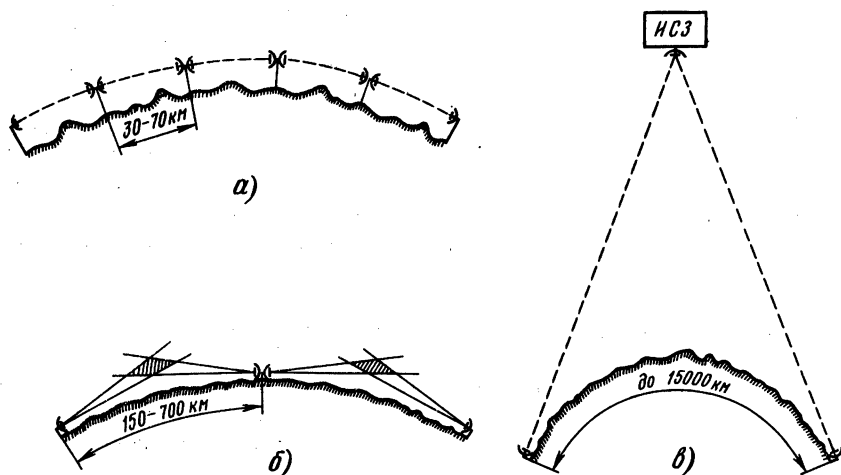


Рис. 1.3. Принцип организации связи при использовании: а) радиорелейной связи; б) тропосферной связи; в) спутниковой связи

Таблица 1.2.

## Показатели цифровых сетей телефонной связи до 1990 г.

Страна	Число телефонов, млн шт	Цифровые сети, %		
		Системы передачи	АТС	АМТС
ФРГ	28,6	40	3	22
Франция	27	40	70	75
Италия	21,7	40	25	—
Нидерланды	6,3	35	35	15
Бельгия	4	35	29	75
Великобритания	20	90	—	90
Дания	3	85	23	40
Испания	12,2	35	5	45

ми, находящимися в любой части Западной Европы, с возможностью выхода в мировую сеть электросвязи. В США, например, около 2 млн автомашин оборудованы системами электросвязи. Мобильные средства электросвязи обеспечивают быструю и гибкую организацию связи, а также замену поврежденных участков кабельных и радиорелейных линий связи.

Развитые капиталистические страны приступили к созданию цифровых сетей связи с интеграцией служб — ЦСИС (ISDN — Integrated Service Digital Network). Развитие ЦСИС предполагается осуществить в два этапа: на первом — абоненту сети выделяются узкополосные цифровые каналы со скоростью передачи до нескольких сот килобит в секунду, на втором — широкополосные, со скоростью от единиц до сотен мегабит в секунду. В настоящее время идет первый этап создания ЦСИС — растут отдельные сети. Примерно к 2010 г. предполагается всеобщий переход к интеграции обслуживания, при которой каждый абонент будет иметь не менее двух каналов со скоростью 64 кбит/с и один канал — 16 кбит/с.

Страны по-разному решают вопрос о способах и методах перехода от существующих, в основном аналоговых сетей, к ЦСИС и о совмещении на достаточно длинный отрезок времени аналоговых и цифровых фрагментов сетей связи с различными скоростями и способами передачи и коммутации. Франция, например (см. табл. 1.2), запланировала и осуществляет перевод большей части сети связи на цифровые методы (для чего уже израсходовала более 30 млрд франков). Великобритания же пошла по пути создания специализированных цифровых сетей при сохранении разветвленной аналоговой сети. Совершенствование сетей решается достаточно сложно и дорого аппаратно, с использованием средств вычислительной техники. Весьма распространена передача по одним линейным техническим средствам аналоговых и цифровых сигналов.

В цифровых системах связи имеется возможность объединить в одном комплексе функции каналообразования, копирования и засекречивания, коммутации и регенерации сигналов, существенно повысить помехоустойчивость и качество передачи. Сейчас на магистральных линиях используется скорость передачи 34...140 и кое-где до 560 и 1120 Мбит/с, а в зональных и местных сетях, где цифровые методы получили наибольшее распространение, — от 2 до 34 Мбит/с, причем в целях экономии спектра

используется многопозиционное кодирование. В настоящее время, например, в США имеется более 220 млн км каналов цифровой связи, в Японии к 1990 г. переведено на цифровую связь 100% междугородных и 30% местных линий. Цифровое кодирование речи облегчает создание систем прямого диалога человека с ЭВМ.

Создаются и широко внедряются учрежденческие системы связи, расширяющие телефонную, телекодovou и факсимильную связь с использованием персональных ЭВМ, что обеспечивает оперативное безбумажное руководство производством.

Важной является проблема выбора линейных средств, используемых для передачи сигналов. В условиях неуклонного повышения цен на медь и другие цветные металлы и существенного снижения стоимости радиоаппаратуры при построении систем связи все большую роль приобретают РСП — подавляющая часть телевизионных и более половины всех телефонных сетей реализовано на РСП. С помощью РСП осуществляется передача 2/3 международного обмена, создаются магистральные, региональные и местные сети связи, способные передавать любые виды информации. Сегодня конкурентом РСП становятся только волоконно-оптические линии связи.

Тропосферные системы (рис. 1.3, б) используют для передачи рассеяния и отражения сигналов от неоднородностей тропосферы, что позволяет увеличить расстояние ретрансляции до 150...700 км (а в отдельных случаях и более).

При использовании спутника Земли в качестве носителя ретранслятора (рис. 1.3, в) удается обеспечить связь на расстоянии до 15 000 км. Этот вид связи наиболее интенсивно развивается в последние годы.

Наиболее «молодым» направлением в технике электросвязи является волоконно-оптическая связь, рожденная в 70-е годы благодаря созданию оптического волокна с малыми потерями и возможности генерации сигналов полупроводниковыми лазерами на основе GaAlAs и InGaAsP (в диапазонах длин волн 0,8; 1,3; ...; 1,55 мкм). Полоса пропускания ВОЛС позволяет передавать гигантские потоки информации в эксперименте до 7 Гбит/с.

Преимуществом ВОЛС являются высокие экономичность, пропускная способность, скрытность и живучесть. Цена одномодового волокна уже сегодня составляет около 0,1 дол. за 1 м. В настоящее время функционирует около 80 тыс. км. ВОЛС в Японии, 20 тыс. км в Великобритании, около 40 тыс. км в ФРГ. В ближайшее время вводится трансатлантическая ВОЛС протяженностью 7 тыс. км при длине ретрансляционного участка 40...56 км и емкостью 8 тыс. каналов тональной частоты (в дальнейшем до 40 тыс. каналов).

Важнейшей тенденцией развития связи за рубежом является создание интегральных цифровых сетей на основе единого цифрового канала.

Проблема экономичных, эффективных и надежных способов объединения всех существующих систем и сетей связи интенсивно исследуется именно в целях создания живучей системы электросвязи, необходимой для управления в любых экстремальных условиях. Для этой цели создаются автоматизированные системы оперативно-технического управления сетями связи.

За рубежом достигнуты высокие результаты по внедрению цифровой коммутации и по прогрессивной технологии специальных интегральных схем для средств коммутации. Это позволило создать несколько систем электронной коммутации, использующих систему сигнализации для цифровых сетей. Ряд перспективных коммутационных систем получают дальнейшее развитие в ближайшие 10...15 лет, напри-

мер EWSD в ФРГ, Fetex, DMIX и NEAX-61 в Японии, System-X в Великобритании, ESS-5 в США, а также во Франции и Швеции.

Базисная технология совершенствования аппаратуры электросвязи основывается прежде всего на совершенствовании элементной базы и микроэлектронной технологии (интегральных схемах). Такие устройства, как малошумящие полевые транзисторы и смесители на барьере Шотки, твердотельные генераторы всех диапазонов частот вплоть до субмиллиметровых, гибридные и монокристаллические интегральные схемы СВЧ на основе арсенид галлия, акусто- и опто-электронные устройства, позволили получить надежные, практически идеальные фильтры и демодуляторы СВЧ, а также другие компоненты аппаратуры радиорелейных и спутниковых систем передачи.

Важную роль играют микропроцессорные устройства, позволяющие резко повысить скорость передачи информации. В США уже испытываются интегральные схемы, работающие со скоростью до  $90 \cdot 10^9$  оп/с и обеспечивающие интеграцию сетей связи (коммутацию, распределение, контроль, управление).

Базисной можно назвать оптическую технологию (фотонику) — стекловолоконные с малыми потерями и высокой пропускной способностью оптоэлектронные устройства, лазерные высокостабильные генераторы, используемые не только для ВОЛС, но и для получения, например, монохромного излучателя цезиевого генератора с нестабильностью около  $10^{-11}$ , необходимой для цифровых систем связи.

К технологическим достижениям следует отнести тот факт, что крупные фирмы выпускают аппаратуру сериями, содержащими однотипные модули и унифицированные узлы. Это позволяет гибко комплектовать станции на разное число каналов, расстояния ретрансляции, диапазоны частот в радиосистемах передачи. Широко практикуется контейнерное исполнение с высоконадежными источниками электропитания (термоэлектрогенераторами, турбогенераторами, солнечными батареями и т. д.).

К началу 90-х годов основными тенденциями развития электросвязи будут: полная автоматизация телефонных сетей; внедрение цифровых каналов и цифровых электронных коммутаторов; увеличение вдвое числа каналов передачи данных; внедрение центров коммутации на базе ЭВМ с пакетной коммутацией, внедрение сетей радиотелефонной связи с подвижными объектами внутри страны и в системах международной связи.

## 1.2. Виды услуг электросвязи

**Телефонная связь.** Наиболее массовый вид связи. Частотный диапазон 300...3400 Гц, планируется использование полосы частот до 6 кГц. В цифровой сети речевые сигналы передаются в канале со скоростью 64 (32) кбит/с. Средняя телефонная плотность в мире к 1990 г. составила не более 16 телефонных аппаратов на 100 жителей (число основных и дополнительных телефонных аппаратов в 1986 г. — 685 млн, а в 1990 — 800 млн). Однако имеется много государств в Азии, Африке, Латинской Америке, где телефонная плотность меньше одного телефонного аппарата. В Африке с ее 500-миллионным населением телефонных аппаратов меньше, чем в Токио, т. е. менее одного аппарата на 100 жителей, тогда как в США — более 100 аппаратов.

К 2000 г. телефонная связь будет включена в единую сервисную дискретную систему связи со скоростью передачи 16 кбит/с и использованием программно-

управляемых коммутационных станций. К этому времени общие капитальные вложения (оборудование и труд) достигнут 2200 дол. на аппарат, можно утверждать, что в предстоящие 10 лет в новое телефонное оборудование будет вложено больше средств, чем было истрачено с момента изобретения телефона.

Предполагается, что сбыт средств телефонной связи будет постоянно возрастать. Относительные доли общего рынка сбыта средств телефонной связи приведены в табл. 1.3.

К концу 80-х годов сформировались новые виды связи, основанные на развитой телефонной сети общего пользования, дополненной средствами человеко-машинного общения (автоматы речевого ввода-вывода, читающие и пишущие автоматы): телефонная почта, электронная почта, телесправочная связь, подвижная радиосвязь, связь АСУ и др. Краткая техническая характеристика видов телефонной связи приведена в табл. 1.4.

Телефонная почта обеспечивает накопление информации и передачу речевых сообщений в режиме телефонии при использовании обычной телефонной сети.

Каждый абонент системы телефонной почты обозначается многозначным номером и может абонировать один или несколько «почтовых ящиков», которые, в свою очередь, имеют свои индивидуальные многозначные номера. «Почтовые ящики» обеспечивают следующие услуги: запись сообщений на пленку (ленту), извещение адресата о полученном для него сообщении, передачу сообщений адресату, переприем сообщений (например, подтверждение в получении сообщения).

Для передачи сообщения в «почтовый ящик» абонент набирает сначала соответствующий многозначный номер ближайшего узла доступа, а затем после ответа системы — свой номер и диктует сообщение с указанием адреса абонента, которому предназначено сообщение. В дальнейшем в соответствии с заданной программой система «почтовый ящик» может передать сообщение адресату немедленно или ожидать, когда адресат сам обратится в «почтовый ящик» за сообщением. При передаче сообщения абонент имеет возможность адресовать свое сообщение нескольким адресатам, переадресовать свое сообщение или вернуть его. Телефонная почта, кроме записи сообщений может, при наличии определенных терминалов, передать изображения схем, карт или текста.

Таблица 1.3.

### Сбыт средств телефонной связи

Средства телефонной связи	Поставки, млрд дол. за периоды			
	1970... ...1980 гг.	1980 г.	1980... ...1990 гг.	1990 г.
Аппаратура коммутации:	47,3	6,8	92,5	13,0
международной связи	27,7	4,0	53,0	7,5
местной связи	60,4	8,7	117,5	16,5
Телефонные аппараты	35,5	5,1	68,5	9,5
Техническое оборудование (усилительных пунктов (УП), средств автоматизации, конт- роля, управления)	25,9	3,7	50,5	13,5
Всего	196,8	28,3	382,0	60,0

Таблица 1.4.

## Технические характеристики дополнительных услуг телефонной связи

Вид связи	Вид обслуживания	Оконечное оборудование	Центральное оборудование	Канал связи	Время передачи 2000 знаков
Телекс—абонентский телеграф	Передача телеграмм и данных в телеграфной сети	Телетайп	Центр коммутации	ТЛГ	5 мин (50 Бод)
Телекс—конторский телеграф	Машинопись и передача текстов по телефонной сети (ГТС и МГС)	Пишущая машинка—терминал связи	Центр сбора сообщений	ТЛФ ТЛГ	4 с (1200 Бод)
Видеотекс—накопление и обслуживание запросов	Выдача текста на телеэкран по телефонным запросам	Телевизор с декодером, телефон с клавиатурой	Центр обслуживания	ТЛФ	2 с (2400 Бод)
Телепочта—трансляция писем	Передача документов в междугородных широкополосных каналах	Телетерминал	Центр управления	ИСЗ, РРЛ кабель	3 мс
Телефакс—факсимильное копирование	Передача писем в телефонной сети, копирование	Факсимильный аппарат	АТС	ТЛФ	3 мин
Телефонная почта—передача телефонограмм	Накопление и выдача звукозаписи сообщений (телефонная почта)	Телефон	Центр обслуживания	ТЛФ	1,5 мин
Телефотодокументирование телекадра	Передача видеосигнала уплотнением телефонного канала	Телевизор с монитором	АТС	ТЛФ	До 10 мин
Телетекст—справочное телевещание	Выдача избирательных справочных текстов уплотнением телевещательного сигнала	Телевизор с декодером и селектором	АТС	ТВ	До 12 с

Массовое использование телефонной почты, как показал анализ ее эксплуатации, примерно в 2 раза эффективнее обычных методов ведения телефонных переговоров. В последние годы «телефонная почта» пополнилась новым видом услуг — использованием радиотелефонной связи с подвижными объектами. Технические характеристики некоторых систем «телефонной почты» приведены в табл. 1.5.

**Передача текстов.** Под передачей текстов понимают передачу техническими средствами текстовых сообщений в закодированном виде с помощью телеграфного аппарата (Телекс), учрежденческого телетайпа (Телетекс) или дисплейного телетайпа.

Для установления связи при текстовом обмене могут использоваться специальные либо телефонные сети. Тексты передаются на скорости 50...9600 бит/с.

**Телеграфная связь.** Этот вид связи позволяет обеспечивать: тактовый набор, опознавание вызываемого устройства, циркулярную передачу, документированный учет стоимости телеграфной связи во время ее работы и ряд других дополнительных услуг. Сети телеграфной связи используют, как правило, телефонные каналы, которые вторично уплотняются с образованием каналов тонального телеграфирования.

Повышение сложности и масштабов внедрения современных средств электро-связи приводит к значительному росту расходов на создание и эксплуатацию сетей и систем.

Одним из основных направлений снижения расходов является максимальная стандартизация. Более того, в последние годы широко используется принцип опережающей стандартизации: стандарты включаются в прогнозируемые требования по изготовлению изделий, сами требования также стандартизуются, причем это касается самых ранних этапов опытно-конструкторских работ. В результате обеспечиваются:

взаимозаменяемость стандартных узлов, блоков и компонентов;

удешевление стандартных изделий из-за увеличения объема их выпуска и числа поставщиков;

рост эффективности использования запасных частей и упрощение эксплуатации;

возможность создания модульных конструкций, уменьшающих трудозатраты и время на проектирование и изготовление опытных образцов и ускорение перехода к серийному производству.

Стандартизация касается не только компонентов узлов и блоков, но и внешней конфигурации, способов крепления, выполняемых функций.

Такой подход не накладывает ограничений на схемные решения, позволяя непрерывно совершенствовать аппаратуру по мере улучшения элементной базы.

**Учрежденческая телеграфная связь.** Этот вид телеграфной связи отличается от других видов тем, что здесь используется большее число знаков (большие и маленькие буквы, специальные знаки) и более высокая скорость передачи (2400 бит/с). Оконечные устройства не отличаются от обычных, а согласующие устройства обеспечивают связь с обычными телеграфными аппаратами.

Учрежденческая телеграфная связь предназначена для деловых связей и может заменить поток деловой переписки. Недостатком ее является невозможность передачи графических изображений, например чертежей, подписей к ним.

**Дисплейная телетайпная связь.** Этот вид связи является типичным примером связи «человек — машина». В качестве устройства воспроизведения текста используется дисплей или телевизионный приемник.

Для передачи информации применяется телефонная сеть, по которой устанавливается связь между телефонным аппаратом абонента и центральной дисплейной

Таблица 1.5.

## Технические характеристики систем «телефонная почта»

Фирмы США	Наименование системы	Назначение системы	Место расположения системы	Расходы абонента, дол.	Число абонентов	Средство доставки	Максимальная длительность сообщения, мин
ECS	Voice Messaging Exchange VMX	Передача речевых сообщений Извещение о сообщении	Абонентские пункты То же	175	3000	Накопитель	10
Voice and Data Systems Vand Lab.				110	3100	То же	Не ограничена
IBM Corp.	Digital Voice Exchange DVX Audio Distribution System	Цифровая передача речи Распределение речевых сообщений	« «	400 235	800 1000	Накопитель до востребования Накопитель	1,5 6
Delphi Commun. Corp	Delphi Voice Messaging System — D—VMS	Система Дельфа (передача сообщений по запросу)	Абонентские пункты, бюро обслуживания	250	100	Накопитель	Не ограничена
Voice Mail Comterm	Voice Message Retrieval System	Поиск речевых сообщений по запросу	Абонентские пункты	78	1536	До востребования	То же
International System International System	Voice Mail Voice Storage System — VSS	Речевая почта Система с накопителем речевых сообщений	Бюро обслуживания То же	25 (в месяц) 2	Телефонная сеть 64000	Накопитель Накопитель	« «

телефонной станцией. С помощью дополнительных устройств можно запрашивать информацию от центральной дисплейной телетайпной станции, которая выводится на экран бытового телевизора. Скорость передачи от центральной станции — 1200 бит/с, а в обратном направлении — 75 бит/с.

Дисплейная телетайпная связь позволяет получать знаки, знаковый фон и фон изображений различных цветов, высвечивать определенные знаки, производить подчеркивание (выделение) знаков, получать знаки удвоенной высоты и ширины.

**Передача неподвижных изображений.** Передаются на расстояния неподвижные изображения, например фотографии. В отличие от передачи текстов в этом случае воспроизводится не только содержание, но и форма изображения. Для этой цели на передающей станции осуществляется точечная развертка оригинала, на приемной — из отдельных точек изображения вновь восстанавливается оригинал.

Аналоговые устройства для работы используют телефонную сеть, а цифровые — объединенную телеграфную сеть и сеть передачи данных со скоростью до 9600 бит/с.

Стандартное время передачи одной страницы 3 мин. При соединении двух телекопировальных аппаратов с одинаковыми характеристиками время передачи сокращается до 2 мин.

**Передача подвижных изображений.** Этот вид связи служит для передачи техническими средствами связи подвижных изображений. Существенным признаком этого вида связи является использование широкополосных систем связи для передачи сигналов, формируемых при строчной и кадровой развертках подвижных изображений. Необходимость подобной передачи возникает в видеотелефонной связи, для проведения телевизионных конференций, вывода на экран изменяющейся информации.

Скорости передачи 1...34 Мбит/с.

**Передача данных.** Передаются знаки из ограниченного набора (резерва) знаков, которые на приемном пункте обрабатываются в специальных решающих устройствах.

В качестве технических средств для передачи данных используется телефонная сеть и специальная сеть передачи данных с коммутацией каналов или коммутацией сообщений.

Скорость передачи данных в сетях с коммутацией сообщений от 50 бит/с до 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 кбит/с.

**Электронная почта.** Под понятием «электронная почта» подразумевают различные информационные сети на базе ЭВМ и системы факсимильной передачи информации, а также автоматизированные телеграфные сети (типа международной коммутируемой сети Телекс).

Внедрение электронных компонентов позволило ввести ряд усовершенствований: появились автоматизированные центры коммутации, телетайпные аппараты с электронным управлением и ЗУ, ряд усовершенствованных печатающих устройств с пониженным уровнем шума.

Одной из разновидностей «электронной почты» является автоматизированная система передачи сообщений, возникшая на базе ЭВМ. Подобные системы функционируют, как правило, по принципу «почтового ящика» — каждый абонент системы может оставить для любого другого абонента сети сообщение в выделенной для него области памяти. Сообщения могут подготавливаться заранее. Преимущества этого

Таблица 1.6.

## Характеристика групп абонентов по объему почтового обмена

Группы абонентов	Годовой объем сообщений, млрд шт.	Число станций ввода-вывода, шт.	Число общественных терминалов, шт.	Численность персонала, чел.	Стоимость одной тыс. отправок, дол.	Капиталовложения, дол.	Эксплуатационные расходы, млн дол.
A	19,8	150	1986	9177	26	1,375	381
B	22	360	6225	9506	29	1,913	442
C	24,1	87	7114	3942	18	1,590	285

способа обмена информацией: не требуется одновременного подключения к каналу связи отправителя и получателя, что особенно важно при работе в различных часовых поясах; передача может осуществляться независимо от сиюминутного наличия адресата; доступ к электронному почтовому ящику возможен через сети общего пользования с пакетной коммутацией, терминалы которых могут быть расположены в гостиницах, отделениях связи, других учреждениях.

Основные причины, побудившие создание электронной почты: длительность прохождения почтовых и телеграфных сообщений, подорожание ручного труда, дефицит трудовых ресурсов, низкое качество корреспонденции, постоянно растущие масштабы почтовых и телеграфных сообщений. Существующие телеграфные и телефонные сети перегружены, как правило, в дневное время и совершенно не загружены в ночное, кроме того, теряется много времени на повторные вызовы из-за отсутствия абонента и ряда других причин. Например, в США почтовые служащие составляют 500 тыс. человек и на оплату их труда расходуется 85% суммы общих затрат на почтовые расходы. И эти расходы возрастают ежегодно на 8%.

Национальная Почтовая служба США расширила возможности электронной почты: установила «электронные почтовые ящики» в торговых центрах, учреждениях, на промышленных объектах и в других местах, пользующихся большим количеством почтового обмена (табл. 1.6). Ввод общественных терминалов позволил сократить численность персонала и снизить стоимость отправок, капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Вторым видом электронной почты стала факсимильная почта, которая совершенствуется в следующих направлениях: повышение быстродействия, автоматизация процессов приема и передачи, контроль передачи и коррекция ошибок, автоматическая обработка передаваемых и выдаваемых документов, обеспечение тайны переписки, высокие эксплуатационные характеристики при низкой арендной плате и т. д.

Третьим видом электронной почты является система передачи текстов, которая обеспечивает передачу буквенно-цифровых текстов, набираемых с клавиатуры и посылаемых адресатам, абонентам, входящим в систему обмена сообщениями, подобную системе Телекс, отличающуюся высокими скоростями и широкими возможностями по обработке и хранению информации. Система снижает объем архивного хранения документов у абонентов, позволяет знакомиться с 30 наименованиями корреспонденции менее чем за час, сокращая время администраторов. Использование системы приводит к сокращению расходов на делопроизводство, почтовые отправления, бумагу, телефонные разговоры,

численности обслуживающего персонала. В результате общая прибыль составляет 35...40 центов за каждое отправление.

Четвертым видом электронной почты является глобальная система обработки коммутируемых текстов, создание общенациональной сети с использованием более совершенных терминалов. При этом система электронная почта полностью сопрягается с существующими системами ЭВМ, телексами, терминалами; обеспечивает прием без участия оператора с автоматической подачей бумаги, хранение и передачу информации в нужный период, передачу сообщений от абонента к абоненту по телефонным линиям без использования бумаги. Передача в глобальной системе осуществляется по телефонным сетям, радиорелейным и тропосферным линиям и через спутники связи со скоростями от 60 до 1200, 2400, 4800 и 9600 Бод. При высокой скорости передачи страница текста может быть передана за 6...8 с, а в дальнейшем — за 3 с.

Дальнейшее совершенствование электронной почты направлено на непосредственную связь с микропроцессорами и многофункциональными терминалами с памятью. Внутри учреждения подобные устройства будут осуществлять взаимосвязь подразделений друг с другом без участия операторов. Подобному развитию систем способствует внедрение автоматической копировальной техники, устройств обработки текстов, электронных пишущих машинок с памятью и т. д.

### **1.3. Интеграция цифровых сетей**

В каждой стране переход на цифровую связь осуществляется по-своему, но есть общие методы, основными из которых являются: метод замещения и метод наложения.

*Метод замещения* характеризуется использованием цифровых систем передачи и коммутации для наращивания емкости существующих систем и замены устаревшего оборудования. При этом аналоговые системы либо не заменяются цифровыми до полной выработки сроков технической эксплуатации, либо заменяются и переоборудуются в цифровые с использованием аппаратуры ИКМ. Преимущества этого метода — возможность полного использования аналогового оборудования, переоборудование осуществляется поэтапно в ограниченных масштабах и не требует больших финансовых и трудовых затрат. Недостатки: междугородная связь проходит через несколько аналоговых и цифровых участков, что приводит к значительным затратам (аппаратура кодирования, декодирования, преобразование каналов с временным разделением каналов в каналы с частотным разделением) и ухудшает отношение сигнал/шум; невозможно перевести сеть на интеграцию видов связи, а значит, и получить дополнительные услуги.

*Метод наложения* заключается в создании в полном объеме цифровой сети наряду с существующей аналоговой, с охватом данного района (участка). Возможность перехода между этими сетями предусматривается в минимальном числе узлов связи. Преимущества: возможность интеграции видов связи; сопряжение аналоговой и цифровой сетей в минимальном объеме не составляет значительных технических трудностей и др. Недостатки: требует больших единовременных капитальных затрат на сооружение цифровой сети; увеличивается путь прохождения информации через две сети; одновременное существование двух сетей требует больших экономических затрат. Несмотря на это, зарубежные специалисты считают, что метод наложения по техническим и экономическим причинам более выгоден.

С развитием техники цифровой передачи, и особенно с внедрением цифровых систем коммутации, появилась возможность заменить множество специализированных сетей национальными и региональными цифровыми сетями с интеграцией обслуживания (ЦСИО), которые по сравнению с существующими специализированными сетями обладают более высокой технико-экономической эффективностью, пропускной способностью, универсальностью использования.

Высокая технико-экономическая эффективность обусловлена возможностью цифровой коммутации и передачи реализуемых на базе цифровых компонентов низкой стоимости. При этом высокая пропускная способность достигается использованием высокоскоростных цифровых систем передачи всех уровней иерархии, обеспечивающих одновременную передачу различных видов цифровых сигналов.

По определению МККТТ ЦСИО предусматривает организацию цифровых трактов от абонента к абоненту. Она представляет абоненту пользоваться целым рядом услуг. Система должна строиться на базе интегральных цифровых сетей связи (ИЦСС), включающих первичную сеть цифровых каналов и цифровые станции коммутации с возможностью увеличения скорости передачи и качества обслуживания, использования перспективных видов каналов (волоконно-оптических, спутниковых), организации новых видов служб связи, смены поколений аппаратуры, наращивания мощности сети.

Характерными особенностями ЦСИО являются: возможность установления связи по совершенно «прозрачным» каналам 64 кбит/с, обеспечивающим речевой и неречевой трафик; расширение ряда многоцелевых интерфейсов «пользователь — сеть» и служб.

По рекомендации МККТТ ЦСИО должна обеспечивать работу по цифровым каналам со скоростью 64 кбит/с (при базовом доступе) и 16 кбит/с. По каналам со скоростью 64 кбит/с передается: речевая информация, данные в режиме коммутации пакетов и коммутации каналов, данные совместно с речевой информацией, со скоростями, меньшими 64 кбит/с. Канал 16 кбит/с предусмотрен для передачи сигналов управления и данных.

Переход к цифровым сетям с интеграцией обслуживания позволит более полно использовать возможности существующих первичных сетей для передачи не только речевой информации, но и данных, документальной информации и изображений при минимальных затратах на реализацию новых услуг. В перспективных ЦСИО будут расширены услуги потребителям, а скорости передачи составят от 300 бит/с до 100 Мбит/с. При этом низкие скорости будут использоваться в метрологии, при передаче телеметрической информации (например, в энергосистемах), средние скорости — для обеспечения доступа интерактивных терминалов к базам данных, связным процессорам, ЭВМ и другим терминалам ПД, факсимильной аппаратуре, видеоинформационным системам.

Передача речи и звуковых сигналов в общем информационном потоке останется преобладающей, и поэтому в перспективе возможна передача ее со скоростью 16 и 8 кбит/с вместо 64 и 32 кбит/с, а потоки при межмашинном обмене со скоростью — 1,5 Мбит/с. Будет осуществляться цифровое телевидение. При прямом кодировании ТВ сигналы передаются со скоростью 100 Мбит/с или методом сжатия ТВ сигналов, что позволяет передавать телевизионное изображение со скоростью 4,5 Мбит/с.

На базе ЦСИО планируется обеспечить национальный и международный доступ телефонии, а при ПД — вызов с ручным и автоматическим набором номера. Кроме

того, с использованием телетекста планируется обеспечить организацию входящего вызова, не разрушающего местный вызов, печатание сообщения по желанию абонента, его редактирование и сокращение времени занятия канала.

Ожидается, что использование ЦСИО при цифровой факсимильной передаче (графики, печатный материал и др.) позволит передать форматный лист за 5 с; при передаче с помощью Телекс — за 2 с; при использовании системы Видеотекс — за 1 с.

Для синхронизации работы системы в США, Канаде, Японии принят метод «ведущий — ведомый», при котором сигнал эталонной частоты передается из одного узла (ведущего) в другие (ведомые).

К середине 80-х годов цифровые линии составили более 40% общего объема линий США, а в 90-х годах их будет 90%, в том числе 25...30% на базе волоконно-оптических линий. Строятся сети интегрального обслуживания. Интегральная цифровая сеть связи объединит различные виды услуг, причем цифровые каналы будут доведены до абонентских терминалов. Сеть интегрального обслуживания является наиболее экономичной, гибкой, с высоким качеством обслуживания и многофункциональными видами самообслуживания.

Некоторые новые службы получают массовое внедрение, в том числе: факсимильная служба передачи всех видов документации на удаленные терминалы с достоверным воспроизведением формы оригинала; служба Телетекс, позволяющая осуществлять обмен сообщениями между абонентскими установками в автоматическом режиме связи с ЗУ, при этом соединенные между собой терминалы выполняют функции составления, обработки и печати текстов; служба Видеотекс — для запроса информации по телефону в режиме диалога с банком данных, при этом терминалами служат телевизионные приемники, снабженные специальными приставками.

В интегральных сетях связи увеличиваются основные и дополнительные услуги обслуживания абонентов (табл. 1.7).

Различаются три основных этапа преобразования интегральной сети передачи данных в интегральную цифровую сеть связи: основная, частичная и полная интеграции.

При основной интеграции телефонные соединения устанавливаются непосредственно согласно обычным условиям, в то время как соединения для передачи данных ведутся через абонентские линии прямого вызова местной телефонной станции (такая абонентская линия разрешает доступ с терминалом передачи данных на центры сети, управляющие процессом установления соединений).

При частичной интеграции канала для телефонных соединений и передачи данных устанавливаются по общему протоколу (протокол включает в себя служебные коды, позволяющие устройствам управления, служащим для обработки соединений на телефонной станции, учитывать требования отдельных служб и осуществлять соединения с нужными сетями).

При полной интеграции применяются общий протокол и общая процедура для установления соединения, управления отдельными службами и отдельными услугами, имеющими общую область применения (единые планы нумерации и направления нагрузки услуг спецслужб). Структура работы сети при полной интеграции обеспечивает интегральные системы передачи сообщений в виде речи, текста, изображений и данных, а у оконечных абонентов — необходимый набор для этой связи тер-

Таблица 1.7.

## Услуги интегральных сетей

Услуги	Телефонная служба	Передача данных	Телетекс	Видеотекс	Факсимильная связь
Основные услуги	Междугородные соединения; междугородные соединения; предотвращение нежелательных вызовов	Автоматический набор; ручной набор; автоматический ответ на вызов в званном номере	Входящие вызовы без прерывания местной работы; распечатка сообщений по требованию оператора; воспроизведение сообщений как в оригинале; автоматический ввод календарной даты и времени суток	Вызов информации в процессе диалога с центральным банком данных	Автоматический и ручной набор; автоматический ответ
Дополнительные услуги	Сокращенный набор номера; автоматическая справочная служба; обратный звонок; конференц-связь; ожидание занятых номеров; блокировка исходящих междугородных соединений; прямой вызов; подробная регистрация тарифов; автоматическая служба побудки (более 70 видов услуг)	Прямой вызов; закрытые группы пользователей с исходящим номером; индикация номера вызывающего абонента (то же вызываемого); сокращенный набор; блокировка входящих вызовов; циркулярная передача; подробная регистрация тарифов; перевод вызова; индикация тарифов	Передача сообщений с задержкой; сокращенный набор; многократная адресация; индикация тарифов; переход в сеть Телекс; графическое воспроизведение	Резервирование и различные заказы; служба сообщений; вывод программ из банка данных на терминал; воспроизведение текста с добавлением особых знаков	Передача сообщений с заданным накоплением; циркулярная передача; преобразование кодов скоростей и форматов сигналов различных терминалов

миналов, как в учреждениях, так и в квартирах. При этом с помощью учрежденческих терминалов воспроизводится и обрабатывается документация, предоставляются услуги телефонной почте с возможностью редактирования сообщения на экране; оформляется и ведется документация, вводятся данные с тастатуры, телекинопроекторов, осуществляется доступ к ЭВМ. С помощью квартирных терминалов обеспечиваются телефонная связь, службы развлечения (видеоигры через службу Видеотекс), службы прессы (распечатка статей из газет и журналов); консультации по вопросам эксплуатации домашних приборов, покупки вещей и продуктов; планирования семейного бюджета; регистрация прихода и расхода бюджета и др.

Для передачи речи и данных в интегральной сети требуется усовершенствованное терминальное оборудование. Терминал международной службы Телекс состоит из следующих блоков: стандартной клавиатуры пишущей машинки с дополнительными клавишами для управления всеми функциями обработки текста и связи; дисплея для воспроизведения 20 строк текста (в каждой строке по 80 знаков), а также всей необходимой информации; печатающего устройства со скоростью 55 эк/с; микропроцессора для управления всеми устройствами и микропроцессора для управления всеми функциями связи. Разрабатываются терминалы в качестве дополнительных устройств к существующей аппаратуре. Например, при оборудовании рабочего места секретаря в Великобритании к бытовому цветному телевизионному приемнику с декодером разработан и внедрен ряд модификаций терминалов другого назначения: телефонный аппарат с переключателем «Речь/Текст», печатающее и считывающее устройства, копировальный аппарат, обработка текста, печатание писем, редактирование графических изображений.

Около 65% терминалов сосредоточено в Великобритании, Франции, Западной Германии и Италии, среднее же их число на 1 место работающих составляет в Западной Европе 3—5, а в США — 24.

В США созданы «сети повышенного качества» — такие, как сеть Avtonet. Эта сеть охватывает значительную часть территории США и обеспечивает доступ абонентам к другим сетям общего пользования в США и в 35 других странах. В сети задействовано более 7 пунктов доступа, связанных со 185 процессорами и 130 главными ЭВМ. Передача данных осуществляется в режиме пакетной коммутации со скоростями 110...1200 бит/с, а при использовании специальных линий связи — до 4800 бит/с.

Число ошибок не превышает одной на  $10^{12}$  переданных знаков, коэффициент готовности — 99,5%. Эта сеть также объединяет службы электронной почты, абонентского информационного справочника и ряд специальных служб, обеспечивающих для абонента выбранный трафик работы по количеству времени и объема.

Вторая сеть США — Telenet — охватывает свыше 250 городов страны и соединяется с национальными системами связи 40 стран. При этом каждый из узлов сети имеет свои как бы локальные сети, которые благодаря концентраторам объединяются с линиями магистральных передач со скоростями 9600 бит/с.

Вступила в строй служба электронной почты Teletail, услугами которой пользуются 150 фирм США. Абоненты службы Teletail для доступа сети пользуются

портативными терминалами, а сообщения печатаются автоматически на специальных устройствах или телетайпах.

Сеть ЭВМ Tarnnet обслуживает около 100 тыс. абонентов в США, которым предоставляется доступ к 800 главным ЭВМ и обеспечивается доступ к национальным сетям 37 стран. В среднем за сутки в сети осуществляется около 250 тыс. сеансов связи; в часы наибольшей нагрузки (ЧНН) обеспечивается одновременное обслуживание до 5 тыс. абонентов. В сети предусмотрены два основных вида работы: передача данных с пакетной коммутацией и диалоговый обмен данными. Скорости работы в синхронном и асинхронном режимах составляют 110...9600 бит/с. Дополнительно в сети установлено 27 наземных станций спутниковой связи, задействованы службы электронной почты.

В США, на базе западно-германской системы пакетной коммутации внедрена новая сеть передачи данных WINDS. Она включает: центр управления и контроля; коммутационные станции; оконечные станции; концентратор и вычислительный центр. Центр управления и контроля осуществляет контроль за состоянием сети, расчет тарифной платы, сообщает о неисправностях и ошибках; вычислительный центр обеспечивает информационное обслуживание и совместимость с другими сетями; концентратор подключает абоненты городской телефонной сети. Сеть обеспечивает два режима работы: низкоскоростную передачу данных — 11 Бод и высокоскоростную для ЭВМ — до 5,6 кбит/с.

## **2. Радиорелейные системы связи**

### **2.1. Общие положения**

В середине 30-х годов в США была построена первая радиорелейная линия прямой видимости (РРЛ) с шестью ретрансляционными пунктами между Нью-Йорком и Филадельфией. В короткий срок этот род связи стал одним из основных при создании линий передачи информации в большинстве зарубежных стран. Быстрому развитию радиорелейной связи способствовали ее преимущества по сравнению с кабельными и другими видами (родами) 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 2/3 междугородных телефонных связей и вся передача междугородных телевизионных программ (вплоть до ввода в строй систем связи через ИСЗ) обеспечивались с использованием РРЛ, в странах Западной Европы 50% национальных телефонных и 95% телевизионных сетей построены также с использованием РРЛ, в Японии РРЛ составили 50% всех имевшихся линий связи и 98% линий междугородной передачи телевидения. Кроме телефонной связи и передач телевидения радиорелейные сети и системы связи широко применяются для передачи данных, радиовещания, обслуживания газо- и нефтепроводов, линий электропередач

и железных дорог, строительства местных, локальных и магистральных сетей и систем радиорелейной связи, а также в системах военной связи.

Радиорелейную аппаратуру, линии и системы связи за рубежом разрабатывают и эксплуатируют телефонные и телеграфные компании, фирмы проводного телевизионного вещания и другие специализированные фирмы связи. Так, в США производством аппаратуры и строительством РРЛ занято более 60 фирм, наиболее крупными из которых являются: Bell System, Western Union, Data MCI (фирма микроволновой связи), Datran (фирма передачи данных), Western Telecommunications Ins и др.

Системы и сети радиорелейной связи постоянно совершенствуются, проводится их модернизация в целях повышения пропускной способности, повышения надежности, применения усовершенствованных методов и форм коммутации, методов передачи информации, в том числе цифровой, обеспечения работы в сетях ЭВМ и др., что позволяет значительно увеличивать их экономическую эффективность. После реконструкции сетей и систем радиорелейной связи США доходы фирм от их эксплуатации возросли с 400 млн дол. в 1971 г. до 1,5 млрд дол. в 1980 г.

В большинстве зарубежных государств в радиорелейной связи наиболее широко используются диапазоны частот 2, 4, 6, 8, а в последние годы — 11, 12, 18 ГГц и более. При этом диапазоны частот 2, 8 ГГц используются в основном для внутризоновых систем связи емкостью менее тысячи телефонных каналов, а диапазоны 4, 6 ГГц — преимущественно для магистральных систем емкостью 1200 и более телефонных каналов. В начале 80-х годов в связи с ростом объемов передачи и загруженностью диапазонов ДЦВ и СМВ зарубежные фирмы приступили к освоению диапазонов более высоких частот — 30, 40 и 60 ГГц, т. е. диапазонов миллиметровых волн.

Надежность радиорелейных линий связи достигается применением систем резервирования по участкам, когда из общего числа стволов выделяются резервные, автоматически включающиеся в работу в случае повреждения одного из рабочих стволов. Переключение на резерв осуществляется по сигналу, передаваемому по групповому спектру или по спектру промежуточных частот. Надежность радиорелейной аппаратуры достигается применением перспективной элементной базы, новейшей технологии производства, обеспечением бесперебойного электропитания.

Питание аппаратуры осуществляется: от автономного источника (аккумуляторов — буферный источник питания), а также от промышленной электросети переменного тока.

Служебная связь на линии и в системе связи предусматривает использование двух — четырех телефонных каналов связи, а также сигналов телеуправления и телесигнализации (ТУ — ТС).

Большинство существующих радиорелейных систем использует частотное разделение каналов (ЧРК) и частотную модуляцию (ЧМ).

В системах радиорелейной связи емкостью до 960 каналов аппаратура радиорелейных станций, как правило, выполнена полностью на транзисторах и микросхемах: при емкости 1800 каналов и выше в выходных ступенях передатчиков верхней области СМВ наряду с твердотельными приборами находят применение высоконадежные ЛБВ.

Технические характеристики аналоговых РРС конца 70-х годов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

## Технические характеристики аналоговых РРС

Страна	Тип РРС	Диапазон частот, ГГц	Емкость (число телефонных каналов)	Мощность передатчика, Вт	Коэффициент шума приемника, дБ	Стабильность частоты	Потребляемая мощность, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Большой емкости</i>							
Япония	TR-26 960	1,7 ... 2,3	960	0,4; 2; 4	6,5; 3	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$	6,5; 16; 28,5
Япония	TR-46/960/1800	3,4 ... 3,9	960, 1800	0,1; 0,5; 1,3; 5	6,5; 4,5	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$	10; 14,5; 34,5; 67,5
Франция	FH-663	3,8 ... 4,2	600, 1800	16	9	—	—
Франция	SH-6-1800	5,9 ... 6,4	900, 1800	1	—	—	—
Великобритания	RL4H	6,0	960	—	8	—	—
Япония	TR-4G 3600	3,7 ... 4,2	3600	31,5	4,5	—	220
Япония	TR-5G 3600	3,6 ... 4,2	3600	28	5,5/2,5	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	195
Япония	TR-6G 2700	4,4 ... 5,0	2700	16	8	—	—
Великобритания	L-300	6	60	7	4,5	—	—
Япония	(4 модификации)	3,8 ... 5,1	2700	—	—	—	—
Япония	TR-11G 2700	8,9 ... 9,6	2700	7	10	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	130
Япония	(GGH)	10,7 ... 11,7	1800	10; 7,9; 2	8,5	—	170, 200
ФРГ	FM 1800—TV/600	10,7 ... 11,7	1800	5, 10, 15	8	—	—
ФРГ	FM 960—TV/600	5,9 ... 6,4	960	0,35	10	—	—
Италия	FV-23	1,4 ... 1,5	660, 960	—	9	—	—
Италия	(комплекс)	7,1 ... 7,7	960, 1800	—	—	—	—
Италия	HT-4	3,6 ... 4,2	300, 600,	1	7	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	115
Япония	76B-120	6,5 ... 6,8	960	0,2	8	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	100
Япония	12GB-120	7,1 ... 7,7	120, 300, 600, 960	20	8	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	225
Франция	FH750	12,2 ... 12,4	2700	1,4 $\div$ 0,7;	7	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$	90
Франция	FH 665	6,4 ... 7,1	600, 960,	0,6	—	—	—
США	AR6A	3,8 ... 4,2	1200	0,3	—	—	—
		7,7 ... 8,5	6000	—	—	—	—
		6	—	—	—	—	—

Страна	Тип РРС	Диапазон частот, ГГц	Емкость телефонных каналов)	Мощность передатчика, Вт	Коэффициент шума приемника, дБ	Стабильность частоты	Потребляемая мощность, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
США	ТСМ-6 (комплекс)	1,7 ... 15,35	1800	1; 3,15, 25, 75	8, 8,5; 10; 12	—	130
США	MLV-010 (комплекс)	2,6 ... 2,6; 11,7 ... 13,2	600	0,3; 0,75; 2	10	—	—
Италия	ТН-Т4	3,6 ... 4,2	960; 1800	1,5; 5	6	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	50, 100
Италия	ТН-6n	6,7	2700	11,2	6,5	$\pm 1,5 \cdot 10^{-5}$	120
Италия	HG-7	7,1 ... 7,7	960, 300	0,8	8,5	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	65
Япония	VXFT-FH	2,6; 7,0; 12,0	120	15,1	11	—	—
Япония	6V1800	5,6 ... 6,1	1800	10	7	—	—
<i>Малой и средней емкости</i>							
Япония	900B-24/160/120	0,83 ... 0,96	24, 60, 120	5	6,5	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$	65
Япония	1,5/2GB-60/120/300	1,43 ... 1,53	60, 120, 300	0,2; 1	7	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	60
Япония	400B-60	0,335 ... 0,47	24, 60	10	5,5	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	60, 75
Франция	TFH 050	0,79 ... 0,89	24, 120	2; 13	—	—	50

Окончание табл. 2.1

Страна	Тип РРС	Диапазон частот, ГГц	Емкость (число телефонных каналов)	Мощность передатчика, Вт	Коэффициент шума приемника, дБ	Стабильность частоты	Потребляемая мощность, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
ФРГ	FM-24-132/7200	7,1 ... 7,4	24, 72, 132	0,5	9	—	—
ФРГ	FM-24/800	0,6 ... 0,9	24	10	—	—	170
ФРГ	FM-24-72/300	0,23 ... 0,36	24, 72	1,5; 12	6	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$	40—60
Норвегия	NL-103, -126, -127	1,4 ... 1,5; 1,7 ... 2,1 2,1 ... 2,3	60, 120, 300	4,1	7,5	—	100
Финляндия	FM-300-8000	7,9 ... 8,4	300	0,8	—	—	—
Финляндия	FM-4-430	0,39 ... 0,47	4	1,0	—	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$	25
Финляндия	FM-120-8000	7,9 ... 8,4	120	1,0	—	—	—
Финляндия	FM-12-450	0,39 ... 0,47	12	4	—	—	—
США	LR2-400	0,33 ... 0,47	24, 60, 72	1, 10	5	$1 \cdot 10^{-5}$	24; 60
Великобритания	PRD-1100	0,14 ... 1,53	24; 36	1,3, 10	8, 9	—	80
Великобритания	H7200	1,7 ... 2,3	24; 72; 132, 300	2	—	—	100
Италия	71F3	0,79 ... 1,53	24; 60; 72; 132	2,4	3,5	—	35; 45
Финляндия	FM4-160	1,5 ... 1,74	60; 72; 132	3; 0,5	4,5	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$	30; 19

В мировой практике эксплуатируется большое число различных типов аппаратуры РРС. Так, фирмами США в общей сложности производится около 100 типов тяжелых, средних и легких РРС в целях использования во всех областях: правительственных, административных, хозяйственных, промышленных, военных ведомств. Часть стационарных РРС является необслуживаемыми. Созданы специальные РРС для использования в вооруженных силах для управления войсками в оперативных и тактических звеньях. Эти РРС характеризуются высокой мобильностью, повышенной надежностью, оборудуются для защиты от воздействия высокоточного оружия и для обеспечения работы в условиях воздействия организованных помех.

Характерной особенностью эксплуатации средств радиорелейной связи является использование большого разнообразия контейнеров и антенных устройств, отличающихся размерами, электрическими данными и инженерным исполнением. Структурная схема, внешний вид контейнеров и антенн некоторых радиорелейных станций приведены на рис. 2.1—2.4.

Для современных РРС характерна высокая степень унификации и стандартизации аппаратуры, что позволило значительно сократить расходы на разработку, производство и эксплуатацию систем. Например, комплекс РРС типа  $L=300$  (Великобритания, см. табл. 2.1) имеет четыре модификации, модульную конструкцию и в зависимости от предназначения РРС может, благодаря изменению набора модулей, обеспечивать работу в различных поддиапазонах частот, иметь различные емкость и дальности передачи. Комплекс РРС располагает также набором антенн: на более низких частотах используются антенны типа «волновой канал», а на более высоких — параболическая антенна диаметром 2 м с усилением 27 дБ.

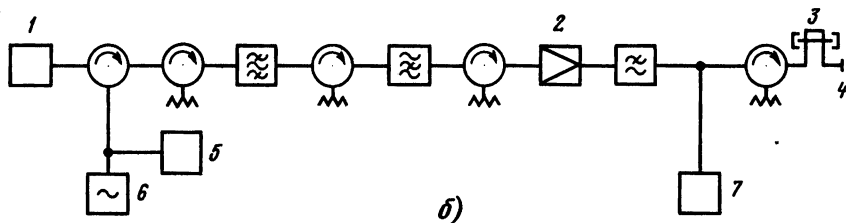
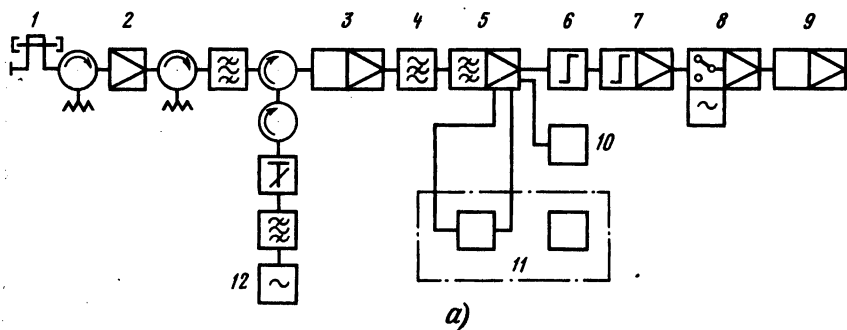
В производстве РРС и строительстве систем придается большое значение созданию аппаратуры, обеспечивающей работу в экстремальных климатических условиях — от тропических до арктических температур и в условиях большой влажности. В Великобритании, например, учитывая влажный климат страны, подавляющее большинство РРС монтируется в контейнерах с повышенной влагозащитой.

Большое значение уделяется выпуску портативных РРС различного назначения, начиная передачей данных метеослужбы и сигналов радиолокации и кончая обеспечением репортерской телевизионной связи или временных телевизионных сетей. Например, французские портативные РРС выпускаются в двух модификациях: типа ТМ-210 (работает в диапазоне частот 6,5...7,9 ГГц с выходной мощностью 400 мВт) и типа ТМ-213 (работает в диапазоне частот 12,7...13,25 ГГц с выходной мощностью 100 мВт). Аппаратура этих РРС полностью твердотельная, питание обеспечивается от сети переменного тока 110/120 В или от аккумуляторных батарей 36...40 В (потребляемая мощность при питании от батарей 65 Вт). Общая масса РРС с электропитанием и антенной около 100 кг.

Одним из крупнейших производителей аппаратуры РРС является Япония, экспортирующая аппаратуру в десятки стран.

В конце 70-х годов в развитых капиталистических странах фирмы приступили к производству аппаратуры РРС третьего поколения. Особенности аппаратуры на данном этапе являются:

полная транзисторизация, использование гибридных ИС СВЧ, ВЧ, а также укрупненных специализированных ИС обработки сигналов. Это позволило автоматизировать процессы изготовления значительного числа функциональных узлов аппаратуры;



↑ Рис. 2.1. Структурная схема PPC типа TR-4 G3600 (5G3600):

а) приемник:

1—точка измерения; 2—радиочастотный предусилитель; 3—преобразователь; 4—полосовой фильтр промежуточной частоты; 5—главный усилитель промежуточной частоты; 6—выравниватель фазового искажения передатчика; 7—выравниватель фазового искажения ответвительного фильтра; 8—схема восстановления сигнала передатчика; 9—второй усилитель промежуточной частоты; 10—детектор восстановленного сигнала; 11—панель управления аварийной сигнализацией; 12—местный гетеродин приемника;

б) передатчик:

1—преобразователь частоты; 2—лампа бегущей волны; 3—точка измерения; 4—выход передатчика; 5—местный источник питания; 6—местный гетеродин передатчика; 7—источник питания

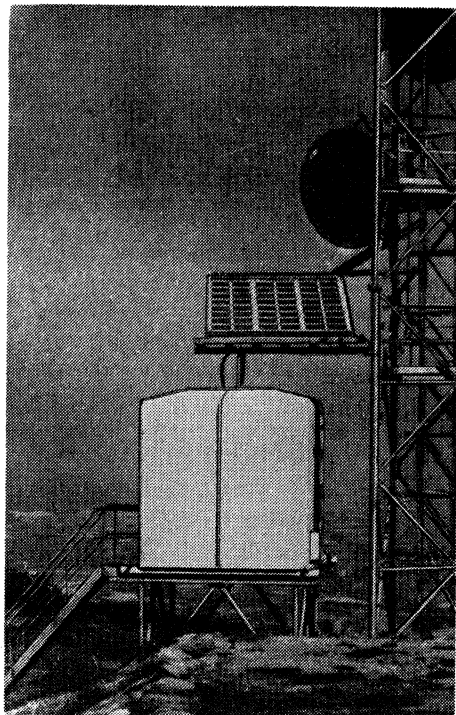


Рис. 2.2. Размещение PPC в контейнере

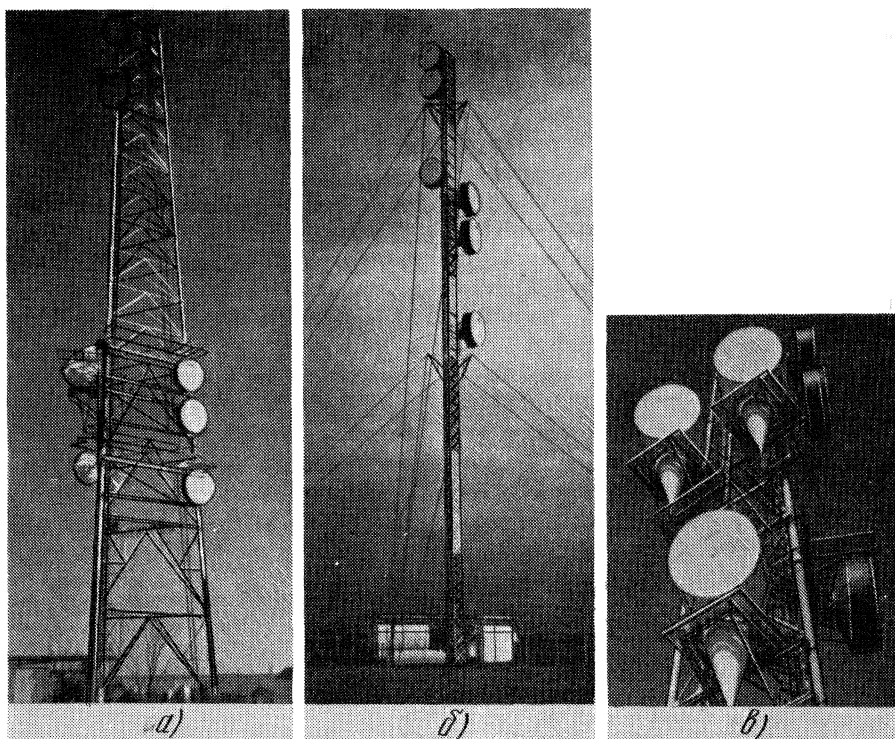


Рис. 2.3. Варианты размещения антенн РРС на мачтах:  
а) тяжелого типа; б) легкого типа; в) городского типа

применение малошумящих СВЧ усилителей на арсенид-галлиевых полевых транзисторах;

использование синтезаторов высокостабильных частот, работающих непосредственно на СВЧ (без многократного умножения частоты);

внедрение в аппаратуру высокостабильных фильтров СВЧ.

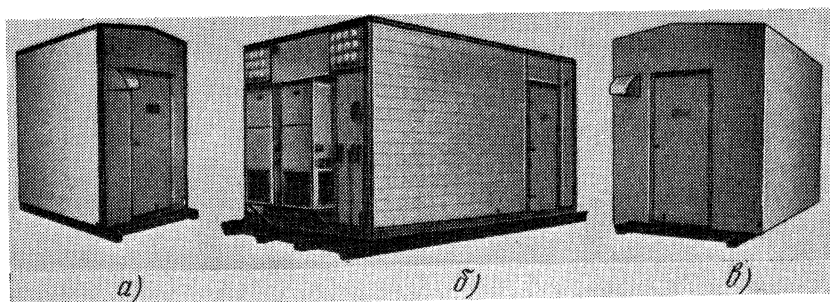


Рис. 2.4. Внешний вид контейнеров РРС:  
а) легкого типа; б) тяжелого типа; в) среднего типа

Все это позволило значительно уменьшить габаритные размеры и массу, снизить энергопотребление, повысить эксплуатационную надежность.

## **2.2. Аналого-цифровая радиорелейная связь**

Учитывая экономическую целесообразность продолжения эксплуатации существующих аналоговых РРЛ, фирмы США и других зарубежных стран использовали их в аналого-цифровом режиме.

Метод частотной модуляции и частотного разделения каналов (ЧМ—ЧРК) является определяющим при передаче информации по радиорелейным линиям в аналоговом режиме. Совершенствование цифровых методов передачи информации, а также бурное развитие систем передачи данных привело к внедрению новых цифровых радиолиний и использованию существующих многоканальных разветвленных аналоговых систем для передачи информации в цифровом виде.

Как правило, магистральные РРЛ работают в диапазонах частот ниже 10 ГГц, переход на интегральную цифровую сеть связи обеспечивает максимальное использование этого же диапазона и инфраструктуры сетей.

При передаче цифровых сигналов по аналоговым системам используются существующие сооружения, антенны, волноводы, передающие и входные устройства, источники питания, что значительно снижает затраты на организацию цифровых трактов. Вместе с тем при внедрении цифровых РРЛ возникают проблемы электромагнитной совместимости и, прежде всего, обеспечения допустимого влияния спектра сигнала передатчика на свой приемник, а также допустимого взаимного влияния РРС и влияния цифрового сигнала на соседний ствол или участок спектра, по которому передается аналоговый сигнал.

Цифровые стволы можно организовать либо заменой некоторых узлов аналогового оборудования, либо полной заменой всей аппаратуры ствола. Возможны три варианта: введение цифрового сигнала в определенную часть спектра основной полосы, что позволяет использовать большую часть оборудования аналоговых РРЛ, включая частотные модемы. При этом в стволе РРЛ одновременно передаются аналоговые и цифровые сигналы;

передатчики и приемники заменяются на специально разработанные для передачи цифровой информации, но с использованием существующего антенно-волнового тракта. В этом случае стоимость цифрового ствола уменьшается за счет использования существующих зданий, источников питания и другого оборудования;

сохранение СВЧ трактов и приемопередатчиков при замене узлов ПЧ и частотных модемов на цифровые. При этом можно организовать передачу цифровых потоков методами многоуровневой частотной манипуляции, 4-уровневой (4-ОФМ) и 8-уровневой фазовой манипуляции (8-ОФМ) и 16-уровневой квадратурной амплитудной модуляции (16-КАМ), нашедшими преимущественное распространение, а также другими высокоэффективными методами, обеспечивающими экономическое использование полос излучения.

Стабильность рабочих частот РРС должна быть порядка  $10^{-5}$  и выше.

В зависимости от структуры системы передачи и скорости передачи используются бинарные, квазитрочичные и многоуровневые коды. Наиболее широкое распространение в передаче цифровой информации по существующим аналоговым системам получил способ, при котором сигнал источника цифровой информации преобразуется в каналы передачи данных, затем поступает на преобразовательную аппаратуру и передается по аналоговой РРЛ.

Гипотетический цифровой эталонный тракт установил МККР только для цифровых систем с пропускной способностью 100 Мбит/с. Этот тракт протяженностью 2500 км. включает для каждого направления передачи девять пунктов установки аппаратуры временного уплотнения цифровых сигналов, а также не менее девяти пунктов установки оконечного радиорелейного оборудования. Коэффициент готовности такого тракта 0,997. Тракт считается не готовым, если в течение 10 с наблюдается либо пропадание сигнала (потеря синхронизации), либо относительное число ошибок более  $10^{-3}$ .

Установлены общие показатели для цифровых и аналоговых систем РРЛ, а также параметров РРЛ. К ним относятся: коэффициент готовности, наработка на отказ, мощность передатчика, шум-фактор приемника и др. Для цифровых РРЛ основным критерием является количественный показатель вероятности ошибок, а не уровень шумов.

При проведении эксперимента совместного использования РРЛ для цифровой и аналоговой передачи фирма NEC (Япония) установила: отношение сигнал-помеха в цифровом стволе на несущей частоте 6 ГГц составило 30...35 дБ, что на 1...2 дБ ухудшило пороговое значение цифрового сигнала, а для устранения помех в аналоговом канале потребовалось снизить мощность передатчика на 10 дБ.

Фирмой Bell System (США) при проведении аналогичного эксперимента установлено: при аналоговой работе в радиорелейной системе Т-3 (диапазон частот 5,925...6,425 ГГц, емкость 1800 телефонных каналов) и одновременной передаче цифровой информации с пропускной способностью до 90 Мбит/с с использованием 16—КАМ обеспечивается качественная совместная работа. Таким образом, была доказана возможность обеспечения совместной работы аналоговых и цифровых систем по существующим аналоговым системам РРЛ.

Существует несколько способов организации смешанных аналого-цифровых стволов в зависимости от их назначения и используемого спектра основной полосы частоты (рис. 2.5): DAV — «данные выше телефонии», DAVID — «данные выше телевидения», DUV — «данные ниже телефонии».

Способы DAV и DAVID позволяют осуществлять передачу цифрового сигнала в верхней части спектра основной полосы частот путем модуляции сигнала поднесущей частоты. В нижней части спектра основной полосы частот могут передаваться сигналы систем управления, 960 или 1800 телефонных каналов или один канал цветного телевидения.

Фирмой Teletra (Италия) разработана аппаратура, обеспечивающая передачу цифровых сигналов со скоростью 2048 кбит/с выше спектра основной полосы частот ТВ сигнала, что позволяет передавать в одном стволе с сигналом цветного телевидения информацию по шести каналам вещания или трем каналам стереовещания.

Подобные разработки аппаратуры завершены в Норвегии, США и Канаде.

В Японии на линии Токио — Осака введена в действие система STD-1 (RF-81), обеспечивающая передачу цифрового сигнала со скоростью 1,544 Мбит/с в нижней части спектра основной полосы частот аналоговых РРЛ в диапазонах 4,5 и 11 ГГц. При этом цифровой сигнал перекодируется в восьмиуровневый, занимающий полосу до 308 кГц.

Большое значение имеет переход к полностью цифровой интегральной сети радиорелейной связи с максимальным задействованием существующей аппаратуры и сооружений. В этих целях за рубежом экспериментируется несколько направлений.

Первое. При использовании частотной модуляции для передачи цифровых сигналов в стволе аналоговой РРЛ достаточно заменить только оконечное оборудование преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Это позволяет обеспечить

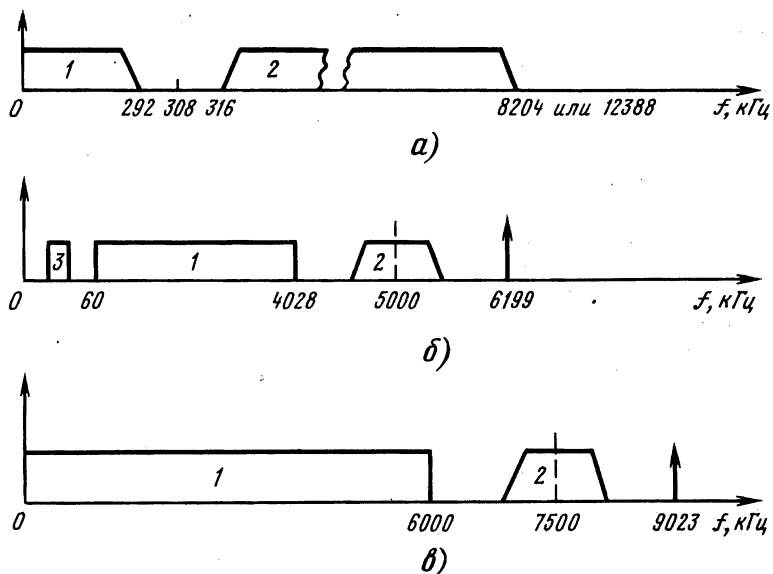


Рис. 2.5. Спектры сигналов в основной полосе частот при передаче цифрового сигнала:

а) DVV:

1 — цифровой сигнал, 2 — сигнал многоканальной телефонии (1800 и 2000 ТФ каналов);

б) DAV:

1 — сигнал многоканальной телефонии (960 ТФ каналов); 2 — цифровой сигнал; 3 — сигналы системы управления;

в) — DAVID:

1 — сигнал ТВ (или 960 ТФ каналов); 2 — цифровой сигнал

передачу цифровых сигналов со скоростью до 20...30 Мбит/с, применяя частотные модемы и систему резервирования. Радиорелейная система ТД-2 (США) с диапазоном 4 ГГц, в стволе которой методом ЧМ-4 передается цифровой сигнал со скоростью около 21 Мбит/с. По такому же принципу работает и вторая радиорелейная система МА-7 (США) с пропускной способностью цифрового ствола 19,804 Мбит/с. Предлагается еще один способ использования системы ТД-2 для совместной передачи аналоговых и цифровых сигналов в диапазоне 4 ГГц: цифровой сигнал со скоростью 45 Мбит/с передается методом ФМ-8 и занимает полосу 20 МГц, частотный модем заменяется на фазовый, а тракт ПЧ — СВЧ существующей системы остается прежним. Получены положительные результаты при использовании РРЛ с шестью интервалами.

Второе. В США функционирует смешанная аналого-цифровая радиорелейная система ТСМ-6, использующая для передачи сигналы телефонии и телевидения методом ЧМ — ЧРК. Эта система переводится в систему для передачи цифровых сигналов путем замены стандартных оконечных аналоговых модулей на цифровые.

Пропускную способность системы 13 Мбит/с в стволе планируется довести до 34 Мбит/с.

Третье. В США разработано специальное оконечное оборудование, позволяющее передавать в стволе аналоговой радиорелейной системы, работающей в диапазоне частот 2 ГГц, цифровой сигнал со скоростью 6,312 Мбит/с (96 телефонных каналов). Аналоговый сигнал преобразуется в цифровой семиуровневый

с коррелированными символами, модулирующими сигнал несущей методом ЧМ. Спектр сигнала занимает полосу шириной 3,5 МГц. Метод позволяет получать эффективность использования радиоспектра 2 бит/с/Гц с малым потреблением энергии и низкой стоимостью оборудования.

Четвертое. Фирма CSELT (Италия) разработала два специальных устройства (DSA-1, DSA-2) для передачи цифровых сигналов по радиорелейным аналоговым стволам (диапазон 7 ГГц, емкость 960 телефонных каналов) со скоростями 17 и 34 Мбит/с. Аналоговое оборудование основной полосы частот заменяется на цифровое DSA-1 или DSA-2. Сигнал передается методом ЧМ в основной полосе частот.

При совместной передаче аналоговых и цифровых сигналов может быть использована единая система резервирования.

Во Франции аналогичный метод передачи цифровых сигналов используется в радиорелейных системах, где обеспечивается скорость передачи в стволе 2,048 Мбит/с.

Описанные направления перевода аналоговых систем в цифровые и частично цифровые отличаются простотой реализации, малой стоимостью переоборудования аналоговых стволов в цифровые, однако их применение обеспечивает меньшую пропускную способность по сравнению с системами, формируемыми цифровыми методами модуляции.

В поисках новых методов повышения эффективности цифровых радиорелейных систем фирма NEC (Япония) разработала новую систему для диапазона частот 5 ГГц, скорость передачи которой в одном стволе 200 Мбит/с. Высокая эффективность использования спектра достигается благодаря применению метода КАМ-16 с соответствующей фильтрацией. При одном и том же числе позиций при КАМ требуются меньшее отношение сигнал-шум для одинакового эффекта уменьшения ошибок и более простая аппаратная реализация по сравнению с ОФМ-16.

Активный переход к цифровым интегральным сетям радиорелейных систем обеспечивают фирмы Великобритании.

### **2.3. Цифровая радиорелейная связь**

Первая за рубежом цифровая радиорелейная станция разработана в Японии в диапазоне 2,11...2,29 ГГц и имеет шесть дуплексных стволов (один из них резервный). Она предназначена для работы линии не более 200 км (интервал 25 км). По каждому стволу можно передавать до 240 телефонных каналов с ИКМ. В станции используется четырехпозиционная фазовая модуляция. Допустимая вероятность ошибки для линии 200 км —  $10^{-6}$ . На одной из промежуточных станций предусмотрена возможность выделения и введения части каналов, образованных на кабельных линиях с ИКМ. Аппаратура выполнена полностью на полупроводниковых приборах. Технические характеристики цифровых станций приведены в табл. 2.2.

Например, в систему RDS-80 (США) входят: аппаратура тракта с системой резервирования (один резервный ствол на один или два рабочих); аппаратура уплотнения, позволяющая объединить 2—25 стволов со скоростью передачи 1,544 Мбит/с с такой же системой резервирования; соединительная цифровая проводная линия между радиоаппаратурой и аппаратурой уплотнения, если они размещены на расстоянии друг от друга. Оконечная станция на 1200 телефонных каналов (50 стволов со скоростью 1,544 Мбит/с каждый) состоит из трех высокочастотных блоков и трех блоков уплотнения, каждый из которых обеспечивает скорость передачи 40 Мбит/с (600 телефонных каналов). Два высокочастотных блока работают в станции при взаимно перпендикуляр-

ных поляризациях. Развязка по поляризации составляет не менее 20 дБ, что достаточно для обеспечения высокого качества передачи при фазовой модуляции. Третий блок является горячим резервом и автоматически переключается на один из рабочих каналов в случае его неисправности. В комплект аппаратуры входит контрольно-измерительное устройство, позволяющее оценивать качество передачи информации.

Система предусматривает создание оконечных и промежуточных станций с выделением и без выделения каналов. Промежуточные станции состоят из двух высокочастотных стоек, соединенных между собой по групповому спектру.

Служебный цифровой канал организуется наложением АМ на сигнал с фазовой манипуляцией на выходе усилителя мощности. Для служебной связи используется один канал, по которому передается дельта-модулированный сигнал со скоростью 50 кбит/с.

Несколько модификаций ЦРПС разработано фирмами Великобритании. Станции работают в диапазоне частот 11 ГГц при скорости передачи 120 Мбит/с (эквивалентно 1800 телефонным каналам); в диапазоне 20 ГГц при скорости передачи 240 Мбит/с с установкой приемопередающего оборудования в специальном контейнере на антенной мачте. Разработана ЦРПС для передачи высококачественных телевизионных программ совместно с передачей данных и телефонии в диапазоне 30 ГГц. Передача и прием в этой системе ведутся на разнесенных частотах 29, 92 и 30,67 ГГц. В системе использован метод некогерентной АМ. Аппаратура выполнена на полупроводниках, генераторы — на ЛБВ. Дальность передачи 2...5 км.

Аналогичные ЦРПС созданы в ФРГ, Италии, Финляндии, Норвегии, технические характеристики некоторых из них приведены в табл. 2.3.

Исходя из опыта разработки, производства и эксплуатации средств цифровой радиорелейной связи, зарубежные специалисты сделали следующие выводы:

цифровые системы РРЛ удобны в разветвленных сетях и системах связи, так как обеспечивают выделение необходимого числа каналов на любой ретрансляционной станции без ухудшения качества связи, а также возможность передачи в одном стволе информации различного вида;

в ряде случаев наиболее экономичной является передача цифровой информации в диапазоне свыше 15 ГГц благодаря эффективному использованию частотного спектра;

конструктивное построение аппаратуры ЦРПС дает возможность неограниченного применения ИС, в том числе с высокой степенью интеграции;

использование ЦРПС позволяет создать единые интегральные сети, сети связи, пригодные для передачи любых видов информации в дискретной форме: можно ожидать, что эта тенденция станет определяющей.

Выбор оптимального метода передачи цифровой информации по ЦРПЛ зависит от требуемого качества передачи, пропускной способности, эффективности использования спектра, диапазона частот, электромагнитной совместимости, максимального применения существующего оборудования аналоговых РРЛ, энергопотребления, удобства эксплуатации, стоимости, габаритных размеров.

В настоящее время за рубежом для отдельных регионов установлены скорости передачи, указанные в табл. 2.4, и соответствующее им число телефонных каналов.

В МККТТ установлены параметры аппаратуры временного объединения цифровых сигналов и параметры сопряжения для первых четырех ступеней различных регионов (Европы, Северной Америки, Японии). В основе лежит цифровой сигнал со скоростью 64 кбит/с, соответствующий одному телефонному каналу, преобразованному методом ИКМ (табл. 2.5).

# Технические характеристики цифровых станций

Страна	Тип ЦРРС	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с (число телефонных каналов)	Вид модуляции
1	2	3	4	5
Япония	20L—P1	17,7...21,2	400 (5760)	ФМ-4
Япония		5,925...6,425	78 (1800)	—
Япония	11/15S—2	11, 15	100 (1440)	ФМ-4
Япония	20GP—40	17,7...21,2	40, 100, 400 (576, 5760)	ФМ-4
Франция	FHN-13-50	12,8...13,8	52 (720)	ФМ-4
Франция	FHN-250N	1,7...2,3; 7,1...7,7	34, 68 (480, 960)	ФМ-4 ФМ-8
Франция	FHN-270	6,4...7,1	140 (1920)	АМ-16
Япония	TRP-11GD	11	44, 736	ФМ-4
Япония	20G-40OM	17,7...21,2	260 (2880)	ФМ-4
Франция	FH665—7N	7,4...7,7	52 (720)	ФМ-4
США	MDR-11	11	90 (1344)	ФМ-8
США	MAV-12D	11	25; 105; 210, 218	ФМ-4
США	DR-18A	17,7...19,7	274 (4032)	ФМ-4
США	AN/GRC—173	36,2...38,2	236	ФМ-2
Великобритания	—	10,7...11,7	264 (1920)	ФМ-4
Великобритания	—	10,7...11,7	140 (1920)	ФМ-2 ФМ-4
Великобритания	—	30	100 (1440)	АМ
Великобритания	—	17,7...19,7	120	ФМ-2
Канада	—	8	91 (1344)	—
Япония	2S-1P	2,11...2,29	(240 × 6)	ИРМ ФМ-4
США	RDS-80	10,7...11,7	80 (1200)	—
США	DR-18	17,0	274 (28224)	—

За рубежом цифровые системы радиорелейной связи для региональной и местной сетей связи используют в основном диапазоны частот: 400 МГц, 2, 11, 13, 15 ГГц и выше, расчетная протяженность линии не превышает 300 км, а пропускная способность 34,368 Мбит/с в Европе и до 100 Мбит/с в Японии и США. Цифровые РРС с диапазонами частот 400 МГц и 2 ГГц, имеющие протяженности интервалов до 50 км, используются в малонаселенных районах стран. Системы же ЦРРС с диапазоном частот выше 10 ГГц пригодны для густонаселенных мест, где длина пролетов 20...30 км обеспечивает потребности в связи.

Цифровые радиорелейные системы широко используются в густонаселенных городах и прежде всего между крупными АТС города. Для таких систем характерны

## радиорелейной связи различного назначения

Мощность передатчика, Вт	Коэффициент шума приемника, Дб	Вероятность ошибки на ствол	Стабильность частоты	Потребляемая мощность, Вт	Примечание
6	7	8	9	10	11
0,15 0,5; 1; 3; 5; 10 0,2; 0,5 0,16	10 3 7,8 9	$10^{-6}$ — — —	— — $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ $\pm 5 \cdot 10^{-5}$	— 80 85, 110 —	9 стволов, интервал 3 км Работа в цифровом и аналоговом режимах Интервалы 8 или 20 км Интервал 5 км
0,25 0,125...0,5 0,65...4,0 5...20 0,5 0,07	7,5 6 6 9 10	$10^{-5}$ $10^{-5}$ $10^{-5}$ $10^{-6}$ $10^{-10}$	$\pm 2 \cdot 10^{-5}$ — — — —	100 18...38 16...30 85...100 95...100 —	6 стволов Наработка на отказ 250 тыс. ч  10 стволов, интервал 2,5...6,5 км
0,55 1,0 1,0	— 8 9,5	$10^{-5}$ $10^{-7}$ —	— $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ —	200 60 250	
0,2	—	—	—	—	8 стволов, интервал 2,5...6 км, ТРЛ—4000 км
0,1 10 —	10 8 8	$10^{-6}$ — —	— — —	— — —	Интервал 10 км Когерентное детектирование Два ствола телевидения
0,1 0,1 —	12 7 —	$10^{-8}$ $10^{-7}$ —	— — —	— 300 —	Интервал 2,5 км 6 стволов, интервал 5 км 140 ретрансляторов интервал 45—55 км, ТРЛ—6560 км
—	—	$10^{-6}$	—	—	6 стволов, длина РРЛ $\leq 200$ км, интервал 25 км
1,0 —	— —	— —	— —	— —	Полностью на полупроводниковых приборах Аппаратура станции установлена на антенной мачте

небольшые расстояния интервалов связи, большая пропускная способность, повышенная надежность. Наибольшее распространение получили ЦРПС с диапазонами частот выше 17 ГГц. В полосе частот 17,7...19,7 ГГц может быть размещено до 16 стволов с пропускной способностью 140 Мбит/с. Дальнейшее развитие ЦРПС идет в направлении использования диапазонов частот 40...100 ГГц и даже 150 ГГц. Применяются антенны небольшого диаметра, соединенные непосредственно с ретранслятором, которые устанавливаются на зданиях.

Цифровые радиорелейные станции магистральной связи явились предпосылкой для организации интегральной цифровой связи, а возможность широкого использования средств коммутации на дискретной основе обеспечила их экономичность.

Технические характеристики некоторых ЦРРС

Страна	Тип ЦРРС	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Вид модуляции	Мощность передатчика, Вт	Коэффициент приёма, дБ	Промежуточная частота, МГц	Число ошибок на ствол	Потребляемая мощность, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Магистральной связи</i>									
Канада	DRS—8	7,725...8,275	91,4	КАМ-9	10	—	140	10 <sup>-4</sup>	—
Япония	6G44MB	5,925...6,425	44	ОФМ-8	5,0	8	70	10 <sup>-6</sup>	—
	11G44MB	10,7...11,7	44	ОФМ-8	5,0	8	70	10 <sup>-6</sup>	—
	11G45MB	10,7...11,7	44,736	ОФМ-4	0,1	7	70	10 <sup>-6</sup>	95
	11G90MB	10,7...11,7	91,2	ОФМ-8	5,0	6	140	10 <sup>-6</sup>	110
	6G78MB	5,925...6,425	78	ОФМ-8	5,0	6,5	70	10 <sup>-6</sup>	—
Франция	—	4 и 5	200	КПМ-16	5,0	—	140	—	—
	FN664N	7	52	ОФМ-4	0,35	9	70	10 <sup>-5</sup>	—
	RLT—13000	10,7...13,25	34/52	ОФМ-4	0,30	10	70	10 <sup>-4</sup>	—
Италия	HG-2	1,7...2,3	34,368	ОФМ-4	2,5	8	70	10 <sup>-4</sup>	40
США	MAV12D	10,7...11,7	34,368	ОФМ-4	2,0	9,5	70	10 <sup>-6</sup>	300
	(комплекс станций)		44,736	КАМ-9					
США	RDS-8100	10,7...11,7	89,4	ОФМ-4	—	8	70	10 <sup>-6</sup>	575
	RDS-8410	10,7...11,7	40,15	ОФМ-8	10	8	—	10 <sup>-6</sup>	625
	RDS-6200	5,925...6,425	89,9	ОФМ-8	10	6,5	—	10 <sup>-6</sup>	480
	MDR-11	10,7...11,7	90,256	ОФМ-8	—	8	70	10 <sup>-6</sup>	200
	MDR-6	5,925...6,425	90,258	ОФМ-8	5,0	—	70	—	—
<i>Местной и региональной связи</i>									
Франция	FHD-22	2,1...2,3	2,048	AM	0,05	10	119	10 <sup>-4</sup>	12
	FHD-28	2,1...2,3	8,448	ОФМ-4	0,2	9	70	10 <sup>-6</sup>	50
	FLD-15	14,4...14,5 и 15,25...15,35	2,048	ЧМ—ЧФ	0,1	12	70	10 <sup>-6</sup>	—
Англия ФРГ	TFHMX647	1,7...2,1	2,048	ЧМ	—	8	70	—	30
	—	5,850...5,925	6,336, 2,048	ОФМ-2	0,5	8	70	10 <sup>-7</sup>	200
	PSK-120-240/15000	14,5...14,62	8,448	ОФМ-2	2,5	9	70	10 <sup>-4</sup>	—

Страна	Тип ЦРРС	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Вид модуляции	Мощность передатчика, Вт	Коэффициент приема; дБ	Промежуточная частота, МГц	Число ошибок на ствол	Потребляемая мощность, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Италия	—	15,23...15,35	$2 \times 8,448$	ОФМ-4	0,1	9	70	$10^{-4}$	—
	Н17/30	12,716...12,828	2,048	АМ	0,02	13	70	$5 \cdot 10^{-3}$	29
	HD-2	12,75...13,25	34,368	ОФМ-4	0,1	9	70	$10^{-4}$	27
	HD-3	12,75...13,25	8,448	ОФМ-2	0,03	9	70	$10^{-4}$	15
Норвегия	NL-100	12,75...13,25	2,048	ОФМ-2	-10	9	70	$10^{-3}$	25
Норвегия	NL-122	12,75...13,25	8,448	ОФМ-2	-10	9	70	$10^{-3}$	25
Финляндия	PSK-30-450	0,39...0,47	2,048	ОФМ-4	+5	8	35	$10^{-6}$	60
Япония	DR240-1800	1,705...1,91	2,048	ОФМ-4	+3	7	70	$10^{-6}$	65
	2GH-480	1,9...2,3	32	ОФМ-4	+1	8	70	$10^{-6}$	—
	2S-P3	2,11...2,29	3,1	ОФМ-4	-9	6	10,7	$10^{-4}$	—
	11S-P2	10,7...11,7	100	ОФМ-4	-3	7	140	$10^{-4}$	—
США	12G-20	12,2...12,7	20	ОФМ-4	-10	9	70	$10^{-6}$	75
	DM2-11	10,7...11,7	44,736	ОФМ-4	+8	9	70	$10^{-6}$	180
	DR-2C-96	2	6,313	КАМ-9	+3	6	—	$10^{-6}$	—
	CE-1100	10,7...11,7	38,6	ОФМ-4	-3	9,5	—	$10^{-7}$	150
	RDC-4100	10,7...11,7	20,8	ОФМ-4	0	8	70	$10^{-6}$	480
	MAV-12	10,7...11,7	44,736/46,210	ОФМ-4	+3	9,5	70	$10^{-6}$	300
	(комплекс ЦРРС)								

## Зависимость числа каналов от скорости передачи

Параметры	Европа				
Скорость передачи, Мбит/с	2,048	8,448	34,368	139,264	560...840
Число каналов	30	120	480	1920	7800...11520

Таблица 2.5.

### Основные параметры согласования цифровых сигналов для Европы

Параметры	Ступени согласования			
	1	2	3	4
Скорость передачи, Мбит/с	2,048	8,448	34,368	139,264
Относительная нестабильность напряжения	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$	$\pm 30 \cdot 10^{-6}$	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	$\pm 15 \cdot 10^{-6}$
Нагрузка, Ом:				
несимметричная	75	75	75	75
симметричная	120	—	—	—
Номинальное пиковое напряжение, В	$\pm 2,37$	$\pm 3; \pm 2,37$	$\pm 1$	1
Максимальное затухание соединительного кабеля на полутаковой частоте, дБ	6	6	12	12

Можно ожидать, что дальнейшее совершенствование аппаратуры ЦРПС будет направлено на создание твердотельных, малогабаритных, высокоэкономичных устройств и освоение более высоких рабочих диапазонов частот. Системы ЦРПС будут использоваться: на региональной (внутризоновой) и местной связи; связи с основными центрами коммутации в городах; магистральных линиях связи большой протяженности; перспективных сетях военной связи в оперативном и тактическом звеньях управления.

Предпочтительными видами модуляции для цифровых РРЛ являются 8-позиционная относительная фазовая модуляция (ОФМ-8) и 16-позиционная квадратурная амплитудная модуляция (КАМ-16). Недостатком метода 8-ОФМ является наличие значительных помех от соседнего ствола, что требует сложной фильтрации. Метод 16-КАМ позволяет уменьшать полосу частот сигнала, что в достаточной степени разрешает проблему фильтрации. Кроме того, эта модуляция устойчива к помехам от соседнего ствола.

Планируется, что с введением новых методов коррекции можно получить эффективность использования спектра в диапазоне 4 ГГц на линиях с интервалами нормальной протяженности. Так, в Канаде введена в эксплуатацию радиорелейная станция типа DRS-8, которая обеспечивает передачу цифровых сигналов на магистральных линиях связи со скоростью передачи 2 Мбит/с. Для этого в диапазоне 8 ГГц выделена полоса 40 МГц. Станция DRS-8 содержит блок объединения и разъединения каналов, который синхронизирует и объединяет два сигнала станции в общий цифровой поток со скоростью передачи 81,04 Мбит/с (1344 телефонных каналов с ИКМ), устройства автоматического защитного переключения и радиокomплекта,

## в ЦРРЛ в различных регионах

Северная Америка				Япония				
1,544	6,312	44,736	274,176	1,544	6,312	32,064	97,728	396,200
24	96	672	4032	24	86	480	1440	5760

обеспечивающего передачу цифрового потока в полосе 40 МГц посредством квадратурной парциальной модуляции. Эта система также используется в диапазоне 4 ГГц на радиоперелиниях с протяженностью интервала 45...55 км. Коэффициент надежности такой РРЛ протяженностью 6560 км составляет 99,98%; из допустимой длительности простоя, равной 0,02% времени приходится: 0,01% — отказ аппаратуры, 0,05% — на осадки и 0,005% — на замирания за счет многолучевости.

С введением интегральных цифровых систем аппаратуры с частотным разделением (ЧР) заменяется аппаратурой с временным разделением (ВР). При этом либо разрабатываются специальные радиорелейные станции для передачи сигналов временным разделением, либо модернизируются находящиеся в эксплуатации станции, использующие ЧР путем технических модификаций и доработок для работы в режиме ВР.

Высокоэкономичные РРС используют экономичные источники электропитания, и в том числе термоэлектродвигатели, солнечные батареи, ветровые электродвигатели, специальные малогабаритные аккумуляторы. Так, в США построена РРЛ с двумя интервалами, работающая в диапазоне 2 ГГц, ретранслятор которой получает электропитание от солнечных батарей. Такие же способы электропитания применяются на ряде японских и норвежских РРЛ. Получены значительные результаты по повышению аппаратурной надежности, например РРС, изготовленные фирмами Франции и Японии обеспечивают наработку на один отказ 250...300 тыс. ч (более 30 лет).

## 2.4. Использование радиорелейной связи в войсках

Радиорелейная связь прямой видимости за рубежом получила широкое применение в военных сетях и системах связи. Так, в 70-е годы по программе СРР-67 создана разветвленная система радиорелейной связи Объединенных Вооруженных сил НАТО (ОВС НАТО) в Центральной Европе, которая входит в качестве самостоятельной подсистемы в мощную объединенную военную систему управления и связи НАТО — NICS.

В структурном отношении подсистема радиорелейной связи представляет собой конструктивное подобие типа «ячейки сетки» — соединенные между собой станции образуют отдельные ячейки большой сети. Подобная структура построения военных сетей принята во всех странах НАТО. Магистральные линии РРЛ проходят по территориям ФРГ, Нидерландов и Бельгии, образуя линии радиоперелинейной связи тылового района и линии передового района между стационарными узлами связи. Основная часть стационарных узлов связи расположена на территории ФРГ (около 46) и по шесть стационарных узлов в Бельгии и Нидерландах: 28 из них являются обслуживаемыми, а остальные работают в автоматическом режиме без обслуживания. Антенные устройства стационарных радиорелейных узлов (параболический отражатель диаметром до 3 м) устанавливаются в основном на мачтах высотой около 100 м. Пропускная способ-

ность радиорелейных линий — 300 телефонных каналов. В целях повышения живучести системы предусмотрен автоматический выбор обходных маршрутов, осуществляемый с помощью ЭВМ (соединение телефонных коммутаторов выполнено не менее чем с двумя направлениями связи), живучесть повышается за счет размещения аппаратуры в укрытиях бункерного типа и оптимального выбора мест дислокации с использованием рельефа местности и в стороне от мест вероятных ударов противника.

Гибкость системы связи обеспечивается за счет сопряжения с другими сетями и системами связи, использования обходных маршрутов и наличия подвижных радиорелейных станций (узлов связи) в автомобильном варианте.

Для обеспечения надежного функционирования создана специальная сеть технического контроля и обслуживания, которая контролирует 32 параметра системы.

Подобные системы военной радиорелейной связи построены на территориях других стран НАТО, большинство из них имеют сопряжения между собой и, как правило, с системами коммерческой связи. Например, английская разветвленная система военной радиорелейной связи, построенная с использованием РРС типа Triffid работает со скоростью 250, 256, 500, 512 кбит/с, имеет диапазон частот — 225...1850 МГц (225...400; 610...690; 1350...1850 МГц). Конструктивно станция состоит из семи самостоятельных модулей, три из которых сменные. Эта РРС разработана специально для военной оперативно-тактической системы связи английских войск.

Во Франции радиорелейные станции входят в систему связи армейского корпуса Rita, в ФРГ — в систему связи армейского корпуса Autoko.

В соединениях и частях, выполняющих боевую задачу, широко применяются подвижные средства радиорелейной связи. Они смонтированы на автомобилях и броневом. Их габариты рассчитаны на возможность транспортирования железнодорожным, воздушным и водным транспортом.

В военных системах радиорелейной связи используется свыше 25 типов стационарных и подвижных РРС и их модификаций. Станции обеспечивают работу в диапазоне 2...18 ГГц, мощность передатчиков 01...10 Вт. Как правило, РРС имеют модульную конструкцию, собраны на микросхемах, ИС, БИС. Для обеспечения связи применяется пространственное и частотное разнесение.

Технические характеристики военных РРС приведены в табл. 2.6.

В США основной составной частью многоканальной системы военной связи являются радиорелейные станции диапазона ММВ типа AN/GRC-103 и AN/GRC-144, монтируемые и устанавливаемые в контейнерах и полевых укрытиях на возвышенностях. Средняя дальность связи 40...50 км. Они сопрягаются с усовершенствованной системой оперативного управления и связи сухопутных войск (СВ) США АТАКС, для работы по 96 каналам связи в звене корпуса и 12 каналам в звене бригады.

Использование диапазона ММВ в тактических сетях связи и управления играет большую роль, обеспечивая высокую мобильность, оперативность развертывания средств связи, разведзащищенность, помехоустойчивость и рассредоточение командных пунктов на местности.

Радиорелейные станции диапазона ММВ имеют антенны диаметром около 60 см с коэффициентом усиления до 40 дБ, а массу аппаратуры около 6...7 кг. Малые габариты станции и применение ММВ значительно затрудняют ведение визуальной и радиоэлектронной разведок. Протяженность РРЛ во влажном тропическом климате не превышает 3...4 км, в северных и засушливых районах — до 10 км.

Характерным для диапазона ММВ является незначительная подверженность их влиянию последствий ядерного взрыва как на поверхности земли, так и при взрывах на небольших высотах (нарушение может быть от нескольких секунд до нескольких минут), в то время как связь на более низких частотах нарушается на длительное время.

Радиорелейные станции используются: в диапазоне 36...38,6 ГГц на линиях протяженностью до 8 км, а 54...58 ГГц — до 2...3 км; скорость передачи информации 20 Мбит/с и выше; режимы работы: телефонная, телеграфная, факсимильная связь и передача данных; остронаправленные антенны ( $1,2^\circ$ ) с применением единого модуля для обоих диапазонов частот.

В последние годы за рубежом преобладает тенденция создания для систем военной связи тактического звена управления, легких малогабаритных систем прямой видимости, работающих в сантиметровом (12...15 ГГц) и миллиметровом (36...38 ГГц) диапазонах волн.

Усовершенствования РРС диапазона ММВ направлены на внедрение супергетеродинного приемника, вспомогательных средств звуковой и световой сигнализации, встроенной аппаратуры контроля и расширения возможностей по обеспечению дуплексной связи, проведение монтажа РРС в едином блоке с возможностью смены рупорных и линзовых антенн для обеспечения необходимой дальности связи, обеспечение связи в тактических подразделениях во время движения на расстояние до 1 км.

По имеющимся данным с 1985 г. на вооружении армейского корпуса большинства стран НАТО находятся 50...90 многоканальных (24...196 телефонных каналов) РРС и 25...40 комплектов малоканальных (4...24 телефонных каналов) РРС, а удельный вес радиорелейной аппаратуры в военных сетях связи США и НАТО, по отношению к другим средствам связи возрастет в ближайшие 10...15 лет с 20...25% до 40...45%.

Групповые скорости передачи в военных системах радиорелейной связи стандартизованы и составляют: с использованием оконечной аппаратуры с ИКМ (при 64 кбит/с на канал) — 1,544; 6,312; 44,736 Мбит/с; с использованием оконечной аппаратуры с дельта-модуляцией (при 16 кбит/с на канал) — 1,544; 12,9; 26 Мбит/с.

Дальнейшее использование радиорелейной связи диапазона ММВ планируется: в многоканальных системах тактического звена управления войсками; обеспечения связью командных, запасных артиллерийских (ракетных) и тыловых пунктов частей на театр военных действий (ТВД) и в прифронтовой полосе; дистанционной передачи развединформации; передачи данных в различных системах артиллерийских частей; обеспечения связи с отдельными засекреченными и скрытыми группами; замены участков кабеля.

Характерным для промышленности страны НАТО является полное взаимодействие военных и коммерческих ведомств, в том числе по разработке, производству и эксплуатации средств радиорелейной связи, что привело к значительному экономическому и оперативному выигрышу.

## **2.5. Создание перспективных средств радиорелейной связи**

В США фирмой Northern Telecom разработан новый полностью твердотельный 10-ваттный усилитель мощности диапазона 7,725...8,275 ГГц, предназначенный для замены аналогичного усилителя на ЛБВ, используемого в эксплуатируемых радиорелейных станциях.

В усилителе использованы ИС на полевых транзисторах. Усилитель предназначен для работы в диапазоне температур  $-10...+50^\circ\text{C}$ , при этом выходная мощность изменяется относительно номинального значения на 1,8 дБ. При нор-

Таблица 2.6.

## Технические характеристики некоторых РРС военного назначения

Страна	Тип РРС	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Наработка на один отказ, ч	Вероятность ошибки	Дальность связи на интервале, км	Тип модуляции	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9
США	AN/GRC-144	4,4...5,0	2 × 1544	1000	10 <sup>-7</sup>	50	ИКМ	—
	AN/GRC-103	0,225...1,85	1544	3000	10 <sup>-7</sup>	50	ВРК-ДМ	—
	AN/GRC-173	36,25...38,25	236	5000	10 <sup>-6</sup>	10	ВРК-ДМ	—
	AN/FRC-170, -173	4,4...5,0	2 × 12900	1600	10 <sup>-7</sup>	45	—	—
	AN/GR-200	14,4...15,25	1544	3000	10 <sup>-7</sup>	15	—	—
	AN/DMR	15	—	10000	—	—	КАМ-16	—
	AN/TRC-38, -175	4,4...5,0	—	5000	—	50	—	Использование в системе связи Tri—Tas
Англия	AMLD/R04	4,4...5,0 7,1...8,4	45	10000	10 <sup>-7</sup>	—	ОФМ-2 ОФМ-4	—
	Triffid	0,225 ... 0,4;	250; 256; 500;	10000	10 <sup>-7</sup>	10—50	ОФМ-4	Высота антенны 12 м
	(комплекс станций) GR083	0,610...0,960; 13,50...18,50	512 512—2048	10000	10 <sup>-7</sup>	—	ОФМ-8 ОФМ-4	Антенна «волновой канал»

Страна	Тип РРС	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Наработка на один отказ, ч	Вероятность ошибок	Дальность связи на интервале, км	Тип модуляции	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Франция	TFH 647, -648	1,7...2,1	4,8	5000	$10^{-6}$	50	ОФМ-4	—
	TFH700	1,35...1,7 0,225...0,4 ;	4,8	5000	$10^{-6}$	50	ОФМ-4	Высота антенны 17 м
	(комплекс станций)	0,4...0,960; 1,35...2,7	2,048; 8,500	1000	$10^{-7}$	5—8	ОФМ-4	Подвижная легкая — 40 кг, антенна 40 м
	TFH720	36...38						
ФРГ	FN699, -700	4,4...5,0	4,8	3000	$10^{-6}$	50	—	—
	RT23B	0,04...0,9; 4,6	4,8	3000	$10^{-6}$	50	—	Аналого-цифровая
	MT-3C	2; 7	4,8	5000	$10^{-6}$	30	ОФМ-4	Аналого-цифровая
	MT4/3P500	8	4,8	10000	$10^{-7}$	5—10	ОФМ-4	Легкая РРС для тактического звена управления
Италия	CSELT	7	4,8	3000	$10^{-6}$	50		Аналого-цифровая

мальной температуре окружающей среды ( $27^{\circ}\text{C}$ ) и температуре транзисторов  $140^{\circ}\text{C}$  среднее время наработки на отказ усилителя — 350 тыс. ч. Конструктивно усилитель состоит из пяти модулей: три модуля — двухкаскадные усилители на ИС с обеспечением усиления на 16; 14,6; 13,6 дБ; один — выполнен по схемам балансного каскада на двух ИС и имеет усиление 5,4 дБ и один предназначен для обеспечения автоматического контроля уровня сигнала и содержит аттенюатор. Подобные твердотельные усилители созданы в Японии, Франции и других развитых капиталистических странах.

Повышенные требования к обеспечению пропускной способности каналов связи и последние достижения в области элементной базы способствовали созданию цифровой радиорелейной аппаратуры, использующей технику высокоуровневой квадратурной амплитудной фазовой модуляции (КАМ).

Новое поколение аппаратуры с 16-, 32-, 64-КАМ имеет коэффициент эффективности использования спектра (КЭИС; бит/с/Гц), эквивалентный или превосходящий КЭИС аналоговых радиорелейных станций.

Названный коэффициент играет большую роль при использовании различных видов модуляции цифровых радиорелейных каналов: модуляция ОФМ-8 соответствует — 3; КАМ-16 — 4; ФРМ-16 — 4; КАМ-32 — 5; КАМ-64 — 6 бит/с/Гц.

Работы по созданию цифровых радиорелейных станций с высокой спектральной плотностью сигнала ведутся в Великобритании, США, ФРГ, Японии и других странах. Например, США выпускает ЦРПС типа AMLD-16, работающую с использованием модуляции КАМ-16 в стандартных диапазонах на частотах 1,7...19,7 ГГц со скоростью передачи 35...140 Мбит/с. Поскольку высокоскоростной сигнал с многоуровневой модуляцией особо чувствителен к искажениям, вызванным многолучевостью распространения, в станции AMLD-16 применяются корректирующие устройства, уменьшающие искажения.

Для систем, работающих на линиях с интервалом протяженностью менее 50 км, в состав аппаратуры включены адаптивные низкочастотные трансверсальные корректоры и корректоры уровня. Первый компенсирует межсимвольные искажения, вызванные многолучевостью канала, уменьшает искажения, создаваемые волноводным эхоэффектом. Второй компенсирует искажения сигнала после демодуляции. Таким образом, двойная коррекция обеспечивает высокое качество сигнала, исключает необходимость пространственного разнесения, что позволяет снизить массу и стоимость аппаратуры.

Для систем, работающих на линии с интервалом протяженностью более 50 км, применяется метод пространственного разнесения и сравнения сигналов ПЧ по фазе с последующим их сложением.

Особенностью аппаратуры AMLD-16 является использование микропроцессора для автоматического управления и контроля в процессе эксплуатации и технического обслуживания. Микропроцессор при этом запрограммирован на автоматический контроль всех функций радиоаппаратуры, характеристик ее состояния, непрерывное отслеживание искажений приходящего сигнала и передачу команд на системы адаптивной коррекции. Вся аппаратура AMLD-16 конструктивно выполнена в виде компактных стоек шириной 120 мм.

Еще одна ЦРПС типа MDR-2306 с использованием модуляции КАМ-64 обеспечивает работу на имеющейся типовой аппаратуре каналаообразования (DST-2300), формирующей два цифровых потока, тактовые импульсы и сигналы синхронизации. При этом при работе станции в диапазоне 4 ГГц с пропускной способностью  $2 \times 2300$

формируется два потока со скоростью 45,4 Мбит/с, а при работе 6, 8 и 11 ГГц с пропускной способностью  $3 \times 2300$  — два потока со скоростью 67,8 Мбит/с.

Передатчик этой станции имеет гетеродинную структуру для обеспечения высокой нелинейности амплитудной характеристики. Полезный сигнал подается на кодирующее устройство, которое, в свою очередь, выполняет функцию формирования четырех или шести цифровых потоков в зависимости от уровня используемой КАМ. Для аппаратуры, работающей с 64-КАМ в диапазоне 4 ГГц с пропускной способностью 90 Мбит/с и в диапазоне 6 ГГц с пропускной способностью 15,1 и 22,6 Мбит/с соответственно. Для аппаратуры, работающей в диапазоне 11 ГГц с 16-КАМ и полосой пропускания 40 МГц, с пропускной способностью 135 Мбит/с, формируются четыре потока со скоростью 33,9 Мбит/с. Сформированные сигналы подаются на модулятор, работающий в режиме КАМ-16 или КАМ-64. Для повышения линейности усилителя мощности используется устройство предискажения до входа усилителя, что компенсирует нелинейность ЛБВ.

Приемное устройство работает по принципу пространственного разнесения с использованием преселекторов на фильтрах с низкими потерями, малошумящих усилителей и сложения по ПЧ.

Вся аппаратура конструктивно выполнена в виде стоек высотой 2,1 м, шириной 0,56 м (радиоаппаратура) и 0,66 м (аппаратура каналообразования).

Диапазон частот в пределах 2...11 ГГц перегружен, поэтому специалисты зарубежных стран решают эту проблему путем создания радиорелейных станций более высокого диапазона, которые соответствуют требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС) и обладают широкополосностью для связи в локальных сетях. Для этого разработана радиорелейная станция, обеспечивающая передачу цифровых сигналов в диапазоне частот 40 ГГц. При разработке аппаратуры решались следующие задачи. Станция должна быть дешевой с обеспечением работы по 24 телефонным каналам на дальность 16 км; обеспечивать сопряжение в работе с другими цифровыми системами связи, использовать ИКМ, которая достаточно экономична для передачи сигналов телефонии, данных, факсимильной связи; быть компактной, обеспечивать простоту эксплуатации, иметь малые габаритные размеры и массу. Учитывая эти требования, приемопередатчик станции выполняют на одном диоде, выполняющем функции генератора передатчика, повышающего преобразователя и гетеродина приемника одновременно. Волноводный тракт, являющийся наиболее дорогой частью станции, в 2 раза меньше волноводного тракта обычных радиорелейных станций.

Рабочий диапазон частот станции 38,6...40 ГГц, ширина полосы частот ствола 50 МГц, направления передачи и приема разнесены на 700 МГц.

Основные параметры станции: мощность передатчика 7 дБм, шум-фактор приемника менее 12 дБ; коэффициент усиления станции 177 дБ; усиление антенны более 40 дБ; ширина луча антенны  $1,2^\circ$ ; стабильность частоты 0,012%; антенна параболическая диаметром 45 см. Масса контейнера с радиооборудованием и антенной 45 кг. Контейнер в городских условиях, как правило, укрепляется на шесте диаметром 10 см и устанавливается на крыше здания.

Достоинствами радиорелейных станций миллиметрового диапазона волн являются: экономичность, малые габаритные размеры, высокая информативность; малое потребление энергии и скрытность связи. Технические характеристики некоторых РРС приведены в табл. 2.7. В качестве примера рассмотрим японскую РРС ММВ типа МАСТ-1. Для передачи сигналов в РРС применяется двухпозиционная циф-

Страна	Наименование	Назначение	Диапазон частот, ГГц	Вид модуляции
1	2	3	4	5
Япония	МАСТ-1	Распределительная телефонная сеть	38,6...40	ИКМ ФМ-2
Франция	—	Абонентская телефонная сеть	31...31,3	ЧМ
США	—	Распределительная телефонная сеть	39	ИКМ ФМ-2
США	AN/GRC-173	Многоканальная линия малой протяженности	36,25...38,25	ИКМ ФМ-2
—	—	Правительственная связь	37,5...39,5	ИКМ ЧМ
Япония	MI-LINK-40	Репортажное телевидение	40	ЧМ
—	—	Видеоконференц-связь	38,6...40	ЧМ
США	—	Городская телефонная связь	60	ИКМ ЧМ
ФРГ	—	Железнодорожная радиотелефонная сеть	58, 15	ИКМ АМ

ровая ФМ (ФМ-2) на промежуточной частоте 350 МГц, в приемнике — двойное преобразование частоты и когерентное детектирование. Основными элементами передающего тракта являются 9-каскадный скремблер с самохронированием и интерфейс, а приемного — схема выделения тактовой частоты и импульсное решающее устройство, состоящее из компаратора и Д-триггеров на монолитной ИС. Параболическая антенна с диаметром 30 см обеспечивает усиление порядка 40 дБ при ширине диаграммы направленности основного лепестка не более 1...2° и сравнительно малом уровне задних лепестков; в целях уменьшения стоимости используются рупорные антенны (20 дБ) и рупорно-линзовые (30 дБ). Благодаря небольшим габаритным размерам антенн и интегральной конструкции ретранслятора станции (масса 32 кг) стало возможным их совместное компактное размещение без промежуточного фидера с установкой аппаратуры станции между двумя антеннами. Подобные станции могут размещаться в населенных пунктах на крышах высоких зданий. В передатчике для уменьшения потерь мощности модуляция осуществляется на ПЧ, мощность передатчика 5 Вт.

В качестве фазового модулятора используется кольцевой модулятор на диодах с барьером Шотки. Повышающий преобразователь работает на арсенидо-галлиевом варакторе с предельной частотой 500 ГГц, потери в преобразователе не превышают 1,5 дБ. Частота генерации стабилизирована с помощью внешнего высокочастотного резонатора.

Приемник состоит из гетеродина, смесителя и УПЧ. Для улучшения параметров

## характеристики РРС ММВ

Скорость передачи, Мбит/с	Число каналов	Мощность передатчика, дБм	Коэффициент шума приемника, дБ	Вид и диаметр антенны, м	Длина интервала, км	Потребляемая мощность, Вт
6	7	8	9	10	11	12
1,544; 6,312 0,128	24,96  5	7  17	10  —	Параболическая, 0,46 0,3	4  6...15	75  35
1,544 6,312 236	24,96  —	17  20	—  10	Параболическая, 0,053 Параболическая, 1,8	4  10	120  —
6,312; 1,544	96,24	10	12	Параболическая, 0,36; 0,6	3,7	96
—	1 канал ЦТВ	20	12	Параболическая, 0,36	8	40
—	1 канал ЦТВ и 2 служебных канала	20	12	Кассегрена, 0,6	4	—
50	700	10	—	Параболическая, 0,3	1...2	—
—	—	17	—	Параболическая, 0,5	2	—

приемника предусмотрено двойное преобразование частоты. В качестве гетеродина используется стабилизированный генератор на диоде Ганна. Смеситель имеет волноводно-полосковую конструкцию. Собственные потери преобразователя составляют примерно 5 дБ, нормированный коэффициент шума 9 дБ. Усилитель промежуточной частоты выполнен на основе многокаскадной транзисторной схемы с плоской частотной характеристикой, охваченной петлей АРУ с глубиной регулирования 50 дБ.

Для демодуляции ИКМ ФМ сигнала используется когерентный детектор, опорный сигнал для которого выделяется из приходящего сообщения в блоке восстановления несущей. Регенератор построен на основе петли ФАП, область неопределенности порога решающего устройства 0,7%.

Радиорелейная станция МАСТ-1 предназначена для создания распределительной сети звездчатого типа и организации отдельных соединительных линий в городских и пригородных зонах (рис. 2.6).

В данном примере протяженность интервала 4 км, а радиус действия до 16 км.

На основе МАСТ-1 созданы более экономичные РРС с одним генератором СВЧ, обеспечивающие скорость передачи 1,544 Мбит/с, с уменьшенной мощностью потребления до 50 Вт и массой контейнера с антеннами — 45 кг (габаритные размеры 50 × 50 × 58 см).

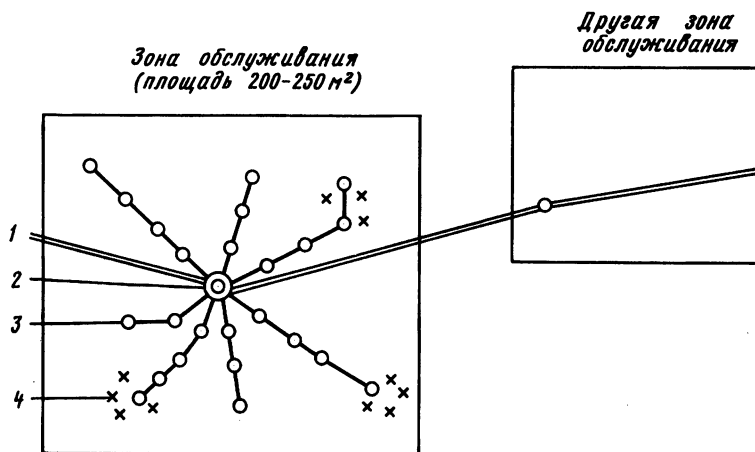


Рис. 2.6. Пример конфигурации телефонной сети с МАСТ-1:

1 — междугородные телефонные линии; 2 — городская АТС; 3 — оконечная РРС; 4 — ответвления

Во Франции разработана цифровая радиорелейная аппаратура в диапазоне 31...31,3 ГГц, предназначенная для обслуживания всего пяти телефонных абонентов со скоростью 128 кбит/с, мощностью 50 мВ и протяженностью интервала 15 км, антенна диаметром 30 см (при протяжении интервала 6 км нарушение связи составило 1 ч в год). Подобная РРС разработана в Великобритании в диапазоне 29 ГГц. В ней используется двухпозиционная ФМ со скоростью передачи 70...100 Мбит/с, выходная мощность передатчика 20 дБм.

Радиорелейные линии диапазона ММВ широко используются в высоконадежных системах правительственной связи и на линиях передачи данных между ЭВМ и периферийными устройствами, а также в период стихийных бедствий.

Для передачи телевидения на небольшие расстояния в Японии разработана переносная РРС типа MI-LINK40 в диапазоне 40 ГГц. В станции используется аналоговая ЧМ. Средняя протяженность интервала 8 км, выходная мощность передатчика 10 дБм, коэффициент усиления параболической антенны диаметром 36 см — 40 дБ, масса передатчика 8,5 кг, приемника 12,5 кг. При небольших расстояниях используются антенны с диаметром 14 см; что значительно удешевляет стоимость системы. На рис. 2.7 и 2.8 показаны переносные РРС малой емкости типов TM407 и TM440.

Для обеспечения связи в системе видеоконференц-связи в крупных городах Японии разработана РРС в диапазоне 38,6...40 ГГц. В этом диапазоне размещено четыре дуплексных ствола с разносом в 50 МГц. В полосе одного радиоканала шириной 8,65 МГц можно разместить один канал цветного телевидения, два канала тональной частоты с полосой по 10 кГц и два узкополосных канала управления. Выходная мощность передатчика 100 мВт, в приемнике применено двойное преобразование частоты (1,7 ГГц и 70 МГц), коэффициент шума приемника 11,5 дБ. Протяженность интервала с учетом возможности интенсивных дождей ограничена до 4 км. Антенны и приемопередающие устройства размещены в одном шарообразном контейнере, который устанавливается на крыше зданий в стальной опоре высотой 1,5 м. Контейнер сохраняет работоспособность при скорости ветра 40 м/с. Общая масса оборудования 330 кг. Питание станции предусмотрено от сети переменного тока напряжением 100 В.



Рис. 2.7. Переносная  
PPC типа TM407

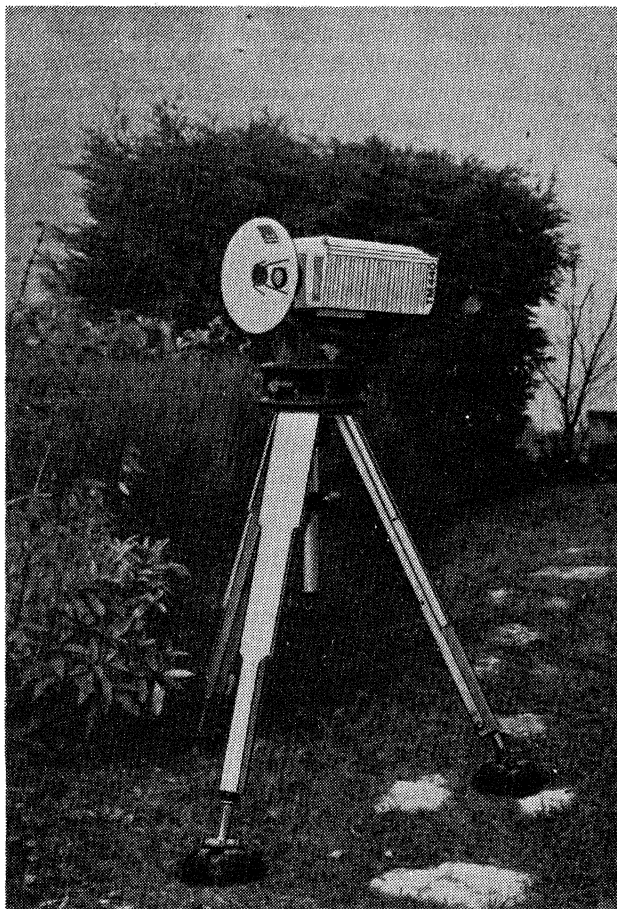


Рис. 2.8. Переносная PPC  
типа TM440

а в случае повреждения сети — от батареи, рассчитанной на 2 ч работы.

Для связи на короткие расстояния (1...2 км) в Японии разработана PPC в диапазоне 50 ГГц со скоростью 10,7 Мбит/с. Передатчик мощностью 3 мВт выполнен в виде СВЧ ИС, использован диэлектрический резонатор, что обеспечивает стабильность частоты не хуже  $\pm 10^{-4}$  в диапазоне температур 0...50° С.

В США разработана цифровая PPC в диапазоне 60 ГГц, работающая со скоростью 50 Мбит/с. В станции использована цифровая ЧМ, при которой ИКМ сигнал поступает непосредственно на управляющий вход задающего генератора на ЛПД с варакторной перестройкой несущей в пределах 50 МГц. В передатчике частота задающего генератора контролируется с помощью системы АПЧ на основе петли ФАП, выходная мощность передатчика 10 мВт. На входе приемника установлен понижающий преобразователь частоты, состоящий из балансного смесителя и гетеродина на ЛПД, частота которого также контролируется с помощью системы АПЧ. Преобразованный сигнал поступает в тракт ПЧ, состоящий из трех ступеней УПЧ, каждая из которых имеет усиление порядка 30 дБ.

Приемопередающая аппаратура устанавливается вместе с параболической антенной диаметром 30 см на верхушке перископической мачты в контейнере, имеющем габаритные размеры  $50 \times 36 \times 55$  см. Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 120 В, а в случае необходимости от батарей с возможностью работы 4 ч.

Аналогичная система в диапазоне частот 60 ГГц разработана в ФРГ для обеспечения связи на железной дороге. Станции расположены стационарно на столбах вдоль железнодорожного полотна и на крышах подвижных объектов. Дальность связи около 2 км, мощность передатчика 50 мВт, параболическая антенна с коэффициентом усиления 34 дБ. В ФРГ внедрен в эксплуатацию радиотелефон, работающий на частоте 60 ГГц, с максимальной дальностью 1,5 км. Перехват работы подобной станции исключается.

В диапазоне ММВ РРС используются два вида волноводов — закрытые и открытые. Первые представляют собой полностью экранированные многомодовые металлические волноводы (МВ) и металлodieлектрические (МДВ), вторые — частично экранированные МВ, МДВ, а также диелектрические волноводы (ДВ).

Для РРС в длинноволновой части диапазоне ММВ применяются закрытые волноводы, как одномодовые, так и многомодовые, преимущественно с круглым и прямоугольным сечениями. С уменьшением длины волны потери возрастают, поэтому в коротковолновой части диапазона ММВ используются круглые многомодовые МВ (с диаметром  $> 0,8\lambda$ ) или прямоугольный многомодовый МВ (с размером широкой стенки  $a > \lambda$ ).

Открытые волноводы применяются для передачи относительно небольших мощностей при построении интегральных схем и некоторых других устройств ММВ.

Наиболее перспективными направлениями развития волноводной техники диапазона ММВ являются внедрение квазиоптических элементов на основе многомодового МВ, гофрированного МВ и импедансного МДВ, а также трактов и элементов на основе МДВ, ДВ и ферритовых волноводов, составляющих элементную базу для интегральных схем диапазона ММВ.

В диапазоне миллиметровых волн применяются как специально разработанные антенны, так и используемые в других диапазонах, например зеркальные. Специфика изготовления антенн диапазона ММВ заключается в повышенных требованиях по сравнению с более длинноволновыми диапазонами в их конструировании, изготовлении и согласовании с волноводными трактами. В то же время антенны диапазона ММВ отличаются малыми габаритными размерами и массой.

Совершенствование антенн диапазона ММВ проводится в направлении изыскания методов использования известных антенн оптического диапазона, например двухзеркальные антенны и диелектрические линзовые антенны, а также антенны «вытекающей» волны на основе гофрированного диелектрического волновода.

Широкое развитие получили перспективные РРС малой и средней емкости (табл. 2.8). Эти станции предназначены, как правило, для работы в диапазоне частот более 10 ГГц. Поступили в эксплуатацию РРС квазимиллиметрового и миллиметрового диапазонов волн, которые обеспечивают связь на внутригородских линиях между АТС, вычислительными комплексами, промышленными предприятиями, для вставки на поврежденных участках кабельных линий в местах, где прокладка кабеля затруднена. Аппаратура станции в большинстве случаев устанавливается непосредственно на антенной мачте в контейнерах с высокой степенью влагонепроницаемости. Например, РРС типа MIRAS-1 обеспечивает работу в диапазоне ММВ, на дальность одного интервала

Таблица 2.8.

## Перспективные цифровые радиорелейные станции малой и средней емкости

Страна	Тип РРС	Диапазон передачи, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Вид модуляции	Мощность передатчика, Вт	Коэффициент шума приемника, дБ	Потребляемая мощность, Вт	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
США	RDC-80	11	40,15	ФМ-4	1,0	8	480	Интервал 4 км
США	—	22; 39	1,544; 6,312	ФМ-2	0,05	—	120	Один ствол
США	DM-18	18,3...19,04	1,544; 6,312	—	0,06	—	40	Наработка на отказ 40 тыс. ч
Япония	11GHP-40	10,7...11,7	40	ФМ-4	0,316	8	80	12 стволов
Япония	12GP-20	12,2...12,7	20	ФМ-4	0,1	9	75	Интервал — 4 км
Япония	MAST-1	38,6...40	1,544	ФМ-2	0,05	10	75	Передача телевидения, интервал — 2,5 км
Япония	MIRAS-1	40,0...60,0	6,312 1,544 8,448	ЧМ	0,03	13	20	Два ствола
Франция	TM-313	11,7...13,3	8,448	ЧМ	0,3	10	130	Интервал 40 км
Франция	FLD-15	14,4...15,35	2,048 8,448	ЧМ	0,1	13	—	4 ствола, интервал 10...20 км
Италия	HN-13	12,7...13,2	34	ФМ-4	0,32	9	40	2 ствола
Италия	Н17/30	12,71...12,82	2,048	АМ	0,015	13	29	8 стволов, интервал 30...40 км
Италия	—	12,75...13,25	8,448	ЧМ	0,1	10	19	Подвижная РРС, интервал 25 км
Норвегия	HERA-32	12,75...13,25	2,048	ФМ-2	0,1	10	25	8 стволов, интервал 22—28 км
Норвегия	MNSL-8	14,5...14,25	8,448 2,048	—	0,05	9	25	Интервал 22 км
ФРГ	PSK-120— 240/15 000	15	8,448	ФМ-4	0,5	9	25	Интервал 4 км
Канада	—	12,75...13,25	—	ФМ-4	0,1	9	—	
Япония	MAST-1A-1,5	38,6...40	1,544	ОФМ-2	—	12	50	

2,5 км. В ней использованы: ЧМ модулятор на диодах Ганна, смеситель на микросхемах, многослойные БИС. Некоторые образцы РРС малой емкости, например MWC-100 (США), MAST-1 (Япония), обеспечивают дальность связи на интервале до 4 км.

В большинстве образцов применяется четырехуровневая относительная фазовая модуляция, но есть РРС с частотной, амплитудной (в том числе квадратурной) и двухуровневой фазовой модуляцией. Выходная мощность станций — от десятков до сотен милливатт, а квазимиллиметрового и миллиметрового диапазонов — единицы милливатт, например в MAST-1 — 5 мВт.

Коэффициент шума станций 8...13 дБ, но появились РРС с коэффициентом шума 6...7 дБ (например, РРС DMI-2, DR2C-48 (США), NZL121 и NZL150 (Норвегия) и др.). Как правило, все станции унифицированы, имеют взаимозаменяющиеся блоки.

### **3. Тропосферные системы связи**

#### **3.1. Общие положения**

Открытие в начале 50-х годов эффекта дальнего тропосферного распространения УВЧ и СВЧ позволило создать тропосферные линии (ТРЛ) с расстояниями между соседними станциями 200 ... 350 км, а в отдельных благоприятных условиях распространения — 600 ... 800 км. 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 малощумящими параметрическими усилителями с температурой шума 100 ... 200 К, антенны площадью до 1000 м<sup>2</sup>, пороγο-понижающие устройства для ЧМ, а также ряд систем борьбы с замираниями сигнала, вызванными многолучевой структурой сигнала. Широкий фронт велась научная работа.

Привлекательность тропосферной связи в эти годы определялась большим расстоянием 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 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 внутризональных и местных сетей связи, ответвлений от магистрали, обеспечения морских буровых установок, создания мобильных тактических сетей. Пропускная способность ТРЛ вполне достаточна для этих целей, а спутниковая и радиорелейная связь экономически менее эффективна.

В этот период происходит постепенная замена оборудования ТРЛ. Устанавливается второе поколение аппаратуры, обеспечивающее более высокое качество связи при тех же

энергетических показателях, усовершенствуется элементная база: вся аппаратура, за исключением мощного усилителя, выполняется на транзисторах. Разрабатываются и внедряются принципиально новые системы борьбы с замираниями, использующие широкополосные составные сигналы с автокорреляционной обработкой. Интенсивно исследуются различные системы передачи по ТРЛ цифровой информации.

Примерно с 1977 г. начался третий этап развития тропосферной связи. Интерес к тропосферным системам определяется возросшими темпами развития богатых сырьевыми ресурсами, в отдаленных и труднодоступных районах мира, а также интересами военных ведомств. В мировой практике насчитываются сотни таких линий, в частности, введены в эксплуатацию сеть линий в Северном море (между нефтяными скважинами и материком), в Гренландии, Бразилии, других странах. Для ТРЛ разрабатывается и внедряется аналоговая и цифровая аппаратура третьего поколения с еще более совершенной элементной базой (с использованием микромодулей и БИС). Ежегодно помимо зонных линий вводятся несколько тысяч километров магистральных линий, обеспечивающих связь в труднодоступных районах мира. Отсутствие космического сегмента, применение двух полуккомплектов радиооборудования, необходимых для разнесенного приема, обеспечивает чрезвычайно высокую надежность работы ТРЛ при любых условиях.

В дальнейшем использование в выходном каскаде передатчиков транзисторных усилителей мощности позволит отказаться от мощных систем охлаждения и высоковольтного питания, уменьшить габариты и реализовать экономичный контейнерный вариант необслуживаемой тропосферной станции.

Станции тропосферной связи (ТРС) по тактико-техническим возможностям способам передвижения, мобильности и другим признакам можно условно классифицировать на: стационарные и подвижные; коммерческие и военные; аналоговые и дискретные (цифровые).

В настоящее время многие системы тропосферной связи используются одновременно, как в военных, так и в коммерческих целях и в принципе незначительно отличаются друг от друга.

Особенно большое развитие ТРЛ приобрели в военных целях. Военные ведомства США и других стран НАТО, а также Японии активно применяют тропосферную связь в стратегическом, оперативном и тактическом звеньях управления войсками и планируют для дальнейшего внедрения в перспективных автоматизированных системах связи и управления войсками и оружием. Тропосферная связь задействована на центральных узлах связи родов войск, в сетях порайонной связи, для создания на ТВД рокадных линий и сетей тропосферной связи, обеспечения прямой связи командования, создания подвижных узлов связи для объединений, соединений, отдельных частей, а также в частях морской пехоты и соединениях быстрого реагирования.

Из всех построенных стационарных аналоговых и цифровых систем тропосферной связи ~170 систем общей протяженностью около 200 тыс. км более 75% принадлежит военным ведомствам. Военные стационарные системы обеспечивают многоканальную связь в стратегическом звене управления, связь дальней зоны обнаружения воздушных целей, в том числе ракет, межконтинентальную связь в целях управления контингентами войск стран НАТО, размещенных на различных континентах и в островных районах, связь с базами ВВС, аэропортами, военно-морскими базами.

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 ТРС пришлось создавать аппаратуру с энергетическими параметрами существенно лучшими, чем у РРЛ прямой видимости. Кроме того, для борьбы с быстрыми интерференционными замираниями, был разработан ряд методов, позволивших существенно улучшить надежность работы ТРС.

В подвижных станциях антенны диаметром, не превышающем 12 м, перевозятся в сложенном состоянии; в стационарных ТРС имеют значительную площадь, например  $18 \times 18 \text{ м}^2$ .

Учитывая, что большинство станций работают в сложных природных условиях, антенные устройства были приспособлены для работы при сильных ветровых нагрузках (иногда до 65 м/с) и чрезвычайно низкой температуре (так, для сети ТРЛ на Аляске был предусмотрен обогрев антенн). Энергия 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 100 кВт используют чаще всего в выходном каскаде многорезонаторные кlistронные усилители (в диапазонах выше 800 МГц) или мощные ламповые усилители (в диапазоне 300 ... 600 МГц). Разработаны и выпускаются кlistроны с КПД, достигающими 50%.

Для приемной аппаратуры ТРС указана глубокая АРУ, уменьшающая на 35 ... 40 дБ колебания сигнала на входе детектора.

Системы борьбы с замираниями — важнейшие в аппаратуре ТРС. Используется многократный прием сигналов при пространственном, частотном и угловом разнесении сигналов, при кратности разнесения 2, чаще 4, а иногда и более. Оптимальное сложение сигналов осуществляется как по низкой, так и по промежуточной частоте. В последние годы разработаны и внедрены методы автокорреляционного приема с использованием составных сигналов.

## **3.2. Аналоговые тропосферные системы и средства связи**

**Общие сведения.** Аналоговые станции тропосферной связи США, Великобритании, Франции, ФРГ, Японии, Канады, Италии незначительно отличаются друг от друга по техническим данным (табл. 3.1).

За рубежом создано и произведено большое число аналоговых тропосферных станций как по их типу, так и по числу (табл. 3.2).

Станций в подвижном варианте произведено значительно больше, чем в стационарном (табл. 3.3).

**Стационарные станции.** К стационарным станциям США относятся все станции типа AN/FRC (Fixed radio communications), кроме того, для работы в стационарных условиях приспособлена аппаратура более мощных подвижных станций типа AN/MRC (Mobile radio communications). Они производятся фирмами REL, TT, Filco и др.

Станции, как правило, имеют четыре поддиапазона. На каждый из них изготавливаются возбудители, размещаемые в одной стойке с жестким каркасом. Для всех поддиапазонов используется один модулятор, что позволяет быстро перейти на любой поддиапазон. Переход же на другую частоту в пределах одного поддиапазона осуществляется сменой кварца в блоке формирования радиочастоты. Возбудитель имеет следующие усредненные характеристики: выходная мощность 5 ... 10 Вт, выходное сопротивление 50 Ом; ширина полосы пропускания 12 ... 1052 кГц; ширина полосы пропускания служебных каналов от 0,25 ... 12 000 Гц; стабильность частоты  $\pm 0,001 \dots 0,0020$ ; масса 250 ... 375 кг.

Усилители выпускаются для работы в одном из четырех поддиапазонов и могут

Таблица 3.1.

## Технические характеристики аналоговых тропосферных станций, получивших наибольшее использование

Тип станции	Страна	Дальность связи на одном интервале, км	Диапазон частот, МГц	Число каналов ТЧ	Размеры антенн, м	Мощность передатчика, кВт	Степень разнесения	Экипаж, чел.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Стационарные станции</i>								
AN/FRC-39	США	350 ... 500	1700 ... 2400	24,72	8,5; 18,0	1; 10; 50	4НЧ	—
AN/FRC-39A	США	300	755 ... 985	TB	—	10	4НЧ	—
AN/FRC-41	США	300	7125 ... 8500	TB	—	1; 2	4НЧ	—
AN/FRC-45	США	150	755 ... 985	24	18,0	1; 10	—	—
AN/FRC-47	США	400	350 ... 450	24	36 × 45	3; 10; 50	4НЧ	—
AN/FRC-56	США	300 ... 600	1700 ... 2400	TB	8,5	1; 10; 50	—	—
AN/FRC-96	США	400	2550 ... 2700	132	—	10	—	—
AN/FRC-123	США	200 ... 300	755 ... 985	240	8,5	10	4НЧ	—
THC—949T	Франция	130 ... 400	350 ... 470	TB	6,0	1; 5	2НЧ	—
FM/2000	ФРГ	200 ... 400	2060 ... 2350	120	15; 30	1; 2	—	—
FM	ФРГ	150 ... 300	1700 ... 2400	132	2; 10; 18	1; 10	—	—
ОН-900	Япония	250	700 ... 900	TB	—	—	8НЧ	—
ОН-2000	Япония	600	1700 ... 2400	120	3; 10; 20	0,1; 1,0; 2,0	8НЧ	—
ОН-Т	Япония	284	1850 ... 2110	TB	—	1; 2	—	—
<i>Подвижные станции</i>								
AN/TRC-56	США	120 ... 150	350 ... 600	12	4,5	1	2НЧ	12
AN/TRC-60	США	180	350 ... 600	24	4,5	1	2НЧ	10
AN/TRC-66	США	160 ... 300	4400 ... 5000	48; 60	4,3	1; 5	2НЧ	10
AN/TRC-80	США	160 ... 180	350 ... 600	12	2,8; 1,24	1	2НЧ	2
AN/TPC-90	США	200 ... 220	4400 ... 5000	24	4,5	1	4НЧ	6
AN/TRC-92	США	320	755 ... 885	60	—	1; 10	4НЧ	—
AN/TRC-97	США	160 ... 200	4400 ... 5000	12; 24; 60	2,4; 4,5	1; 5	4ВЧ	6; 8
AN/TPC-103	США	150 ... 200	750 ... 985	24	4,5; 8,0	1; 5	4ВЧ	5; 8
AN/TRC-112	США	150 ... 200	4400 ... 5000	12; 24	4,57	1	4НЧ	4
AN/TRC-121	США	250	4400 ... 5000	12; 24	4,57	1; 2	4НЧ	—
AN/TRC-129	США	160	4400 ... 5000	24; 48	3,0 (9,0)	1; 10	2НЧ	6; 8
AN/TRC-132	США	250 ... 300	4400 ... 5000	24; 60	8,8	1; 10	4НЧ	6

Тип станции	Страна	Дальность связи на одном интер- вале, км	Диапазон частот, МГц	Число каналов ТЧ	Размеры антенн, м	Мощность пере- датчика, кВт	Степень разнесения	Экспл. чел.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
AN/TRC-150	США	150	4400 ... 5000	60; 120	—	10	—	—
AN/MRC-80	США	120 ... 320	1700 ... 2400	12	8,4	1; 2	—	—
AN/MRC-85	США	300 ... 600	1700 ... 2400	24; 72	8,4	1; 10	—	—
AN/MRC-98	США	300 ... 600	755 ... 985	24; 60	8,4	1; 10	—	12
AN/MRC-104	США	320 ... 500	1700 ... 2400	24; 72	9,0	1; 10	4НЧ	10
AN/MRC-105	США	300 ... 400	350 ... 470	24	—	10	—	—
AN/MRC-113	США	—	—	60	9,0	10	—	—
THC-954	Франция	400	830 ... 960	12; 120	6; 10; 20	1; 10	4НЧ	6
THC-955	Франция	300	830 ... 960	120	10; 18	1; 10	4НЧ	8
ORMN-13	Франция	150	600 ... 960	24; 60	5,0	1; 2	—	8; 10
«Меркурий» 2600	Франция	150 ... 200	4400 ... 4800	120	4; 9	1; 2	2НЧ	—
	Великобри- тания	200	7700 ... 8500	300	10	1; 10	—	—
H3722	Великобри- тания	160 ... 300	790 ... 960	24	9,15	1; 10	—	—
H3112/H3122	Великобри- тания	100 ... 300	1700 ... 2700	12; 252	5; 12; 18	1; 10	—	—
ОН/TR-2000	Япония	400 ... 500	1700 ... 2300	120	—	1; 10	4НЧ	—
ОН МН-5000	Япония	400	4400 ... 5000	48	4,5	1; 2	4НЧ	—
FM/120/5000	ФРГ	180 ... 250	4400 ... 5000	24; 60	6,0	1; 2	4НЧ	—

Разработанные и используемые ТРС

Страна	Стационарные ТРС		Подвижные ТРС	
	Всего разработано типов ТРС и их модификаций	Число типов используемых ТРС	Всего разработано типов ТРС и их модификаций	Число типов используемых ТРС
США	13—15	6—8	32—35	6—7
ФРГ	4—5	3—4	4	2—3
Великобритания	4—5	3—4	4—5	3—4
Франция	5—6	4—5	4—5	3—4
Япония	5—6	5—6	2—3	2—3
Канада	4—5	4—5	3—4	2—3
Италия	10—12	4—5	4—6	3—5

Таблица 3.3.

Сравнительные данные по ориентировочному производству стационарных и подвижных ТРС

Вид аналоговых станций	Ориентировочное число произведенных аналоговых ТРС	Средняя протяженность одного интервала, км	Возможная протяженность одной ТРЛ, км	Возможная протяженность всех линий тропосферной связи, км
Стационарные (в США, Великобритании, ФРГ, Франции, Японии)	Более 1000	300 ... 400	500 ... 15 000	150 000
Подвижные (только США)	Более 4000	120 ... 200	300 ... 1000	300 000

обеспечивать выходную мощность 1 ... 100 кВт. Наиболее часто используются усилители 1 ... 10 кВт. Охлаждение усилителей до 10 кВт воздушное, свыше 10 кВт — жидкостное или комбинированное.

Характерным для аппаратуры тропосферных станций является ее высокая межвидовая унификация.

Внешние виды стационарных аналоговых тропосферных станций и их антенных устройств приведены на рис. 3.1—3.3.

Аналоговыми стационарными системами и линиями тропосферной связи являются магистральные тропосферные линии связи большой протяженности многоцелевого назначения. Станции таких систем связи размещаются на специально подготовленных и оборудованных площадках и работают на постоянно отведенных частотах. Эти линии, как правило, имеют один ствол, предназначенный для передачи всех видов информации, в том числе и программ телевидения со звуковым сопровождением. Пропускная способность линий в 50% случаев не превышает емкости 60 телефонных каналов, а на отдельных участках обеспечивается работа по 120, 132 и даже 240 телефонным каналам.

В полосе телефонного канала размещается 6, 12, 16 или 24 уплотненных по частоте телеграфных каналов со скоростью передачи 50 Бод. Специальные модемы обеспечивают передачу данных по телефонным каналам со скоростями 1200 и 2400 бит/с.

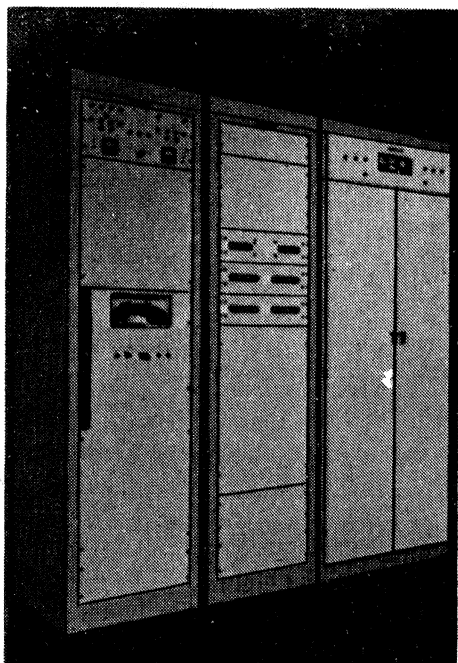


Рис. 3.1. Внешний вид стационарной ТРС типа TFH955

систем тропосферной связи приведены в табл. 3.4.

За рубежом построены одноинтервальные линии обычной протяженности (150—350 км), одноинтервальные сверхдальние системы (750—1100 км), широкоразветв-

Аналоговые стационарные линии и системы тропосферной связи по своему размещению в районах мира можно разделить на континентальные, прибрежные и морские, т. е. трассы связи проходят над акваторией между островами и континентом, а также островами архипелага. В этих случаях полностью используются положительные качества среды распространения. Континентальные системы и линии составляют примерно 38% всех имеющихся за рубежом аналоговых стационарных систем, прибрежные — 26% и морские 36%.

Большинство систем построено в труднодоступных, малонаселенных районах заполярья на территории Канады, Гренландии, в пустынных районах Африки, Австралии, в труднодоступных районах Южной Америки и между островами мирового океана, в гористой местности на территориях Турции, Испании, Японии, Франции.

Ориентировочные данные по размещению аналоговых стационарных

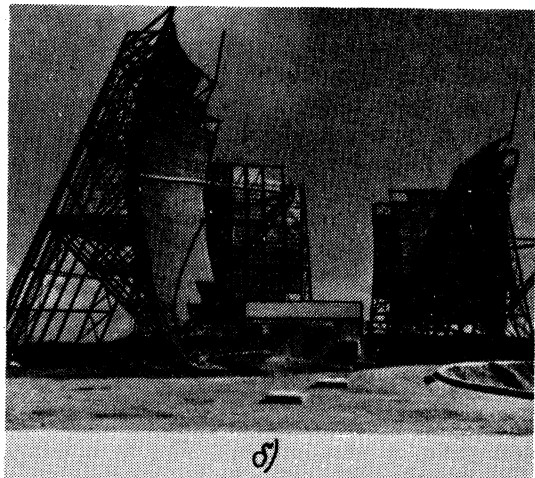
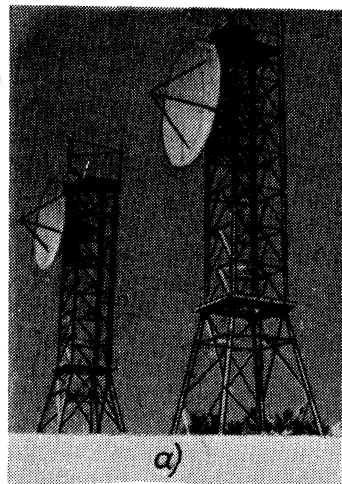


Рис. 3.2. Внешний вид антенных устройств стационарных ТРС:

а) легких и средних; б) мощных

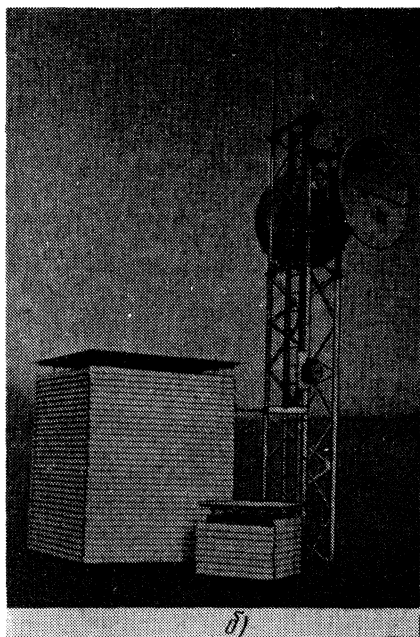
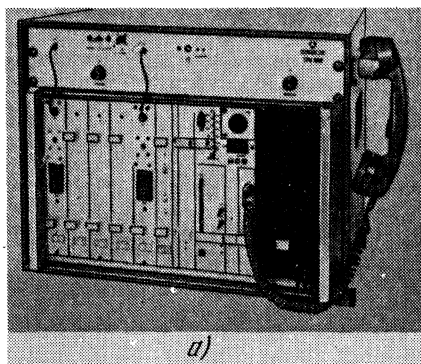


Рис. 3.3. Тропосферная станция типа TFH950:  
а) внешний вид; б) размещение в контейнере

ленные системы протяженностью до 10—15 тыс. км (DEW — Line, Ace High) и несколько межконтинентальных систем (Вашингтон — Лондон, Лондон — Мадрид, Япония — Корея) и др.

Аналоговые системы стационарной тропосферной связи имеют следующие обобщенные параметры: наибольшая протяженность одного интервала 1120 км, наименьшая 120 км; наибольшая мощность передающих устройств 75 и 100 кВт, наименьшая — 1 кВт; наибольшая площадь раскрыва антенн 45 × 36 м, наименьшая — 5 м в диаметре; наибольшее число интервалов в одной системе — 43; число каналов в стволе 12 — 240.

На территории Северной Америки, Гренландии и островах бассейна Карибского моря к началу 80-х годов было построено более 50 систем и отдельных линий тропосферной связи общей протяженностью около 60 тыс. км. Строительство их проводилось в основном фирмами США, а в бассейне Карибского моря фирмами Франции и Великобритании с участием фирм Японии. Все системы используются в комбинированном варианте: правительственная, коммерческая связь и более 80% систем военной связи, в первую очередь в интересах противовоздушной (ПВО) и противоракетной (ПРО) обороны с обеспечением связью многочисленных радиотехнических постов, расположенных в районах заполярья. Основная плотность систем приходится на северное и восточное побережья Северной Америки, южное побережье Гренландии и центральную Америку. Эти системы полностью пересекли территорию США и Канады с востока на запад и с севера на юг (рис. 3.4).

Эксплуатация систем в заполярье дала хорошие результаты по обеспечению устойчивой связи в течение всего года в сложных ионосферных и метеорологических

### Размещение аналоговых стационарных линий

Континенты	Число систем и линий тропосферной связи	Общая протяженность ТРЛ, км	Всего интервалов
Европа	29	48 000	127
Азия	30	25 000	100
Северная Америка и Гренландия	53	45 000	187
Южная Америка	10	14 000	44
Африка	18	6500	29
Австралия	3	2000	9
На всех континентах вновь строящиеся ТРЛ	25—27	20 000—25 000	80—100

условиях. Тропосферные системы имеют широкие сети ответвлений, выполненных с использованием средств радиорелейной и проводной связи.

При строительстве стационарных систем тропосферной связи ориентировочные затраты составляют: разработка проекта системы и привязка на местности — 0,8% всех затрат, строительство помещений для оборудования средств тропосферной связи (помещения для размещения аппаратуры, обслуживающего персонала, хранилищ горючего, складов и др.) — 28,4%, стоимость аппаратуры и обо-

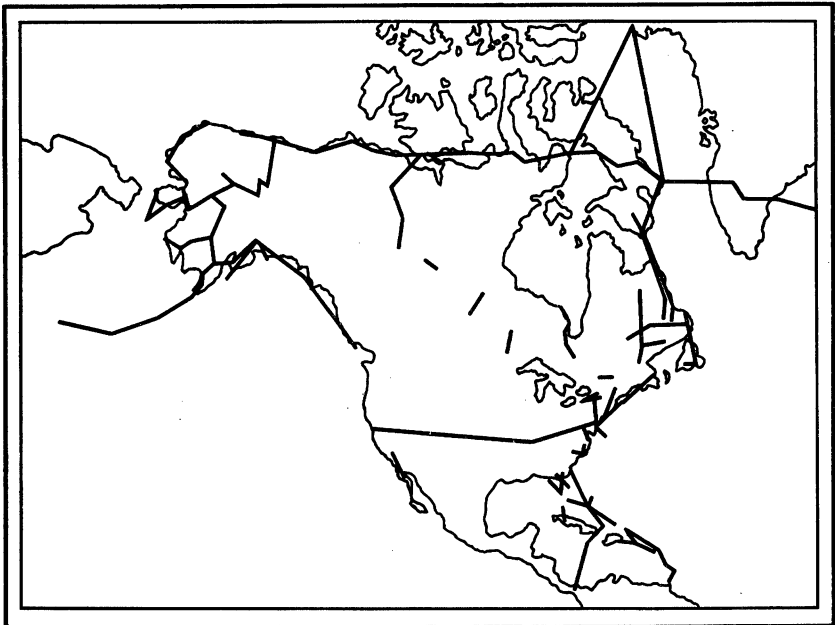


Рис. 3.4. Стационарные ТРЛ Северной и Центральной Америки

## тропосферной связи по континентам

Протяженность одного интервала, км	Число каналов	Мощность передатчиков, кВт	Размеры антенн, м	Число задействованных TRC
200 ... 450	60—240	10, 25	18 × 18 10 × 10	254—280
200 ... 300	60—140	1, 5, 10	10 × 10	176—200
250 ... 450	60—140	10, 25, 50	36 × 45 20 × 20	374—400
200 ... 300	60—120	5, 10	10 × 10	88—95
155 ... 400	60—90	1, 5, 10	10, 20	58—64
200 ... 300	60—120	1, 5	7, 10	18—24
200 ... 350	60—240	1, 5, 10	8, 10	До 220

рудования обеспечения работы—11,8%, затраты на эксплуатацию в течение пяти лет—59%.

В пунктах приема и передачи установлен двухкомплектный состав аппаратуры: две антенны, два передатчика, два приемника. Системы тропосферной связи Северной Америки через Гренландию, Исландию и Великобританию образовали межконтинентальную систему Вашингтон—Лондон. Эта система имеет сопряжение с самой мощной зарубежной системой тропосферной связи—Ace High, что позволило обеспечить связь, начиная от Вашингтона и Лондона, с европейскими странами, входящими в НАТО (рис. 3.5).

В Южной Америке системы тропосферной связи построены вдоль р. Амазонка, на северном и северо-восточном побережьях; системы используются комбиниро-

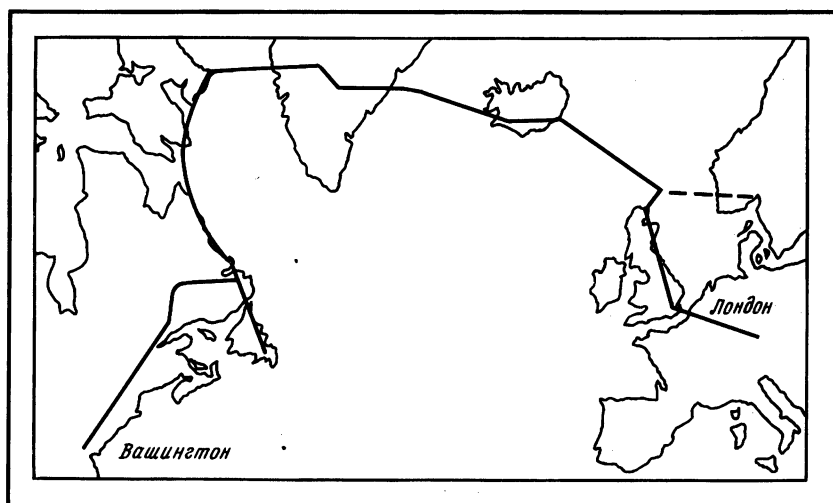


Рис. 3.5. ТРЛ Вашингтон—Лондон

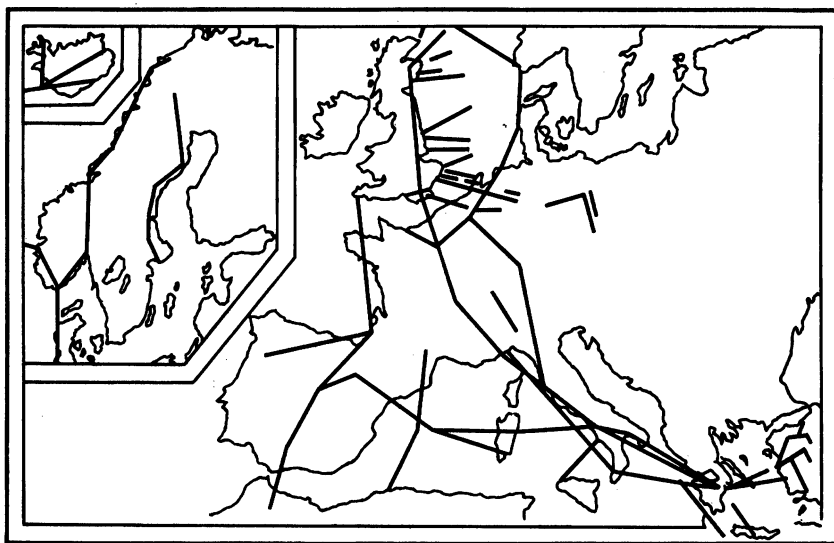


Рис. 3.6. Стационарные ТРЛ в Западной Европе

ванно. Общая протяженность этих систем 9 тыс. км. Наиболее мощная из них протяженностью около 5 тыс. км разделена на три самостоятельных участка между городами: Белен — Манаус — 1470 км., Манаус — Риу Бранку — 1510 км; Риу Бранку — Кампу-Гранда — 2020 км. Система построена японскими фирмами в начале 70-х годов, обеспечивает работу в диапазоне 2000 МГц. Аппаратура станций выполнена полностью на микросхемах, кроме клистрона, и хорошо зарекомендовала себя при работе во влажном и жарком климате.

В Западной Европе тропосферная связь (рис. 3.6) получила широкое развитие, основу ее составила самая крупная система тропосферной связи за рубежом Асе High — военная система стран НАТО. К ней подключено большое число других военных подсистем тропосферной связи районов средиземноморья и островов Средиземного моря, а также мощных систем радиорелейной, спутниковой и кабельной связи. Эти системы сопряжены с системами тропосферной связи Турции и Африки.

Системы Великобритания — Марокко, построенная фирмами США, протяженностью более 2000 км; Великобритания — Испания протяженностью около 800 км и другие имеют многочисленные ответвления.

Тропосферная связь на юге Европы имеет хорошо разветвленную сеть, крупные системы расположены на побережьях Италии, Греции, Испании, на островах Средиземного моря. Общая их протяженность более 20 тыс. км.

Наиболее разветвленная коммерческая система тропосферной связи построена фирмами Великобритании в Северном море для обеспечения связи с платформами газо- и нефтедобычи. Система работает в нескольких диапазонах от 900 МГц до 5 ГГц и обеспечивает связь на расстояния 200...600 км в одном интервале. Всего построено более 20 отдельных систем тропосферной связи. Экономичное использование спектра частот во всех многочисленных системах коммерческой связи Великобритании достигается за счет задействования минимального необходимого числа

несущих частот, уменьшения разноса между ними и регулирования мощности передатчиков в зависимости от условий распространения частот в атмосфере. Снижение необходимого числа несущих частот обеспечивается использованием методов четырехкратного пространственного разнесения и выбора вида поляризации, а также попеременной работы на одинаковых частотах.

Для получения некоррелированных сигналов в сетях связи в Северном море наиболее широко применяется метод счетверенного разнесения, реализуемый комбинированием методов пространственного и частотного разнесения. Он дает выигрыш 19, 26 и 34 дБ при уровнях надежности связи соответственно 99; 99,9 и 99,99% и позволяет в 2 раза сократить число необходимых рабочих частот.

В подавляющем большинстве систем сложение разнесенных сигналов производится не после, а до демодуляции, что хотя и потребовало введения дополнительных схем фазовой подстройки, но обеспечило повышение эффективности порогового уровня на 6 дБ.

Системы тропосферной связи в Северном море обеспечивают передачу данных, а также телефонных и телеграфных сообщений. Пропускная способность в режиме телефонии в среднем 72 канала при использовании ЧМ. Емкость отдельных линий может быть увеличена до 132 телефонных каналов. В режиме телефонии отношение сигнал-шум — 40 дБ для 99,9% времени при скорости передачи дискретной информации в канале 2400 бит/с.

Вся рабочая и резервная аппаратура автоматически контролируется, а сигналы телеметрии поступают в береговой центр контроля и управления и позволяют осуществлять общий контроль в реальном масштабе времени. Большинство станций работает в необслуживаемом режиме.

Система тропосферной связи в Северном море соединяется с автоматической телефонной сетью связи Великобритании и является составной частью государственной сети связи.

Примером линии телевизионной передачи в Европе может быть аналоговая система тропосферной связи на участке между городами Лефка (Греция) — Дерна (Ливия), обеспечивающая передачу программ черно-белого телевидения со звуковым сопровождением. В приемниках станций используются демодуляторы с фазовой автоподстройкой и параметрические усилители с коэффициентом шума 2,5 дБ. Пропускная способность обеспечивает передачу 300 телефонных каналов или одну программу телевидения. Система построена японскими фирмами, обеспечивает работу в диапазоне 2 ГГц, мощность передатчика при работе в режиме телефонии 1 кВт, телевидения 10 кВт, используются две антенны диаметром 19 м.

В странах азиатского континента сети и системы тропосферной связи наибольшее развитие получили на территориях Японии, Турции, государств юго-восточной Азии, на Филиппинах и в Индокитае. В их строительстве принимали участие США, Великобритания, Франция, и только на территории Японии строительство проводилось в основном силами и средствами японской промышленности (часть военных систем построены США). Быстрому внедрению систем тропосферной связи в этом регионе способствовал влажный морской климат, обеспечивающий благоприятное распространение радиоволн, наличие островов. К началу 80-х годов на азиатском континенте было построено более 25 тыс. км с более чем 100 интервалами.

На территории Японии, как правило, системы тропосферной связи строятся на расстояния 1...3 тыс. км с протяженностью интервала 200...400 км. Эти системы

используются для соединения крупных радиорелейных систем связи, расположенных в различных регионах страны или на соседних островах. Японские специалисты считают, что наиболее выгодно строить многоканальные системы тропосферной связи емкостью не менее 60 — 240 каналов. Системы на 12, 24 канала как экономически невыгодные в стране не развиваются, за исключением случаев, когда требуется перекрыть большие расстояния или невозможно применить соответствующие полосы частот.

Системы тропосферной связи Японии, как правило, используются комбинированно (правительственная, коммерческая, военная связь, телевидение), однако основной объем предназначен для военных систем связи и около 15% для передачи программ телевидения. Например, для передачи черно-белого телевидения построена система между островами Окинава и Хирари (протяженность 284 км) и Хирари — Исигаки (126 км). Работа обеспечивается передатчиками мощностью 2 кВт в диапазоне частот 1850...2110 МГц, антенны имеют раскрыв 256 м<sup>2</sup> с усилением 48,5 дБ. Применен метод счетверенного приема с разнесением сигналов в пространстве и по частоте при коэффициенте шума приемника 3 дБ. Особенностью данной системы является додетекторное сложение принимаемых сигналов телевидения на частоте 70 МГц с последующим преобразованием и детектированием в диапазоне 1700 МГц, что улучшает линейность ЧМ гетеродина.

По экономическим и техническим расчетам Япония вместо существовавшей кабельной системы построила систему тропосферной связи с Ю. Кореей на участке между городами Хамада (Япония) и Мурунгсан (Ю. Корея). Эта система имеет протяженность 260 км, емкость 120 каналов, работа обеспечивается передатчиками мощностью 2 кВт в диапазоне 1,8 ГГц с использованием антенн диаметром 19 м. Система была построена в течение одного года. Работа станции, благодаря внедрению высокого качества автоматического контроля и управления, может обслуживаться одним оператором.

В регионе стран Юго-Восточной Азии (Малайзия, Индонезия, Филиппины) системы аналоговой тропосферной связи в основном построены фирмами США, Франции и Японии. В период агрессии США во Вьетнаме была построена широкоразветвленная система военной тропосферной связи на территории Вьетнама и Таиланда. Первоначально использовались военные подвижные станции, которые впоследствии были заменены стационарными станциями типа AN/FRC-39, AN/FRC-85, -98.

В этом регионе стационарные системы построены вдоль территории полуостровов и островов и являются основным связующим звеном для систем радиорелейных и проводных средств связи и обеспечивают правительственную, военную и коммерческую связь.

Представляет интерес комбинированная ионосферно-тропосферная система связи над акваторией Тихого океана протяженностью более 10 тыс. км: основная станция расположена на Филиппинах, пять промежуточных — на островах. Станции ионосферного рассеяния работают в диапазоне 34...37 и 49...55 МГц, а станции тропосферной связи, расположенные на Гавайских островах, в диапазоне частот 800 МГц.

На территории Австралии системы тропосферной связи протяженностью более 2000 км построены в местах бездорожья, господствующих циклонов, лесных пожаров и являются часто единственным видом связи. Эти системы имеют широкую сеть

ответвлений, выполненных с использованием проводных и радиорелейных средств связи.

Системы и линии тропосферной связи в Африке построены в основном на северном побережье страны, две на восточном и одна — на западном — в Анголе. Всего насчитывается около 15 систем и линий общей протяженностью более 7 тыс. км с 35 интервалами. Системы построены фирмами США, Франции, Великобритании и используются комбинированно. Например, система протяженностью около 1000 км на участке между столицей Мозамбик г. Лоренсу-Маркиш и портом Бейра (интервалы протяженности 440, 405 и 155 км) обеспечивает связь по 60 телефонным каналам и используется для правительственной, военной и коммерческой связи. В системах задействованы передатчики мощностью 2...10 кВт, в каждом пункте ретрансляции установлено по два комплекта аппаратуры: два передатчика, четыре приемника, две антенны.

**Подвижные тропосферные станции.** До 95% станций применяются в системах военной связи. В полевых условиях их работа обеспечивается полностью автономно.

Характерной особенностью подвижных станций является возможность обеспечения работы с несколькими типами антенн. В зависимости от назначения станция может быть укомплектована двумя-тремя типами антенн. Антенны военных подвижных станций изготавливаются складными и могут транспортироваться непосредственно на крыше фургона данной станции или на специальном двух- или четырехколесном прицепе. В рабочее состояние антенны разворачиваются либо непосредственно на крыше автомобильного фургона (контейнера), либо на станине транспортирующего ее прицепа, либо на грунте.

Антенные устройства составляют примерно 3/4 общей массы станции.

В большинстве военных подвижных станций в оконечных каскадах передающих устройств используются пролетные многорезонаторные клистроны с КПД около 25...30%. В приемных устройствах замена ламповых усилителей туннельными дает выигрыш в 4...5 дБ. При формировании сигналов наряду с ЧМ широко применяются методы с относительной фазовой манипуляцией (ОФМ).

Военные подвижные тропосферные станции подразделяются на тяжелые, средние и легкие.

Тяжелые подвижные станции имеют по два комплекта передающих устройств мощностью 5...10 кВт, сложные антенны с диаметром до 12 м и более. Станция размещается на 3—4 автомобилях грузоподъемностью по 5 т с дополнительными автоприцепами, предназначенными для перевозки арматуры антенн и дизель-генераторов. С использованием этих станций обеспечивается связь протяженностью одного интервала 250...350 км по 60 телефонным каналам и более. Разворачивание станций занимает 12...24 ч экипажем 8—12 чел. При строительстве систем и линий связи допускается 10 и более интервалов.

К тяжелым подвижным тропосферным станциям относятся станции дециметрового диапазона типа — AN/MRC-85, -98, -104, -105, -113 и др. (и некоторые станции типа AN/TRC-92, -129, -132, -150).

В районах установок тяжелые станции могут доставляться любыми транспортными средствами, а к месту развертывания — военными тягачами.

В комплект станции, как правило, входят: радиоаппаратура тропосферной связи, аппаратура уплотнения каналов, аппаратура засекречивания, радиостанция декаметрового диапазона для обеспечения вхождения в связь и получения команд на марше, антенные устройства и дизель-генератор соответствующей мощности (до 150 кВт).

Линии передачи ВЧ энергии от передатчика до дуплексера (развязывающее устройство) представляет собой коаксиальный кабель диаметром 7/9 см, а от дуплексера до облучателей выполнены в виде герметических волноводов. Как правило, применяется метод четырехкратного разнесения по частоте и в пространстве, модуляция частотная или ОФТ. Аппаратура пригодна для работы в сложных метеороусловиях температур, влажности и пыленасыщенности.

Для большинства станций параболический отражатель антенны состоит из 24 одинаковых ребристых секций и взаимозаменяемых панелей (масса каждой около 20...23 кг). Секции легко собираются с жестким креплением в любой последовательности, что сокращает время развертывания.

Средняя стоимость тяжелых станций 485 тыс. дол., масса около 25 т. Станции используются в стратегическом звене управления войсками.

Средние подвижные станции характеризуются передающими устройствами мощностью 2,5...5 кВт, диаметром антенн не более 5...6 м. Все оборудование станции размещается на 2—3 автомобилях грузоподъемностью 3,5...4,0 т и на специальных прицепах к ним. Развертывание станции занимает 6...12 ч экипажем 6—8 чел. Станции обеспечивают связь на интервале протяженностью 180...230 км по 24 или 60 телефонным каналам. При строительстве линий допускается 6—8 интервалов. К средним станциям относятся станции типа AN/TRC-60, -80, -90, -97.

Станции AN/TRC-90 использовались во Вьетнаме при строительстве тропосферных линий связи протяженностью до 2000 км (10—12 ретрансляций).

Как правило, подобные станции имеют в комплекте по два приемника с двойным преобразованием частоты. В состав приемника входят четырехрезонаторный преселектор и усилитель на туннельном диоде, за счет которых улучшена чувствительность и избирательность приемника. В пунктах приема и передачи установлены по два комплекта передающих, приемных и антенных устройств. Для борьбы с замираниями применен метод двукратного сложения по низкой частоте. Станции оборудованы синтезаторами частот.

Благодаря применению перспективной элементной базы, уменьшенного диаметра антенн и новых конструкторских решений, масса аппаратуры станций последних выпусков сократилась до 30%, что обеспечило размещение станций на одном автомобиле (например, AN/TRC-90, -80, -121). В среднем масса станции 4,2 т (при более мощных передатчиках до 8 т), а непосредственно радиоаппаратуры — около 2 т. Развертывание станции занимает 3...4 ч экипажем 6—8 чел.

Станции, как правило, используются в трех родах войск в оперативном и тактическом звеньях управления.

Стоимость серийного выпуска средних подвижных военных станций около 150 тыс. дол.

Легкие подвижные станции созданы на базе средних подвижных станций для тактического звена управления. Масса и габариты уменьшены почти в 2 раза, значительно повышена оперативность их использования. К легким станциям относятся станции типа AN/TRC-112, -121. Структурная схема станции AN/TRC-112 приведена на рис. 3.7.

В этих станциях применены полупроводниковые приборы, совершенные интегральные схемы, осуществлен автоматизированный функциональный контроль состояния аппаратуры и каналов связи, значительно упрощена эксплуатация. Они имеют устройства для сопряжения со всеми типами тропосферных станций, могут об-

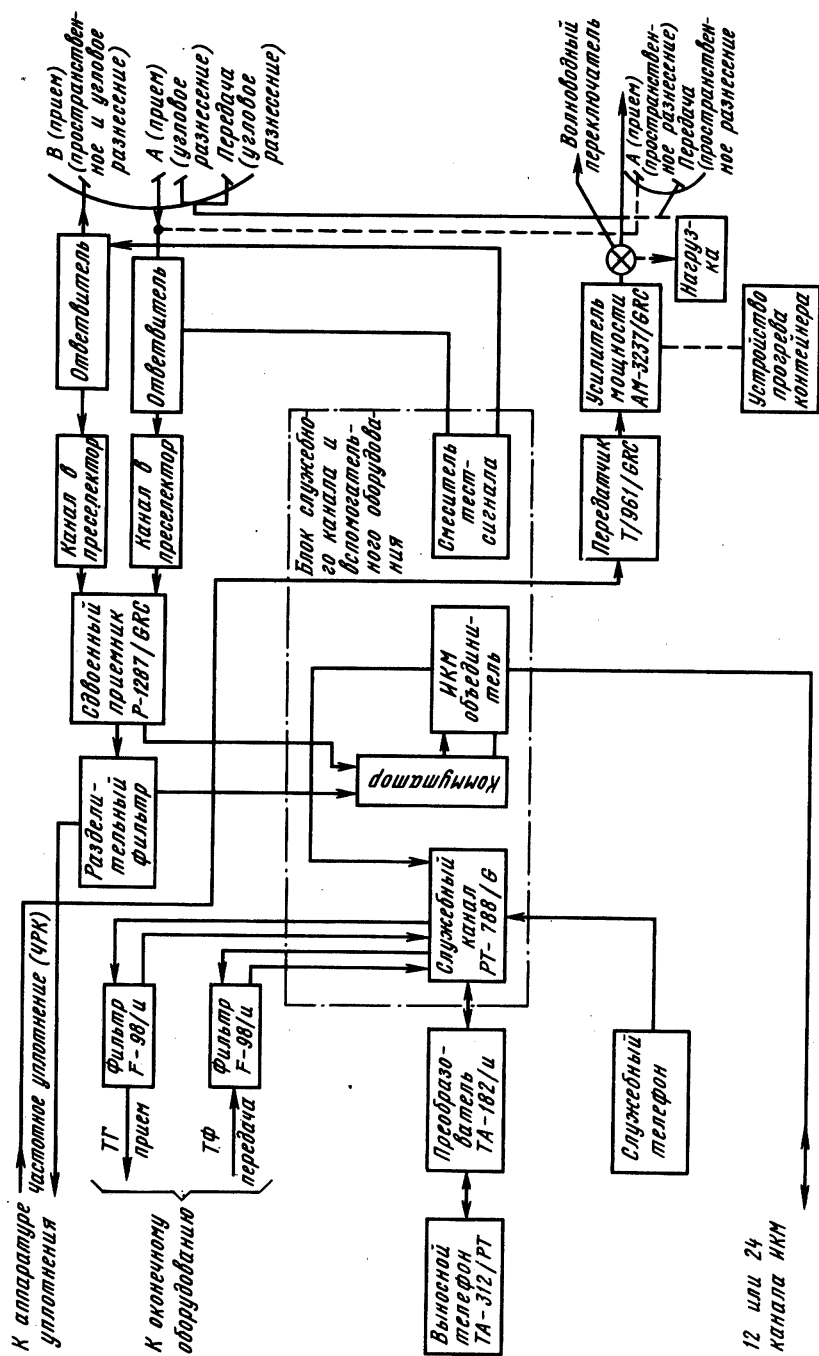


Рис. 3.7. Структурная схема подвижной станции AN/TRC-112

служиваться одним оператором. Станции укомплектованы полностью на транзисторах за исключением клистрона. Применена частотная модуляция при частотном разделении каналов.

Станции обеспечивают связь по телефонным каналам емкостью 12 или 24 канала, имеют 1200 фиксированных частот, кратность разнесенного приема 2 или 4, ширина полосы пропускания по промежуточной частоте 1,5 МГц, масса контейнера с аппаратурой 775...800 кг, масса прицепа с электросиловым оборудованием и антенной системой 1290 кг, диапазон рабочих температур 40...+65°.

Легкие подвижные станции оборудуются выносными устройствами управления и контроля, позволяющими вести работу на расстоянии до 800 м от станции.

Схема построения станции обеспечивает комбинированное оптимальное сложение разнесенных сигналов. Модуляция осуществляется с двумя боковыми полосами, спектр поднесущих 60...108 кГц, синтезатор образует 1200 радиочастот со стабильностью  $5 \cdot 10^{-6}$ . Для формирования дискретной сетки рабочих частот в передатчике и приемнике радиостанции применены идентичные синтезаторы частоты, позволяющие выбрать любую из 6001 рабочих частот, размещенных с интервалом 100 кГц. Приемники осуществляют сдвоенный прием с однократным преобразованием частоты. Они снабжены усилителями на туннельных диодах и имеют коэффициент шума не хуже 5,5 дБ.

В станциях используется около 1300 интегральных схем и полупроводниковых приборов, из них 30% составляют интегральные схемы.

Тестовые контрольные приборы и индикаторы позволяют быстро определять места неисправности вплоть до отдельных модулей. Благодаря модульной конструкции радиоаппаратуры работоспособность станции восстанавливается за 15 мин.

Станции комплектуются антенной системой, состоящей из двух секционированных параболических рефлекторов диаметром до 3 м, размещаемых на мачтах высотой 4,5 м. Параболические отражатели изготавливаются из алюминиевой сетки, благодаря чему достигается достаточные жесткость и легкость конструкции. Разборные отражатели состоят из восьми отдельных секторов, мачты изготавливаются из трубчатых штанг.

Подвижные легкие станции обеспечивают работу в режимах тропосферного рассеяния и прямой видимости.

Основными техническими особенностями легких подвижных станций являются: задействование полуавтоматической системы контроля состояния линий связи, определяющей пригодность их для передачи информации и автоматических вызывных устройств для опознавания корреспондента и установления связи; внедрение автоматических устройств выбора наилучшего канала связи, твердотельных схем модульной конструкции для уменьшения массы и габаритных размеров станций; применение узкополосного режима работы для увеличения отношения сигнал-шум на приемном конце линии связи в условиях радиопомех или других факторов воздействия. Стоимость одного комплекта серийно выпускаемой станции ~120 тыс. дол.

### **3.3. Цифровые тропосферные системы и средства связи**

**Особенности цифровой тропосферной связи.** Успехи современной теории связи, радиоэлектроники и схемотехники позволяют создавать цифровые тропосферные системы со скоростями передачи информации 10...12 Мбит/с. При этом приходится применять методы борьбы с межсимвольной интерференцией, помехоустойчивое кодирование, адаптивную коррекцию с обратной связью «по решению» и др.

При необходимости передачи цифровых потоков до 1...2 Мбит/с можно обойтись без сложных методов борьбы с межсимвольной интерференцией. При этом по сравнению с аналоговыми системами помимо упрощений коммутации и уменьшения массы и габаритных размеров аппаратуры, разделения каналов улучшается стабильность эксплуатационных показателей, повышается уровень автоматизации и, следовательно, упрощается эксплуатация.

В аппаратуре нового поколения ТРС увеличилась надежность благодаря использованию интегральных схем и созданию надежных усилителей мощности с большим КПД и более широкой полосой. Аппаратура цифровых систем менее чувствительна к колебаниям напряжения. Она лучше по ремонтпригодности, автоматическому контролю и способам устранения повреждений. Применение микропроцессоров позволило создать эффективные модемы с системой контроля состояния каждого устройства оборудования и ее отображения на дисплее.

В цифровых многоинтервальных системах тропосферной связи шумы благодаря регенерации накапливаются значительно медленнее, чем в аналоговых, что позволяет строить линии тропосферной связи с большим числом интервалов при незначительном ухудшении качества работы.

Сравнение технических характеристик аналоговых и цифровых ТРС приведено в табл. 3.5.

Характерной особенностью цифровых тропосферных станций является обеспечение работы в режимах тропосферного рассеяния и прямой видимости. Благодаря этому зарубежные специалисты стремятся к сокращению типажа станций, повышают межвидовую унификацию средств, что значительно сокращает расходы на их производство, эксплуатацию и позволяет сокращать число обслуживающего личного состава.

Технические характеристики цифровых тропосферных станций последних выпусков приведены в табл. 3.6.

При использовании тропосферной связи в войсках обеспечивается повышенная скрытность передачи информации (по сравнению со средствами радиосвязи более высоких частот), передача цифровых и речевых сообщений, данных от ЭВМ и телеайпов, увеличивается эффективность использования полосы частот.

Цифровые станции военной тропосферной связи широко применяются на центральных узлах связи (ЦУС) родов войск, для обеспечения связи между аэродромами ВВС, военно-морскими базами, на КП и ЗКП командиров объединений и соединений, в полевых условиях при строительстве сетей и систем связи на ТВД и в прифронтовых районах. Станции начали изготавливаться в комплексе.

Сроки разработки средств тропосферной связи сокращены более чем в 2 раза и доведены до двух-трех лет. При этом заказы на разработку аппаратуры выдаются нескольким фирмам, а серийное производство поручается фирме, добившейся лучших технико-экономических показателей, изготавливается не менее 10—15 опытных образцов для проведения всесторонних исследований.

В цифровой тропосферной военной аппаратуре применяются цифровые модемы, адаптивные к изменениям параметров многолучевости канала. В системе AN/TRC-170 используется метод эффективного приема сигналов с ОФТ при наличии защитного интервала на передаче: в системе DISCAT — метод адаптивной коррекции с обратной связью по решению; в системе Н7400 — метод прямой коррекции ошибок, при котором цифровые послышки данной комбинации разносятся во времени перемещением для автоматического поиска корреспондента, его опознавания и установле-

Таблица 3.5.  
Сравнительные тактико-технические характеристики аналоговых и цифровых тропосферных станций

Технические характеристики	Аналоговые станции типа AN/TRC-97 и AN/GRC-143	Цифровые станции типа AN/TRC-170V1, -V2, -V3	Сравнительные характеристики
1	2	3	4
Диапазон частот, МГц	4400...5000	4400...5000	Цифровой режим работы AN/TRC-170 увеличивает эффективность использования частот
Мощность передающих устройств, кВт	1...5	1...6,6	Позволяет увеличивать дальность связи на интервале
Динамический диапазон приемника, дБ	До 50	Более 80	Низкий динамический диапазон, снижает степень подавления радиопомех
Коэффициент шума приемника, дБ	5,5 (усилитель на туннельном диоде)	3,0 (усилитель на полевых транзисторах с охлаждением)	Комплекс AN/TRC-170 имеет $K_{ш}$ лучше на 2,5 дБ, туннельный диод имеет меньшую наработку на отказ
Диаметр антенн, м	2,5...3,0	2,85	
Усиление антенных устройств, дБ	38...40,9	40,5	
Допустимая ветровая нагрузка на антенну, м/с	45...50	55	Повышенная ветровая нагрузка AN/TRC-170 обеспечивает лучшие условия использования в боевой обстановке
Метод модуляции	Аналоговый 12/24 канальный приемник с частотным разделением и частотной модуляцией 24 канала ГЧ	Цифровой адаптивный приемник с дельта-модуляцией и фазовой манипуляцией До 2048	В комплексе AN/TRC-170 предусматривается возможность работы в условиях многолучевости
Число каналов ГЧ, скорость передачи информации, кбит/с	Установлены измерительные индикаторы, предусмотрено расширение луча диаграммы направленности	Установлены специальные электронные азимутальные датчики и датчики угла места для автоматического управления юстировкой	Комплекс AN/TRC-170 обеспечивает большую пропускную способность Комплекс AN/TRC-170 обеспечивает сокращение времени при вхождении в связь

Технические характеристики	Аналоговые станции типа AN/TRC-97 и AN/GRC-143	Цифровые станции типа AN/TRC-170V1, -V2, -V3	Сравнительные характеристики
1	2	3	4
Вид разнесения	Двойное пространственное	Двойное пространственное и частотное	Комплекс AN/TRC-170 обеспечивает более надежный прием слабых сигналов
Общее усиление всей системы, дБ/мВт	125,1...129,1	134,1	Общее усиление системы AN/TRC-170 более совершенно и на 5 дБ выше
Меры борьбы с радиоэлектронным противодействием	Нет	Адаптивный цифровой прием	Комплекс AN/TRC-170 обеспечивает работу в боевых условиях с применением РЭБ
Защита от радиационного излучения и воздействия электромагнитного импульса	Нет	Предусмотрена специальная конструкция для работы в условиях радиационного излучения и воздействия ЭМИ	Комплекс AN/TRC-170 обеспечивает непрерывность работы в боевых условиях заражения
Источник первичного электропитания	Вырабатывает напряжение частотой 50/60 или 400 Гц	Вырабатывает напряжение частотой 50 или 400 Гц	
Состав экипажа, чел.	4—5	3—4	Уменьшенный состав экипажа AN/TRC-170 дает значительный экономический эффект
Транспортная база	Два автомобиля и два прицепа	Один автомобиль и один прицеп (без источника электропитания)	Транспортная база AN/TRC-170 сокращена в 2 раза, что обеспечивает повышение мобильности, удешевляет эксплуатацию и снимает расход материальных средств

Тип станции, страна	Дальность одного интервала, км	Диапазон частот, МГц
1	2	3
Комплекс военных тропосферных станций, США:		
AN/TRC-170V1	240...320	4400...5000
AN/TRC-170V2	200...240	4400...5000
AN/TRC-170V3	160	4400...5000
AN/GRC-201 (вариант 1)	200	4400...5000
AN/GRC-201 (вариант 2)	150,45	4400...5000
DISCAT (AMT-D-4, вариант 1)	300	1700...2400
DISCAT (AMT-D-4, вариант 2)	150	4400...5000, 7000
Ultralite (наилегчайшая, TPC)	120	4400...5000
Комплекс военных тропосферных станций Великобритании:		
H7400	100; 250	4400...5000
H7450	200	2400...2700

ния связи, а в период обеспечения связи — для автоматического выбора наиболее пригодных рабочих частот.

Проводятся научно-исследовательские работы по изысканию возможностей использования пассивных и активных ретрансляторов и методов создания искусственных неоднородностей на пути тропосферного распространения. Развернуты работы по созданию модульного полупроводникового антенного усилителя с суммарной мощностью до 1 кВт и более, что позволит решить ряд технических задач и значительно уменьшит массу и габаритные размеры станции. Перед промышленностью поставлена задача на порядок уменьшить весовые характеристики комплекса аппаратуры, без учета источников питания. Для компактности станции в условиях передвижения по бездорожью фирмами США практикуется размещение на одном шасси как радиоаппаратуры станции, так и ее антенных устройств и источников электропитания.

Фирмой Marconi (Великобритания) изготовлен анализатор линий тропосферной связи массой 6,8 кг, автоматически определяющий пригодность канала и параметр ТРЛ, не соответствующий заданным требованиям.

Модульная конструкция станций улучшает условия ремонтпригодности и позволяет в 1...3 мин с помощью автоматической сигнализации определять неисправность и заменять вышедший из строя модуль. В некоторых системах обеспечивается автоматическое переключение неисправного модуля на резервный. Каждый модуль снабжен индикацией на светодиодах, показания от них выведены на переднюю панель и указывают на их техническое состояние.

В странах НАТО принята долгосрочная программа по повышению разведки и помехозащитности радиоэлектронных средств связи. Для средств тропосферной связи эта проблема решается в направлении создания остронаправленных антенн, уменьшения уровней бокового и заднего излучений, создания антенны с управляемым

## тики комплексов цифровых ТРС

Число и мощность передатчика, кВт	Скорость передачи, кбит/с (макси- мальная)	Масса (без электро- питания), т	Время разверты- вания, ч	Число и размеры антенн, м	Транспортная база
4	5	6	7	8	9
2 × 6,6	До 2048	4,8	4	2 × 4,5	Контейнер S-280
2 × 2	До 2048	2,0	1	2 × 2,85	То же
1 × 2	До 2048	1,4	1	2 × 2,85	Контейнер S-250
2 × 1	До 2048	1,5	1	7,5	Контейнер S-380
1 × 1; 1 × 0,1	До 2048	—	0,5	2,5; 4,8	Контейнер S-380
2 × 5	До 2048	—	—	2 × 6,4	Автомобиль (контейнер)
1 × 1; 1 × 0,1	До 8448	—	—	—	То же
1 × 1; 1 × 0,1	32...512	1,0	0,3	1 × 2,5	Один автомобиль с при- цепом
1 × 1	До 2048	2,8	1	1 × 4,5	Контейнер
1 × 2	До 2048	2,27	1	1 × 4,5	То же

нулем диаграммы направленности, изыскания возможностей управления лучом излучения антенны в пределах  $1,5^\circ$  по ширине и вертикали (углу места), а также используются сложные сигналы, методы помехоустойчивого кодирования, помехозащитные модемы, адаптация по мощности передающих устройств; внедряется аппаратура контроля и обнаружения помех с визуальным их отображением, изыскиваются инженерно-технические пути для создания помехозащитных многолучевых антенных систем.

Зарубежные специалисты проводят большие поисковые работы по защите средств тропосферной связи от воздействия электромагнитного импульса (ЭМИ). По их мнению, наиболее подвержены влиянию ЭМИ линии привязки ТРС к УС пунктов управления (ПУ), устройства сигнализации, управления сетью связи, антенно-фидерные устройства, радиоаппаратура. Кроме того, воздействие ЭМИ может привести к гибели операторов, находящихся за пультами управления. В целях защиты предусматриваются следующие мероприятия: расширяются системы тропосферной связи за счет включения систем других ведомств, создается резерв ТРС с антенно-фидерными устройствами, размещенными в защищенных помещениях, применяются в радиоэлектронной аппаратуре ТРС радиационно стойкие материалы и детали, создаются схемы защиты с блокировкой возникающих избыточных токов и напряжений, автоматически отключается радиоэлектронная аппаратура в момент действия ЭМИ, применяются защитные экраны и др.

Дальнейшее совершенствование средств тропосферной связи, по мнению зарубежных специалистов, направлено на форсированное внедрение цифровых методов передачи сигнала; продолжение создания унифицированных типов аппаратуры, состоящих из нескольких модификаций; использование единых средств тропосферной связи для военных, правительственных и коммерческих целей; повышение разведки и помехозащищенности работы; использование четырехуровневой ОФТ и дельта-

модуляции с целью увеличения пропускной способности, дальнейшее совершенствование работы в режиме прямой видимости при пониженной мощности; применение помимо разнесенного приема комбинированных способов борьбы с многолучевостью, в том числе адаптивные модемы, метод прямой коррекции ошибок, что позволит повысить эффективность использования спектра.

**Комплекс цифровых военных станций США типа AN/TRC-170.** В комплекс вошли станции трех типов: AN/TRC-170V1 — тяжелые, AN/TRC-170V2 — средние, AN/TRC-170V3 — легкие.

Характерной особенностью комплекса станций является возможность обеспечения работы в цифровом режиме со скоростями передачи 256, 512, 1024, 1536 или 2048 кбит/с и работы в режимах тропосферного рассеяния и прямой видимости. Станции высокотранспортабельны: изготавливаются в автомобильном и контейнерном вариантах, транспортируются военными автомобилями, тягачами, вертолетами и самолетами.

Комплекс станций предназначен для замены существующих аналоговых тропосферных станций типа AN/TRC-90, -97, -112, -121 и использования в перспективной автоматизированной военной системе связи, а также обеспечения связи в стратегическом, оперативном и тактическом звеньях управления трех родов войск.

В конструкции аппаратуры применены интегральные схемы, твердотельные элементы, модульное построение, автоматическое переключение неисправного модуля на резервный. Специально разработанные клистроны обеспечивают повышенный КПД ( $\approx 48\%$ ), точную и быструю настройку, большое время наработки на отказ (до 5 тыс. ч). В полевых условиях станции разворачиваются в рабочее положение без дополнительных устройств за 1...4 ч в зависимости от варианта станций. Две параболические антенны в пунктах приема и передачи обеспечивают заданный разнесенный прием.

Аппаратура использует новейшие методы цифровой передачи.

Цифровые уплотняющие устройства и система коммутации каналов отвечают требованиям перспективных военных систем связи и управления.

В комплексе станций предусмотрен служебный канал и система автоматического телеконтроля, сигнализации и управления. Характерной особенностью является использование более совершенного дифференциально-адаптивного модема (рис. 3.8), благодаря которому удалось устранить искажения сигнала, возникающего из-за многолучевого распространения в тропосфере. Прежние неадаптивные модемы были подвержены воздействию неустраняемых ошибок, обусловленных межсимвольной интерференцией, возникающей вследствие искажений из-за многолучевого распространения. Использование демодулятора в виде адаптивного согласованного фильтра для оптимального сложения всех компонент искаженного многолучевого сигнала, по оценке специалистов США, дает выигрыш помехоустойчивости примерно на 10...15 дБ при значениях вероятных ошибок менее  $1 \cdot 10^{-5}$ .

На станции применяются устройства четырехфазного дифференциального адаптивного приемника (ДОФМ) (рис. 3.9), содержащего фазовращатели 270 и 90° для разделения сигнала и опорного напряжения на квадратурные составляющие.

На испытаниях в модеме использовался сигнал с четырехфазной модуляцией и полосой менее 15 МГц для скоростей информации 12,6 и 9,4 Мбит/с и 10 МГц для скорости  $\leq 6,3$  Мбит/с.

Проведенные всесторонние испытания адаптивного модема позволили сделать заключение: адаптивный модем для комплекса тропосферных станций в условиях

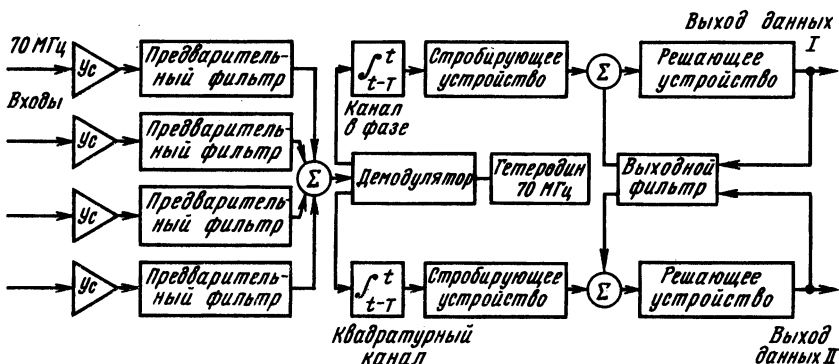


Рис. 3.8. Упрощенная схема модели приемника PPC

четырекратного разнесения, благодаря использованию обратной связи «по решению», в целях компенсации искажения многолучевости принимает высокоскоростную информацию в условиях значительной многолучевости и поддерживает синхронизацию в требуемых пределах изменения уровня принимаемых сигналов даже в период большой многолучевости.

Антенные устройства, смонтированные на треногах высотой 4,5 м, обеспечивают работу в режиме двоянного пространственного разнесения. Предусмотрены двоянные параболические рефлекторы на быстропринимаемом устройстве, составляющем одно целое с транспортным прицепом.

Цифровое групповое уплотнение станций всех модификаций основано на системе с использованием 16/32 кбит/с и обеспечивает работу в синхронном режиме от внешнего опорного синхронизирующего напряжения. При необходимости переход с аналогового сигнала на цифровую форму осуществляется аппаратурой абонента за счет использования аппаратуры группового уплотнения и тропосферного модема,

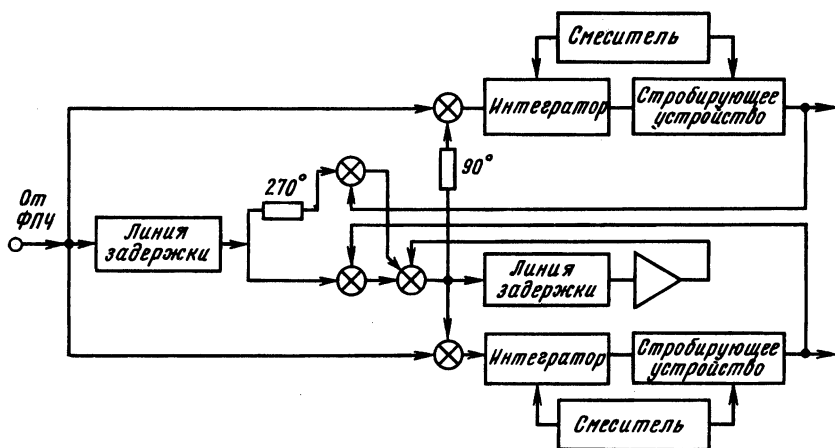


Рис. 3.9. Схема дифференциально-адаптивной системы

что позволяет эффективно согласовывать скорость передачи в радиотракте с требуемыми входными скоростями передачи.

Приемное устройство представляет собой супергетеродин с одним преобразованием частоты и расширенным порогом; частотный диапазон 4,4...5,0 ГГц, долговременная стабильность гетеродина  $5 \cdot 10^{-6}$ ; номинальный коэффициент шума 2,8 дБ; порог ЧМ приемника 108 дБ; промежуточная частота 70 МГц; ослабление побочного излучения 80 дБ; зеркальный канал 75 дБ; полоса по промежуточной частоте 2 МГц; сложение — додетекторное по максимальному отношению сигнал/шум. Кодово-импульсный сигнал принимается антеннами с пространственным разнесом и малошумящим усилением с коэффициентом шума 3 дБ. Чтобы избежать потери цифровых сигналов из-за шумов, система ИКМ содержит схемы регенерации.

Сигнал на основной частоте поступает к уплотняющему устройству (мультиплексору) и к соответствующим телефонным и телеграфным линиям.

Цифровой частотный синтезатор в приемной части станции вырабатывает высокостабильные частоты для преобразования сигнала вниз по частоте и обеспечивает независимый выбор частот для передатчика.

Четырехпроводный служебный канал включает селективный вызов к соответствующему мониторинговому устройству тревоги или удаленному оконечному устройству.

Возбудитель передатчика работает в режиме тропосферного рассеяния и прямой видимости. При этом выход передатчика мощностью 1 Вт может быть присоединен непосредственно к мощному усилителю или к антенне при работе в режиме прямой видимости. Частота синтезатора создается местным генератором, а нежелательная боковая частота, частота местного генератора и гармоники подавляются с помощью настраиваемого полосового фильтра. При этом обеспечивается работа по 24 каналам с частотным разделением и основной полосой 12...108 кГц или 24 каналам ИКМ со скоростью 1152 кбит/с. Предусмотрен вариант отдельного использования передатчика мощностью 1 Вт. Передатчик имеет: диапазон частот 4,4...5,0 ГГц; выходная мощность 1 Вт; модуляцию ЧМ; стабильность частоты  $5 \cdot 10^{-6}$ ; побочное излучение 80 дБ; входной уровень входной частоты 25 дБм 10 дБ; девиацию  $\pm 375$  кГц (пиковое значение).

Антенная система представляет собой два параболических рефлектора с рупорами двойной поляризации, каждая антенна смонтирована на мачте и поддерживается с помощью оттяжек и строек. Станции могут комплектоваться антеннами 2,5, 4,8 или 7,5 м, имеющими следующие технические характеристики: усиление (в среднем) 39 дБ; регулировка по углу места  $+10...-5^\circ$ ; по азимуту  $\pm 45^\circ$ ; высота мачты 3,7 м; масса с транспортной рамой 794 кг для обеих антенн.

Мощный усилитель обеспечивает работу в диапазоне частот 4,4...5,0 ГГц; выходная мощность регулируется от 100 Вт до 1 кВт; ширина полосы по ВЧ 15 МГц; уровень остатка несущей (АМ) 50 дБ; побочное излучение 80 дБ; уровень гармоник 80 дБ. Мощность передатчика 1 кВт обеспечивается четырехрезонаторным клистроном с принудительным воздушным охлаждением. Настройка производится одной ручкой, имеется индивидуальная настройка каждого резонатора.

Побочное излучение и гармоники устраняются узкополосным режекторным фильтром НЧ и полосовым фильтром, который настраивается по минимуму отраженной мощности. Специальный волноводный канал обеспечивает переключение в один из режимов работы «тропосферная связь» или «радиорелейная связь». В схеме мощного усилителя смонтирована аппаратура измерения, сигнализации и блокировки, которая поддерживает заданный режим работы и проверку «на себя».

**Цифровые тропосферные станции военной связи Великобритании.** Станции характеризуются высокой мобильностью, обеспечением работы в цифровом режиме передачи информации, повышенной развед- и помехозащищенностью, малыми габаритными размерами и массой, повышенной надежностью. Этому способствовал переход от вакуумных электронных ламп к твердотельным приборам, внедрение цифровых методов передачи информации, широкая унификация и стандартизация станций и модульное ее построение, применение новых методов обработки сигналов при ДТР.

Английские специалисты считают, что наиболее совершенным комплексом является комплекс подвижных тропосферных станций типа Н7400, Н7450, использующий разные диапазоны частот (см. табл. 3.6). Комплекс предназначен для обеспечения цифровой засекреченной связи в оперативно-тактическом звене управления и в перспективной системе военной связи Ptarmigan. Особенностью комплекса является возможность использования одной антенны вместо двух. Это стало возможным благодаря новейшим технологическим достижениям в области создания элементной базы, оптимальных методов обработки сигналов и новых видов модуляции.

Аппаратура станции смонтирована на двух компактных стойках, устанавливаемых в типовых контейнерах.

Усилитель передатчика собран на клистроне с принудительным воздушным охлаждением, который обеспечивает мощность 1100 Вт при неравномерности уровня выходного сигнала менее 1 дБ. Высокочастотный усилитель приемного устройства, собранный на полевых транзисторах, имеет высокую линейность, температуру шума около 400 К, что позволяет добиваться удовлетворительного качества приема в условиях значительного уровня помех. Применение метода разнесенного по времени приема и детекторного сложения по максимальному соотношению сигнал-шум улучшает сигнал на входе демодулятора и устраняет необходимость иметь антенну больших размеров.

Автоматическое управление уровнями мощности передатчика в зависимости от мощности принимаемого сигнала способствует уменьшению радиопомех в линии, улучшению совместной работы с другими средствами радиосвязи и снижению вероятности радиоперехвата, а многоуровневая фазовая модуляция позволяет увеличивать емкость канала и устранять ухудшение прохождения сигнала, вызываемое тропосферным рассеянием.

Антенная система (высота 2,9 м) имеет складную конструкцию, состоящую из параболического отражателя (диаметр 4,5 м) и двух несущих рам и транспортируется наземным и воздушным транспортом. Без использования специальных креплений антенна может выдерживать напор ветра, имеющего скорость 18 м/с. Усиление антенны 44,3 дБ, ширина излучаемого луча на уровне 3 дБ — 1%.

Комплекс станции имеет специальное оборудование средствами защиты от радиоэлектронного противодействия и воздействия электромагнитных излучений.

**Малоканальная военная подвижная цифровая тропосферная станция ФРГ.** Разработана мобильная тропосферная станция в диапазоне 8 ГГц. Станция обеспечивает передачу информации со скоростью 128...64116 кбит/с. Для увеличения надежности передачи используется двойное угловое разнесение с оптимальным сложением. Исползованная элементная база и конструкция построения станции обеспечивает надежность ее работы в сложной боевой обстановке. Оборудование выполнено в виде модулей, которые размещены в шести стойках и смонтированы в едином контейнере. Параболическая антенна монтируется на крыше контейнера и там же на специальных приспособлениях разворачивается в рабочее положение

и имеет возможность передвигаться в горизонтальном положении вдоль крыши по специальным направляющим. В пунктах ретрансляции устанавливается два комплекта аппаратуры, при этом вторая антенна транспортируется на двухколесном прицепе и в рабочее положение развертывается на его станине.

Антенный луч направляется настолько плоско к земной поверхности, сколько позволяет окружающая поверхность и при плоской поверхности дальность связи на интервале около 170 км, при хороших условиях размещения она увеличивается до 250...300 км.

На линиях связи может использоваться полевой телефон для узкополосной связи или модем для полудуплексной связи (2400/75 Бод) с присоединением внешней двухпроводной линии. В случае подключения четырехпроводной линии обеспечивается дуплексная связь с любым абонентом.

Станция широко применяется в полевых условиях для экстренной организации прямой связи между командными пунктами, а также телефонной, телеграфной связи и передачи данных.

Практически установлено, что для осуществления связи на расстояние до 100 км не требуется выбора специальных площадок и проведения предварительных расчетов.

Основные частоты для передатчика и первых каскадов приемника генерируются синтезатором частоты и получаются путем переключения без перестройки каких-либо фильтров по рубидиевому стандарту частоты. После чего сигналы усиливаются в двух блоках и умножаются для получения выходных частот. Присоединение к антенне осуществляется через фильтры, отделяющие передаваемые сигналы от принимаемых.

Частотные поддиапазоны станции: 1-й—7805...7843 МГц; 2-й—7930...7968 МГц; 3-й—7728,5...7766,5 МГц; 4-й 7891,75...7929,75 МГц; число используемых каналов в диапазоне—158; разнос между каналами 250 кГц, полоса первого телефонного канала—0,3...3,4 кГц; разнос между частотами приема и передачи 125 МГц.

Передатчик имеет выходную мощность 200 Вт, а при работе в режиме прямой видимости 10 Вт; остаточное подавление побочных излучений 60 дБ; нестабильность частоты (за 10 мин)  $10^{-10}$ ; вид модуляции—ЧМ; ширина спектра сигнала 50 кГц; девиация частоты 5 кГц; затухание в линии передачи и фильтре—1,6 дБ, потребление мощности 1,3 кВт, напряжение питания 24 В.

Присемник имеет коэффициент шума 6 дБ; ослабление зеркального канала 70 дБ; первая промежуточная частота 70,5 МГц; вторая 10,5 МГц; регулировка усиления 80 дБ.

Каждый телефонный канал уплотняется 16 телеграфными.

Неохлаждаемый малошумящий параметрический усилитель не требует настройки и работает с коэффициентом шума ниже 3 дБ. Комплекс станций приспособлен для транспортирования любыми транспортными средствами, включая самолеты и вертолеты.

Станция размещается в стандартном контейнере типа S-308, антенна упаковывается на прицепе.

Антенна параболическая, диаметр 1,75 м, электрическая схема Кассегрейна со специальными облучателями для получения двух перекрывающихся диаграмм. Соединение рефлектора обеспечивается двумя коаксиальными кабелями; коэффициент усиления для суммарной диаграммы—40,5 дБ; ширина суммарной диаграммы  $1,5^\circ$ ; ослабление первого бокового лепестка 15 дБ; угол наклона антенны  $-5...+10^\circ$ ; горизонтальное вращение антенны  $360^\circ$ .

Военные тропосферные станции США AN/TRC-170V2 и AN/TRC-170V3 приведены соответственно на рис. 3.10 и 3.11.

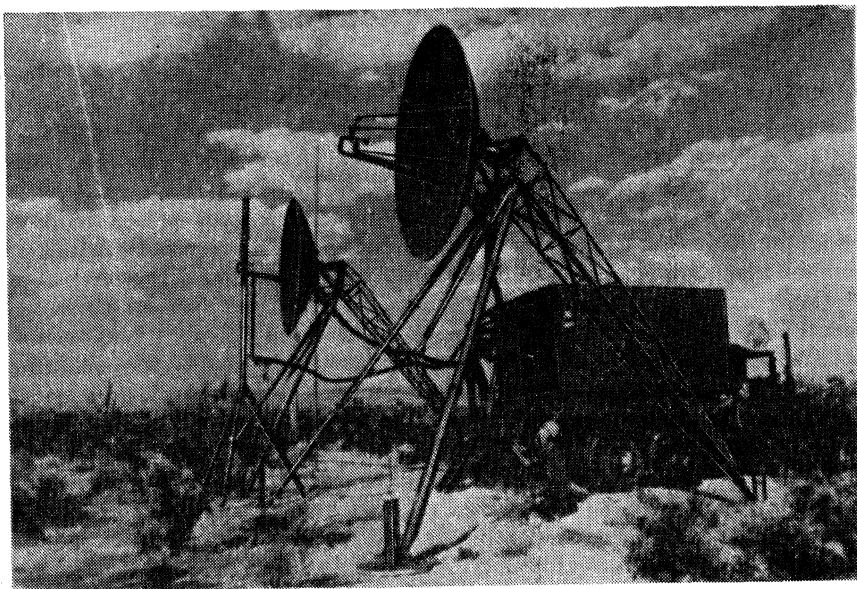


Рис. 3.10. Тропосферная станция AN/TRC-170V2 в рабочем положении

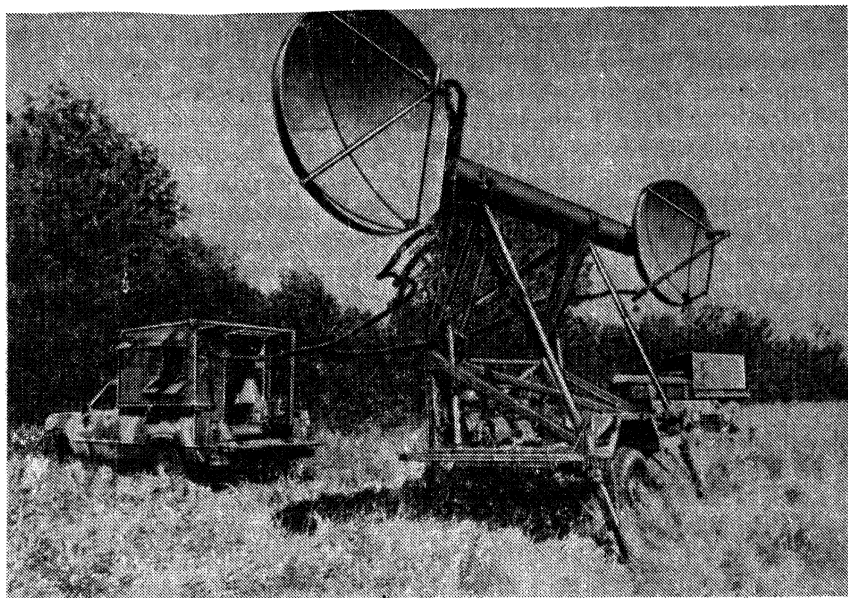


Рис. 3.11. Тропосферная станция AN/TRC-170V3 в рабочем положении

## 4. Спутниковые системы связи

### 4.1. Создание систем спутниковой связи

**Общие положения.** Первый ИСЗ запущен в СССР 4.10.57 г. С этим спутником организована первая в мире линия спутниковой связи. С тех пор связь с использованием ИСЗ прошла путь от первых экспериментальных проектов до широкоразветвленных систем коммерческого и военного назначения, обслуживающих линии и сети связи как между континентами, так и внутри отдельных стран и регионов.

Созданы ведомственные, национальные и международные системы спутниковой связи (ССС). В зависимости от передаваемой информации они могут быть многофункциональными и специализированными. Первые предназначены для одновременного обмена телефонной, телеграфной, телевизионной, радиовещательной и другими видами информации, вторые — для передачи информации одного или двух однородных видов, например телевизионного вещания или телевизионного и радиовещания.

Системы и линии спутниковой связи при их высокой информативности наиболее мобильны и оперативны по сравнению с любыми другими системами и средствами связи. При этом они обладают свойством глобального размаха. Эти основные преимущества СССР в одинаковой степени необходимы и широко используются в коммерческих и военных целях. Основные недостатки СССР: относительно высокая уязвимость спутников от помех, особенно преднамеренных (без принятия специальных мер), и возможность вывода их из строя с развитием противокосмических средств поражения.

Системы спутниковой связи включают в себя три основных комплекса:

земной — земные станции (ЗС) различного назначения и базирования;

космический — спутники связи (космические аппараты — КА);

управления — автоматизированная система управления СССР (АСУ СССР).

Помимо указанных основных составляющих в создании и эксплуатации СССР принимают участие стартовые комплексы, ракетополеты и наземная автоматизированная система управления и контроля спутников на орбите. Эти средства, как правило, не являются принадлежностью конкретной системы, а используются в интересах многих систем различного назначения. Для упорядочения развития систем спутниковой связи и избежания недопустимых помех между ними СССР координируются между заинтересованными странами и регистрируются в Международном союзе электросвязи.

**Многостанционный доступ.** Важнейшей технической характеристикой СССР является способ доступа станций земного комплекса к стволу связи бортового ретранслятора спутника. Поскольку в системе одновременно работает большое число станций, она строится так, чтобы между станциями не создавались взаимные помехи или величина помех не превышала допустимого предела. Осуществляется это способом многостанционного доступа (МД), который обеспечивает возможность обращения (доступа) к стволу спутника-ретранслятора одновременно нескольким земным станциям.

Многостанционный доступ может быть с частотным, временным, кодовым (разделением по форме сигналов) или комбинированным (из указанных способов) разделением сигналов (каналов) земных станций в системе (МДЧР, МДВР и МДКР

соответственно). При частотном разделении за каждой станцией закрепляется своя пара или несколько пар частот (приемных и передающих); при временном разделении каждой станции системы выделяется определенный временной интервал для поочередной передачи сигналов. Суть кодового разделения заключается в том, что кодированные сигналы (например, широкополосные сигналы с разными ключами) от нескольких станций передаются одновременно в одной и той же полосе частот, а приемники станций выделяют только тот сигнал, адрес (ключ) которого совпадает с адресом (ключом), заложенным в станции. Эти способы МД можно назвать *базовыми* способами. Для комбинированного способа характерно применение различных комбинаций базовых вариантов МД. Например, на участке Земля — ИСЗ используется частотное разделение сигналов станций, а на участке ИСЗ — Земля — временное.

Способ МД в системах выбирается из возможности его реализации, конкретных требований, предъявляемых к системе, ее элементам, экономических, эксплуатационных и других факторов.

Эффективность многостанционного доступа характеризуется пропускной способностью ствола ретранслятора спутника, т. е. числом станций, одновременно работающих в стволе, и каналов связи, передаваемых станциями при прочих равных условиях (добротности приемных систем ЗС, излучаемой мощности ретрансляторов).

**Коммутация информации на борту спутника.** С целью более эффективного использования излучаемой мощности ретранслятора, многократного использования полос частот, уменьшения эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ) ЗС и защиты от помех на спутниках устанавливаются приемные и передающие многолучевые антенны (МЛА). Использование МЛА при всех положительных аспектах их применения создает определенные трудности в распределении потоков информации между ЗС, находящимися в зонах обслуживания разных лучей. В этих случаях информационные потоки для оптимизации построения ССС должны распределяться на борту спутника по лучам МЛА так, чтобы информация передавалась на зону обслуживания данным лучом только в интересах ЗС, находящихся в этой зоне. Необходимость коммутации и распределения потоков информации на борту спутника между различными зонами связи при использовании МЛА не является единственной причиной ввода коммутации. Другой, не менее важной предпосылкой коммутации на борту (КБ) является использование в ССС на одном КА стволов разных диапазонов частот. В системе связи станции разных диапазонов, как правило, должны иметь связь между собой. Эту задачу можно решить путем создания ЗС с несколькими диапазонами на прием и передачу или только на прием, а передачу только в одном диапазоне. В этом случае станции становятся достаточно сложными.

В системах спутниковой связи с коммутацией потоков информации на борту могут использоваться все базовые способы МД. Наиболее предпочтителен МДВР. Спутник с коммутацией информации на борту принято называть «спутник с КБ», многостанционный доступ с коммутацией по борту — МД-КБ, многостанционный доступ с временным разделением сигналов (каналов) и коммутацией на борту — МДВР-КБ. Коммутация может осуществляться по СВЧ, ПЧ и видеочастоте, обеспечивая взаимосвязь ЗС одной зоны обслуживания спутником (или лучом МЛА спутника) с ЗС другой зоны. Коммутация может обеспечиваться на фиксированные или сканирующие лучи. На рис. 4.1 приведена упрощенная функциональная схема системы МДВР-КБ.

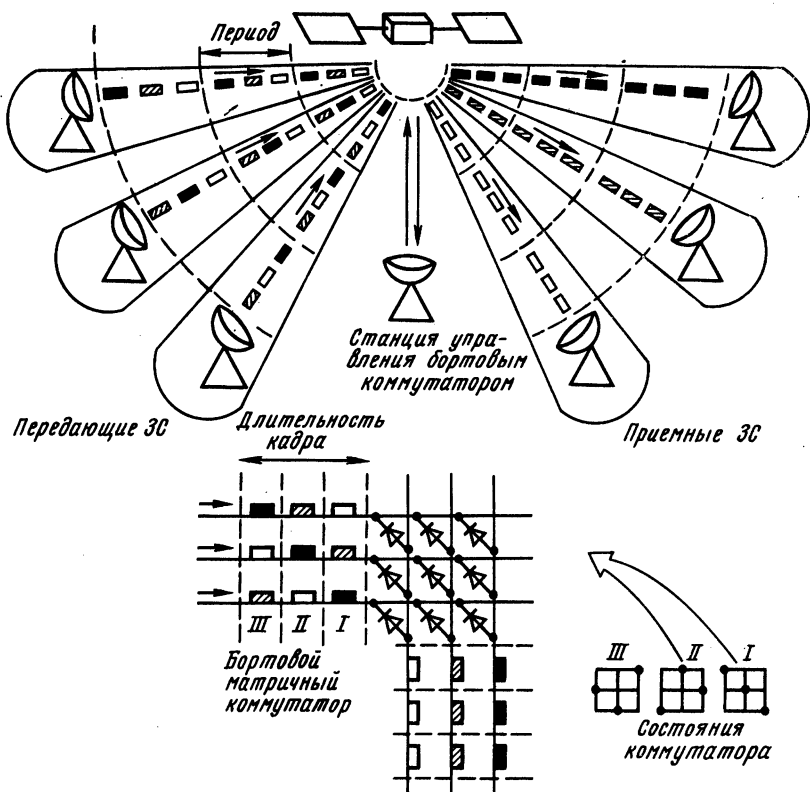


Рис. 4.1. Схема системы МДВР с коммутацией на борту

Передающие ЗС трех зон передают в каждом кадре информацию на три ЗС других зон. Бортовой коммутатор подключает информацию от передающих ЗС для каждой приемной ЗС только для нее предназначенные пакеты информации, направляя другие пакеты в лучи МЛА для других ЗС. Бортовой коммутатор и ЗС работают синхронно.

**Земной комплекс.** Земные станции современных ССС могут иметь существенно различные характеристики. В зависимости от размеров антенн ЗС во многих ССС разделены на стандарты. Так, в системе Intelsat существует до 13 стандартов.

Стационарные станции используются в фиксированной, а мобильные — в подвижной спутниковой службах. В свою очередь, земные станции разделяются на приемопередающие и приемные. Приемные ЗС используются, как правило, в системах спутникового телевизионного вещания (абонентские), радиовещания, приема специальных сигналов. Передающие станции (ЗС без приемников) в основном абонентские, используются, например, в спутниковой службе спасения.

Все ЗС характеризуются двумя основными параметрами: добротностью на прием  $G/T$ , дБ/К, и эквивалентной изотропно-излучаемой мощностью (ЭИИМ), дБВт. Добротность станций может быть в пределах от  $-(20 \dots 30)$  дБ/К до  $+(30 \dots 40)$  дБ/К, а ЭИИМ от  $10 \dots 40$  до 120 дБВт.

В настоящее время СССР используются или осваиваются диапазоны частот: ДЦВ, СМВ, ММВ (Регламент радиосвязи). Идет интенсивное изучение применения лазерных линий связи, особенно в интересах связи с объектами, находящимися под водой, и связи между спутниками.

Земные станции СССР одного назначения строятся, как правило, по единому принципу, отличаясь особенностями МД, принятого в системе с различным разделением сигналов (каналов).

*Земные станции в СССР с частотным разделением сигналов.* Функциональная схема возможного варианта земной станции и СССР с ЧРК приведена на рис. 4.2.

Характерной особенностью таких ЗС является наличие в станциях отдельных приемных трактов (УПЧ<sub>1</sub>, ..., УПЧ<sub>п</sub>) по числу принимаемых через спутник сигналов от станций корреспондентов. Обычно число приемных трактов на 1—2 больше числа корреспондентов. Эти тракты используются для резервирования основных трактов приема.

Если станция работает одновременно с несколькими корреспондентами, то каналы на передачу, как правило, объединяются в общий групповой сигнал и передаются на одной несущей. Станции-корреспонденты принимают групповой сигнал и в аппаратуре уплотнения (частотного или временного), выделяют предназначенные для них каналы.

Тракт приема ЗС должен иметь высокую линейность с учетом пик-фактора сигнала, возникающего за счет одновременного прохождения  $n$  сигналов по этому тракту. В противном случае в тракте могут возникать комбинационные составляющие принимаемых сигналов третьего ( $2f_1 - f_2$ ) и более высоких порядков, которые являются помехами для сигналов корреспондентов.

Известно, что с вероятностью 0,999 пиковый уровень  $n$  сигналов превышает его средний уровень на величину не более чем 10...11 дБ. Этот факт учитывается при разработке ЗС в СССР с частотным разделением сигналов.

*Земные станции в СССР с временным разделением сигналов.* При МД с ВРК каждой ЗС выделяется временной интервал определенной длительности, который периодически повторяется. Работа ЗС должна быть синхронизирована, чтобы сигналы станций приходили на вход ретранслятора спутника в отведенное время и не накладывались друг на друга. Каждая ЗС в период от окончания излучения до очередного излучения накапливает информацию, затем «пачкой» излучает ее. В «пачку упакованы» необходимые служебные сигналы: синхронизации, адресования, начала и конца передачи информации. На приеме, после выделения необходимых служебных команд, информация записывается в запоминающее устройство и считывается в линию по назначению.

Функциональная схема земной станции в системе с ВРК приведена на рис. 4.3. Особенностью построения ЗС в системе с ВРК является наличие трех ступеней синхронизации: первой — введение в синхронизм передающих устройств станции с другими станциями системы (синхронизатор-1); второй — взаимная синхронизация по информации и кадрам приемопередающих станций и блока коммутации модуляторов; третьей — синхронизация приемных устройств станций (синхронизатор-2).

*Земные станции в СССР с разделением сигналов по форме.* В СССР, где МД обеспечивается путем разделения сигналов по форме, ЗС станции практически строятся по принципу станций, используемых в системах спутниковой связи с частотным разделением сигналов (см. рис. 4.2). Отличие состоит в том, что в приемном тракте

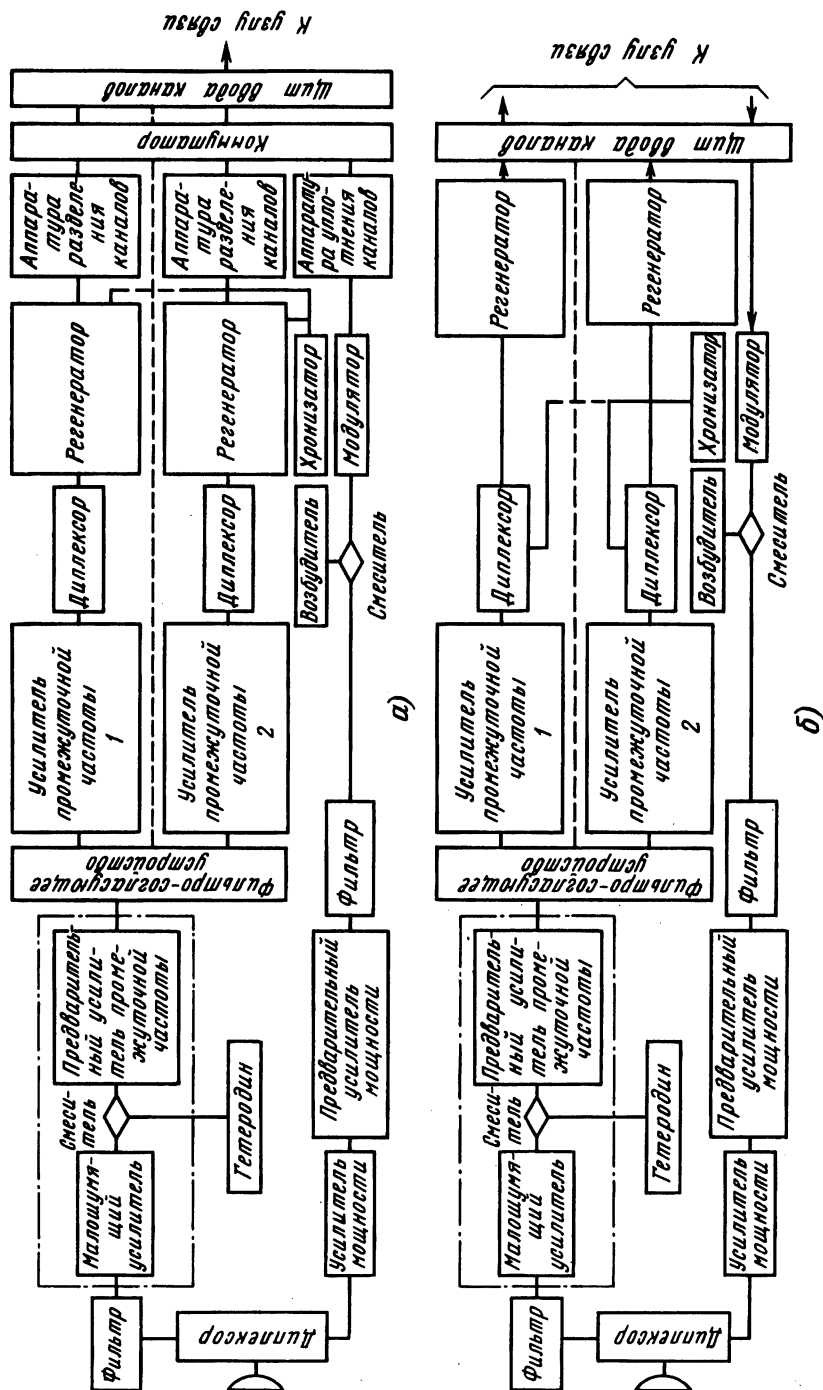


Рис. 4.2. Функциональные схемы ЗС с ЧРК при уплотнении (разуплотнении) информационных каналов:  
а) на станции; б) на узле связи

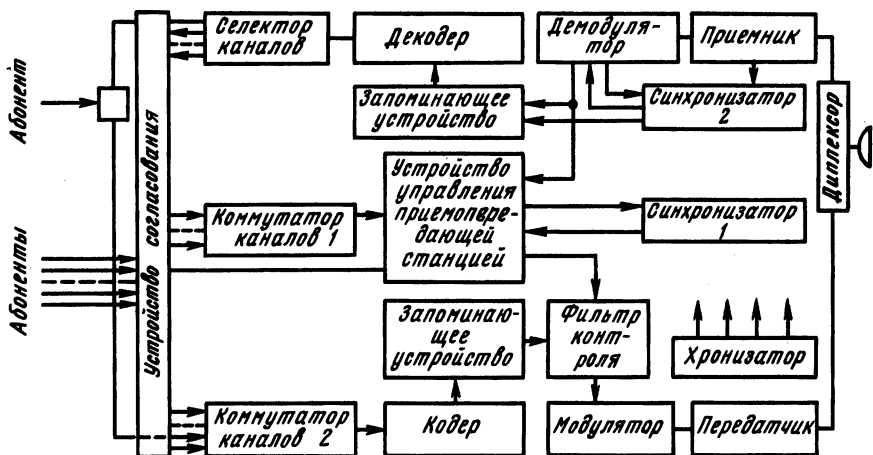


Рис. 4.3. Функциональная схема ЗС в системе с ВРК

вместо фильтросогласующего устройства (ФСУ) усилителей промежуточной частоты (УПЧ-и) и демодуляторов включены согласующее устройство и аппаратура (устройства) широкополосных сигналов (АШПС). Число аппаратуры ШПС определяется числом одновременно принимаемых станций сети.

Передающая часть аппаратуры ШПС может быть многоканальной или одноканальной. Для работы с несколькими станциями сети при многоканальной аппаратуре ШПС станции — абоненты, приняв групповой сигнал, выделяют только те каналы, которые предназначены для данного абонента. В ряде случаев, например, когда аппаратура ШПС имеет только один канал, а необходимо обеспечить одновременную связь с несколькими абонентами, включают параллельно несколько передающих аппаратов ШПС на согласованную нагрузку. Выходная мощность передатчика станции в этом случае на один широкополосный сигнал уменьшается пропорционально числу ШПС (при равных их величинах). Часть мощности ( $\sim 2$  дБ) расходуется на излучение комбинационных частот, образующихся в тракте передачи на нелинейных элементах.

Характерной особенностью всех ЗС в СССР является то, что их антенны, имеющие узкие диаграммы направленности, должны обеспечивать поиск ИСЗ и слежение за их перемещением на орбитах, а также при необходимости «перенацеливание» этих антенн с одного спутника на другой. Поиск и слежение могут обеспечиваться по программе от ЭВМ станции, автоматически по сигналу, принимаемому от спутника, или вручную. Обычно используют первые два способа раздельно или комбинированно. Слежение за спутником вручную является аварийным или вспомогательным способом.

При слабонаправленных антеннах при перемещении спутников, не приводящих к «выпадению» за пределы диаграммы направленности антенны, ЗС могут не иметь систем поиска и слежения за спутником.

**Космический комплекс.** Для СССР под космическим комплексом понимается группировка спутников связи, находящихся на орбитах, присущих данной системе связи. Число спутников в системе определяется орбитами, выбранными в системе, ее

задачами, назначением и может достигать от одного до нескольких десятков КА. В настоящее время в СССР преимущественно используется геостационарная орбита (ГСО). Для обеспечения одновременной связи в северных районах и в большей части северного полушария используется эллиптическая орбита с апогеем в северном полушарии (~40 тыс. км), перигеем в южном полушарии (~400...600 км) и наклонением плоскости орбиты  $63,4^\circ$  (орбита советского спутника связи «Молния»).

В зависимости от решаемых задач используются и другие типы орбит, например круговые, наклонные. Последние могут быть синхронными и несинхронными, высокими (более 40 тыс. км) и низкими (500...10 <sup>тыс.</sup> км). Для обеспечения связности ЗС между собой при их работе через разные КА применяется межспутниковая ретрансляция сигналов или ретрансляция сигналов через ЗС, находящиеся одновременно в зоне видимости этих спутников.

На КА СССР размещаются космические станции, характеризующиеся параметрами бортового ретранслятора, бортовых антенн, системы электропитания и бортовых комплексов управления. В состав бортового ретранслятора (РТР) входит от единиц до нескольких десятков стволов различных диапазонов частот, принятых для данной СССР. Космические станции характеризуются теми же параметрами, что и ЗС,—добротностью и ЭМИИ. Число антенн, определяющееся числом используемых диапазонов частот и зон обслуживания, обычно больше, чем у ЗС. На космических станциях СССР применяют, как правило, отдельные приемные и передающие антенны, что позволяет уменьшать потери сигналов в антенно-фидерных трактах и увеличивать развязку между ними.

Простейшим РТР спутника связи, одинаково пригодным для СССР с частотным, временным или кодовым разделением сигналов, является ретранслятор с прямой ретрансляцией без обработки сигналов.

Современные многоствольные ретрансляторы являются сложными многофункциональными устройствами, обеспечивающими одновременную работу более 24 стволов по нескольким лучам бортовых антенн. На рис. 4.4 приведена функциональная схема ретранслятора К-диапазона (14/12 ГГц) спутника системы Satcom.

Перестраиваемые делители мощности на выходе ЛБВ соединены с двумя контактами мультиплексоров, обеспечивающими подключение по команде с Земли любого из стволов к антенным входам.

В ретрансляторах с обработкой сигналов на борту широкополосные сигналы после усиления свертываются, демодулируются, регенерируются, при необходимости коммутируются в разные стволы. В стволах сигналы, как правило, уплотняются в единый многоканальный поток, цифровой или аналоговый, и передаются через соответствующий луч антенны на заданную зону обслуживания. Земные станции из общего группового потока выделяют только каналы, предназначенные для данной станции.

В качестве источников питания аппаратурных комплексов КА обычно служат солнечные батареи в буфере с аккумуляторами. В перспективе возможно использование ядерных источников.

Состояние бортовой аппаратуры анализируется бортовым комплексом управления и по телеметрической линии передается в наземный центр управления спутниками. Комплекс управления по результатам анализа выдает необходимые команды по командной радиолинии на спутник.

**Комплекс управления.** Комплекс управления, или автоматизированная система управления СССР (АСУ СССР), является важнейшим элементом современной разветв-

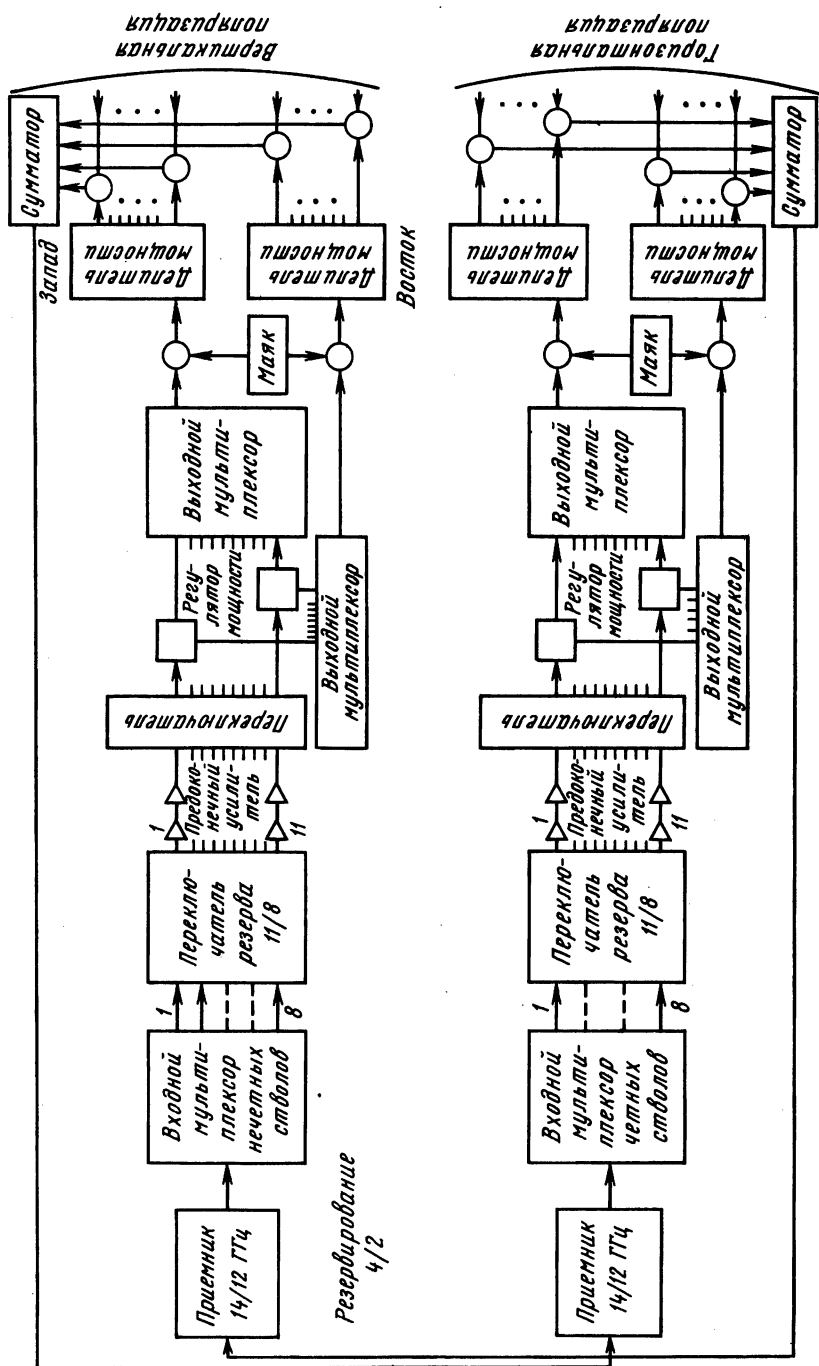


Рис. 4.4. Ретранслятор К-диапазона системы Satcom

ленной СССР. Как правило, АСУ СССР включает в себя: центры управления, автоматизированные подсистемы центральных и абонентских станций, каналы управления системой, математическое обеспечение работы средств автоматизации и обмена информацией управления как между элементами системы, так и внутри этих элементов.

Основной режим управления — автоматизированный (при необходимости введение команд может осуществляться оператором).

В системе существует несколько разнесенных центров управления, например основной и резервный. Полный объем информации, необходимый для управления системой, параллельно существует на всех центрах системы. При нарушении управления всей или частью системы с основного центра резервный центр берет управление системой или частью ее элементов на себя.

На центрах управления осуществляется планирование сетей и направлений связи в системе с учетом требуемых зон обслуживания, трафика, состояния спутников и других факторов.

Необходимые данные по спутниковой связи на элементы системы передаются по каналам управления.

Технологическое управление в системе центры осуществляют на основе данных, полученных от земных станций и спутников. С помощью телеметрии, передаваемой со спутников, центры контролируют их состояние. По командной радиолинии осуществляется управление спутниками и их элементами. От земных станций по каналам управления в центры поступает обобщенная информация о состоянии станций, их каналов связи, необходимые запросы по ведению и организации связи и другая информация. Центры формируют требуемую информацию управления и передают ее на станции.

Автоматизированная подсистема земных станций управляет режимами работы станций, осуществляет управление антенной и наведением ее на спутник, контролирует состояние приборов станции и качество каналов связи (принимаемой информации), обеспечивает прием и передачу управляющей информации.

Для управления трафиком в системе на земных станциях хранится несколько возможных вариантов схем организации связи, которые используются в зависимости от конкретной ситуации, сложившейся в системе на тот или иной период ее функционирования.

Таким образом, комплекс управления систем спутниковой связи (АСУ СССР), являясь их составной частью, представляет собой важнейший элемент, без которого практически невозможна их работа.

## **4.2. Международные коммерческие системы спутниковой связи**

### **Международная система спутниковой связи Intelsat**

Международная организация Intelsat включает в себя 112 стран, эксплуатирующих глобальную систему коммерческой спутниковой связи. В основном система Intelsat предназначена для международной связи, но более 26 стран используют ее и для внутренней связи. Система Intelsat была создана в 1964 г. В 1986 г. 15 спутников связи, находящихся на геостационарных орбитах над Атлантическим, Индийским и Тихим океанами, и более 680 наземных станций обеспечивали связь между 165 странами.

Две трети всех международных телефонных услуг и большая часть международных телевизионных передач обеспечиваются спутниками Intelsat.

**Службы системы.** *Международная телефонная служба.* Одна из первых служб, осуществляемая организацией со дня запуска первого спутника Intelsat в 1965 г. Она включает телефонную связь, передачу данных, Телекс и факсимильную связь. Емкость спутника увеличилась от 240 телефонных каналов (первый спутник) до 120 тыс. (спутник Intelsat VI).

*Международная телевизионная служба.* Большинство международных телевизионных передач осуществляются через систему Intelsat.

*Внутренняя служба связи.* Начиная с 1985 г. Intelsat, планируя службу национальной связи, представляет странам в долгосрочную аренду стволы спутников Intelsat для удовлетворения потребностей этих стран во внутренней связи. Данная служба организована на приоритетной основе, и ею пользуются 26 стран мира.

*Служба Vista.* Служба Vista также обеспечивает внутреннюю национальную и международную связь для сельских и отдаленных районов. Эта связь наиболее эффективна при потребностях в низких нагрузках и обеспечивается на поканальной основе и приоритетного и неприоритетного занятия свободных линий. Она является довольно дешевой и дает возможность более эффективно использовать систему Intelsat.

*Коммерческая служба IBS.* Служба IBS создана в 1983 г. для обеспечения деятельности деловых кругов и осуществляет все виды цифровой связи, включая телефонную связь, высокоскоростную и низкоскоростную передачу данных, коммутацию пакетов, видеоконференц-связь, передачу почтовой корреспонденции и Телекс. В настоящее время более 35 фирм США пользуются ее услугами. Начальные скорости передачи были от 64 кбит/с до 8,4 Мбит/с. С 1985 г. скорости передачи информации возросли с 9 до 13,9 Мбит/с, а с 1986 г. система работает в режиме цифровой связи с интеграцией служб.

**Космический сегмент.** Космический сегмент системы Intelsat представляет собой сеть из 15 спутников, находящихся на геостационарной орбите в районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов.

Система Intelsat имеет телеметрические, командные станции, станции сопровождения и управления в восьми районах земного шара. Эти станции предназначены для корректировки орбит спутников, проверки и контроля работы систем. Информация, полученная станциями, передается в оперативный центр Intelsat и Центр управления космическими объектами (рис. 4.5) в Вашингтоне. В оперативный центр поступают заявки на услуги.

**Исполнительный штаб.** Постоянная деятельность Intelsat направляется исполнительным органом (штабом), состоящим из 650 представителей 60 стран. Штаб составляют высококвалифицированные специалисты в области техники, финансов, закупок, внешних сношений, законодательной области, обучения и т. д. Штаб-квартира исполнительного органа находится в Вашингтоне и имеет отделения в штате Калифорния и в Великобритании. Штаб Intelsat возглавляет Генеральный директор, который подчинен Правлению Intelsat и несет ответственность за эффективную работу системы.

Основные параметры ЗС системы Intelsat приведены в табл. 4.1.

**Метод работы системы.** Для передачи информации в системе используются методы МД на основе частотного и временного разделения сигналов, осуществляются передача на одной боковой полосе (ОБП) и обработка сигналов на борту.

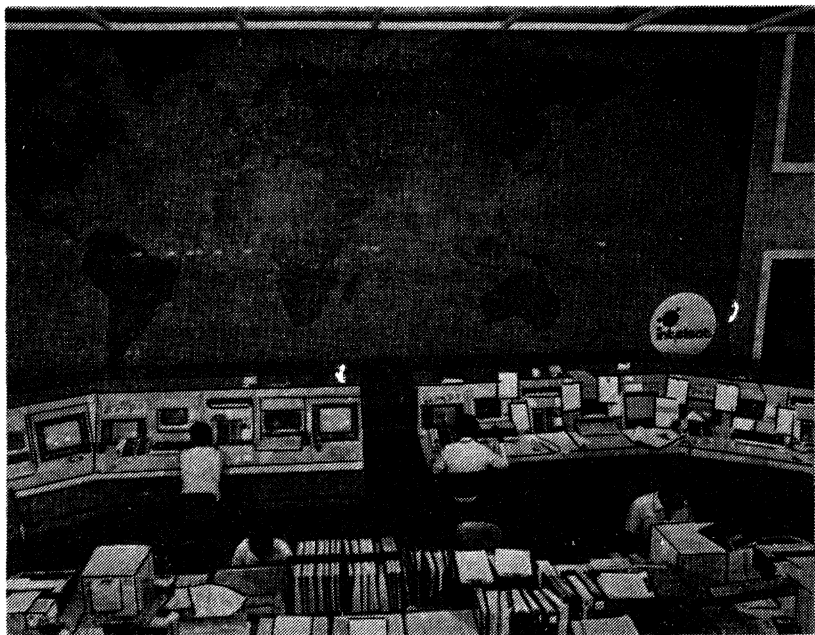


Рис. 4.5. Общий вид центра управления системой в Вашингтоне

Для линий связи с небольшим объемом трафика внедрен метод передачи на одной несущей частоте одного телефонного канала (ОКН) с применением двойной фазовой манипуляции несущей (ДФМ) в режиме либо закрепления радиочастотных каналов, либо предоставления каналов по требованию.

Для больших объемов трафика планируется использование режима МД с временным разделением сигналов станций с цифровой интерполяцией речи (МДВР/ЦИР). При этом в 3—4 раза увеличилась пропускная способность ствола по сравнению с МД с частотным разделением сигналов и частотной модуляцией (ЧР/ЧМ/ДЧР).

На ИСЗ Intelsat VI дополнительно используется МД с временным разделением сигналов с коммутацией на борту.

Внедрены новые экономичные методы модуляции, позволяющие увеличивать пропускную способность стволов. К их числу относится компандирование, например системы с компандированным частотным разделением и частотной модуляцией (КЧР/ЧМ) для передачи трафика больших и средних объемов и компандированной частотной модуляцией на один канал на несущую (КЧМ/ОКН) для трафиков с небольшим объемом.

Предполагается передавать информацию в цифровом виде со скоростью 64, 32, а затем и 16 кбит/с.

На рис. 4.6 приведена одна из станций системы Intelsat.

**Спутники системы Intelsat.** Основные типы спутников и их параметры системы Intelsat приведены в табл. 4.2—4.4.

Назначение и размещение спутников системы Intelsat на 1986 г. приведено в табл. 4.5.

## Основные параметры ЗС Intelsat

Стандарт	Диаметр антенны, м	Диапазон частот, ГГц	Добротность $\left(\frac{G}{T}\right)$ , дБ/К	ЭИИМ, дБВт	Назначение
1	2	3	4	5	6
A	30(18)	6...4	40,7...35	74...95	Международная связь
B	11	6...4	31,7	63...85	Связь в районах с малым и средним трафиком
C	14...19	14...11	37...39	75...92	Международная связь
D1	4,5...5	6...4	22,7	—	Коммерческая связь сети Vista
D2	11	6...4	31,7	52,7...56,6	То же
E1	3,5	14...11—	25	—	Связь деловых кругов
E2	5,5	14...12—	29	49...86	То же
E3	7,7	14...12—	34	—	Связь деловых кругов
F1	4,5...5	6...4	22,7	—	То же
F2	7...8	6...4	27	46...76	—"
F3	9...10	6...4	29	—	—"
G	До 0,8	—	—	—	Дополнительные услуги связи
Z	4,5...15	6...4—	22,7...35	—	Национальные сети связи
		14...11			

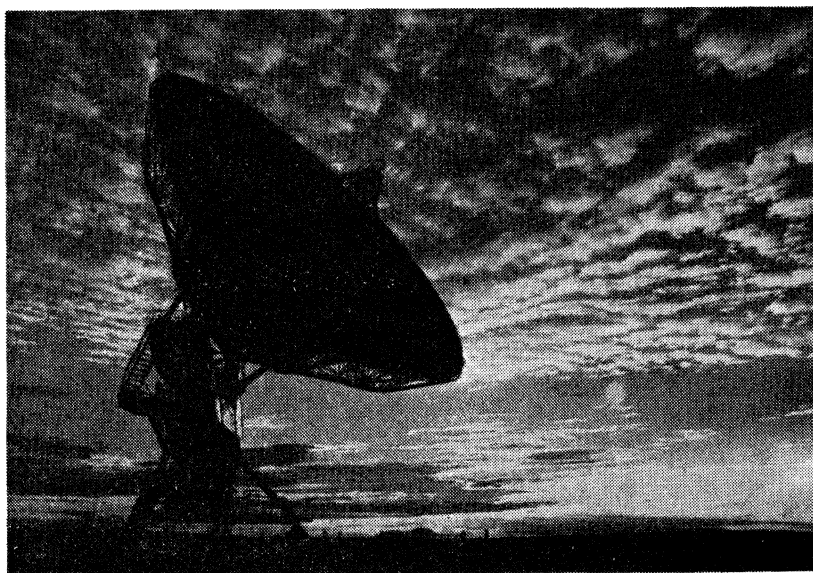


Рис. 4.6. Земная станция системы Intelsat V

**Параметры спутников связи системы Intelsat**

Параметры	Тип спутника								
	I	II	III	IV	IV-A	V	V-A	VI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Год запуска	1965	1967	1968	1971	1975	1980	1985	1989	
Число спутников в системе	1	3	6	8	8	7	4	3,6	
Диаметр спутника, м	0,72	1,42	1,42	2,4	2,4	2,0	2,0	6,4 (11,8 на орбите)	
Высота спутника, м	0,6	0,7	1,04	5,3	6,8	6,4	6,4	600	
Масса ретранслятора, кг	13	36	56	185	190	235	260	2300	
Масса спутника на орбите, кг	38	86	152	731	790	1020	1500	Ариан 4 или Шаттл 2200	
Ракетопоситель	Тор	Тор	Тор	Атлас	Атлас	Атлас	Атлас	Ариан 1, 2	
Мощность СЭП, Вт	Дельта 46	Дельта 100	Дельта 120	Центавр 569	Центавр 708	Ариан 1, 2 1270	1270	2300	
Суммарная излучаемая мощность, Вт	8,6	12	24	72	110	218	—	—	
Время активного существования, лет	1,5	3	5	7	7	7	7	10...14	
Диапазон частот, ГГц	6/4	6/4	6/4	6/4	6/4	6/4; 14/11; 14/12	6/4; 14/11; 14/12	6/4; 14/11	
Полоса частот, МГц	50	130	300	500	800	2137	2252	3260	
Число ствол	2	1	2	12	20	27	32	48	
Число ТФ каналов (дупл)	240	240	1500	4000	6000	12 000	16 000	40 000...60 000	
Число ТВ каналов	—	—	—	2	2	2	2	3	
Мощность передатчика	4,3	12	12	6	5	4,5; 8,5; 10	4,5; 8,5; 10	23,5; 31; 41,1; 44,4	
ЭИИМ ствола, дБВт	11,5	16,5	23	22,5; 34,5	22; 26; 29	23,5; 29; 41,1; 44,4	23,5; 29; 41,1; 44,4	23,5; 31; 41,1; 44,4	
Добротность приемной системы, дБ/К	—	—	—	—18,6	—18; —11,6	—18,6; —11,6; —8,6; 0; +3,3	—18,6; —11,6; —8,6; 0; +3,3	—14; —9,2; —7; —2; +1; +5	
Коэффициент усиления бортовой антенны, дБ	6	10	17	—	—	—	—	—	

Таблица 4.3.

## Энергетические характеристики спутников Intelsat V, VA

Тип бортовой антенны	Диапазон частот, Гц	Добротность приемной системы, дБ/К	Минимальный ЭИИМ, дБВт	Поляризации	
				Земля — спутник	Спутник — Земля
Полусфера восточного полушария	6 ... 4	-11,6 (-9,0) *	29,0	Левая круговая	Правая круговая
Полусфера западного полушария	6 ... 4	-11,6 (-9,0)	29,0	Левая круговая	Правая круговая
Луч восточной зоны	6 ... 4	-8,6 (-6,0)	29,0	Правая круговая	Левая круговая
Луч западной зоны	6 ... 4	-8,6 (-6,0)	29,0	То же	То же
Глобальная зона А	6 ... 4	-18,5 (-16,0)	23,5	Левая круговая	Правая круговая
Глобальная зона В **	6 ... 4	(-16,0)	23,5	Правая круговая	Левая круговая
Восточный луч (остронаправленная антенна)	14 ... 11 (14 ... 12)	0 (0) (0)	41,1 (41,1 ... 38,5)	Линейная	Линейная
Западный луч (остронаправленная антенна)	14 ... 11 (14 ... 12)	+3,3	44,4 (41,1 ... 40,5)	То же	То же
				«	«

\* В скобках указаны величины для спутников Intelsat F5—F9 и Intelsat VA;

\*\* На спутнике Intelsat VA имеется два ствола с глобальными зонами обслуживания А и В.

Таблица 4.4.

## Ожидаемые энергетические характеристики спутника Intelsat VI

Тип бортовой антенны	Диапазон частот, Гц	Добротность приемной системы, дБ/К	Минимальный ЭИИМ, дБВт	Поляризации	
				Земля — спутник	Спутник — Земля
Полусфера восточного полушария	6 ... 4	-9,2	31,0	Левая круговая	Правая круговая
Полусфера западного полушария	6 ... 4	-9,2	31,0	То же	То же
Луч зоны 1	6 ... 4	-2,0	31,0	Правая круговая	Левая круговая
Луч зоны 2	6 ... 4	-7,0	31,0	То же	То же
Луч зоны 3	6 ... 4	-2,0	31,0	«	«
Луч зоны 4	6 ... 4	-7,0	31,0	«	«
Глобальная зона А	6 ... 4	-14,0	23,5	Левая круговая	Правая круговая
Глобальная зона В	6 ... 4	-14,0	23,5	Правая круговая	Левая круговая
Восточный луч (остронаправленная антенна)	14 ... 11	+1,0	41,1	Линейная	Линейная
Западный луч (остронаправленная антенна)	14 ... 11	+5,0	44,4	То же	То же

## Размещение спутников

Спутник	Назначение	Размещение на орбите, град. В. Д
<i>Район Атлантического океана</i>		
Intelsat V (F3)	Коммерческая и национальная связь	307
Intelsat IV (F1)	Национальная связь	310
Intelsat V (F4)	Международная и национальная связь	325,5
Intelsat VA (F1)	Международная и национальная связь	332,5
Intelsat VA (F10)	Международная связь	335,5
Intelsat IVA (F4)	Национальная связь	338,5
Intelsat V (F6)	Международная и морская связь	341,5
Intelsat V (F2)	Международная и национальная связь	359
<i>Район Индийского океана</i>		
Intelsat VA (F12)	Международная связь	60
Intelsat V (F5)	Международная, национальная и морская связь	63
Intelsat V (F7)	Национальная связь	66
<i>Район Тихого океана</i>		
Intelsat IVA (F6)	Резервный, для связи в непредвиденных обстоятельствах	170,5
Intelsat V (F1)	Международная связь	174
Intelsat IVA (F)	Национальная связь	177
Intelsat V (F-8)	Международная и морская связь	180

Начиная со спутника Intelsat IVA, началось повторное использование диапазона частот 4/6 ГГц за счет пространственной селекции. В спутнике Intelsat V организуется четырехкратное использование диапазона 4/6 ГГц за счет пространственной и поляризационной селекции сформированных лучей бортовых антенн. Кроме того, на спутнике Intelsat V внедрено двукратное использование диапазона 11/14 ГГц за счет пространственной селекции.

На спутнике следующего поколения Intelsat VI обеспечивается шестикратное использование диапазона 4/6 ГГц и четырехкратное использование диапазона 11/14 ГГц. Развязка между лучами антенн на спутнике (полусферическими и зональными) составит не менее 30 дБ. Солнечные батареи спутника обеспечат генерацию мощности не менее 2 кВт за время активного существования спутника. Будет использовано также два никель-водородных аккумулятора емкостью 44 А/ч. Спутник состоит из 10 независимых ретрансляторов по одному на каждый луч бортовой антенны связи. Эти ретрансляторы обеспечат работу не менее 48 стволов. Применен многостанционный доступ с временным разделением и коммутацией на борту (МДВР/КБ). С помощью коммутации на спутнике соединяются шесть приемных и передающих лучей, так что обслуживаемые одним лучом ЗС смогут одновременно устанавливать связь через оборудование МДВР/КБ с ЗС во всех шести лучах. В запоминающем устройстве ретранслятора сможет храниться до 64 состояний коммутации.

В спутниках Intelsat VII, VIII предполагается использовать дополнительно диапазон 30/20 ГГц, обрабатывать сигналы на борту, увеличивать пропускную способность.

Антенны диапазона 11/14 ГГц предназначены для обслуживания районов с высоким трафиком и их диаграммы направленности управляются с Земли. Антенны обеспечивают практически постоянную ширину луча на частотах 10,95...11,7 ГГц на линии спутник—Земля и на частотах 14...14,5 ГГц на линии Земля—спутник. На передачу и прием используется линейная поляризация со сдвигом на  $90^\circ$ . Каждая антенна состоит из отражателя диаметром 1 м с асимметричным питанием, облучаемого коническим рифленным рупорным облучателем. Отражатель устанавливается на опорной конструкции через двухосевой подвес для поворота отражателя в двух ортогональных плоскостях. Два линейных привода поворачивают отражатель и, таким образом, сканируют лучом, не двигая облучатель.

Антенна западного направления создает луч  $1,6^\circ$ .

Антенна восточного направления является фасонированной в горизонтальной плоскости и образует диаграмму направленности  $1,8 \times 3,2^\circ$ . Антенны глобального охвата диапазона 4/6 ГГц представляют собой конические рупоры с круговой поляризацией.

Малошумящие входные усилители собраны на транзисторах в диапазоне 4/6 ГГц и на туннельных усилителях в диапазоне 11/14 ГГц. В качестве усилителей мощности передатчиков используются ЛБВ. Усилители диапазона 4 ГГц практически идентичны усилителям спутников Intelsat IV и IVA. Лампа бегущей волны диапазона 11 ГГц имеет ряд особенностей, обеспечивающих длительный срок службы (низкое напряжение на электродах, низкая температура нагрева катода, имеется стабилизатор катодного тока и др.).

На рис. 4.7 приведена упрощенная схема ретранслятора Intelsat V, а на рис. 4.8—4.12 — планы, частот стволы ретрансляторов соответственно Intelsat VA (TB), Intelsat VI, Intelsat VA, Intelsat V (MCS), Intelsat V.

На рис. 4.13 приведена полетная последовательность ракеты—носителя «Атлас Центавр» при выводе на орбиту спутника.

На рис. 4.14 показан общий вид спутников Intelsat IV, IVA, VA, VI, а на рис. 4.15 — фрагмент системы связи через спутник Intelsat VI.

## Международная система спутниковой системы связи Inmarsat

Глобальная система спутниковой связи Inmarsat предназначена для обеспечения морской и авиационной связи стран мирового сообщества. Организация Inmarsat создана в 1979 г. В настоящее время участниками системы являются более 40 стран. Система создается в два этапа. На первом этапе она не имела своих спутников и арендовала их (соответствующие стволы) в системах Intelsat MCS, Marisat и Marecs. Фрагмент системы Inmarsat показан на рис. 4.16. На втором этапе в системе планируется иметь свои спутники и комплекс земных станций слежения, телеметрии и управления.

В системе используются диапазоны частот 6/4 ГГц (береговые земные станции) и 1,6/1,5 ГГц (судовые и самолетные станции). Общий вид спутника Marisat показан на рис. 4.17. Спутники Marecs и Intelsat MCS должны постепенно заменить спутниками Marisat.

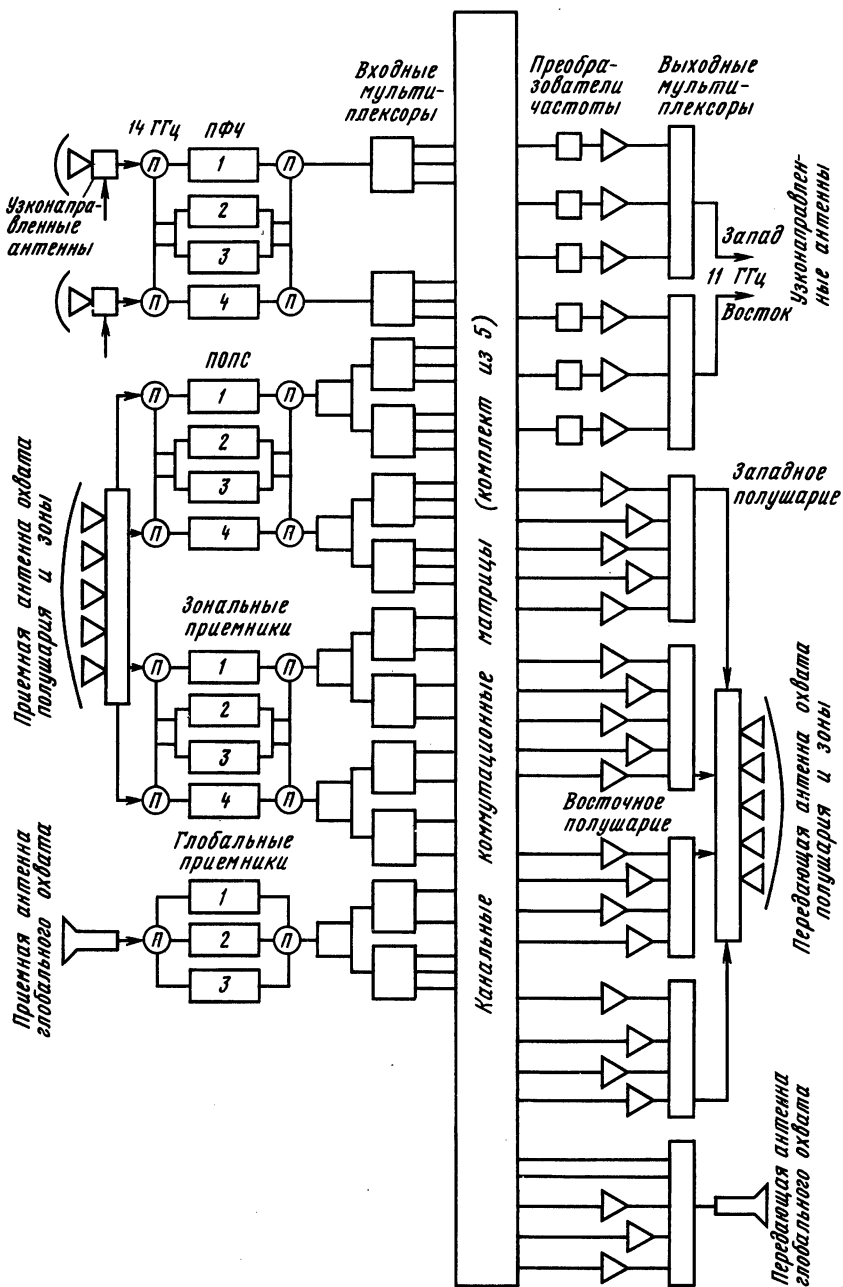


Рис. 4.7. Упрощенная схема транслятора Intelsat V  
 П—переключатель-дуплексер; ПФЧ—приемник фиксированных частот; ПОПС—приемник охвата полусферы

В настоящее время несколько тысяч судов разных стран оснащены ЗС и работают в системе. Размещение антенн станции на судне показано на рис. 4.18.

Система обеспечивает передачу телефонных и телексных сообщений. Телефонные сообщения передаются методом ОКН с частотной модуляцией. При передаче телексных сообщений используется временное разделение сигналов. Планируется передача узкополосного телевидения и связь с самолетами.

С вводом на втором этапе спутников Inmarsat-2 ожидается, что число судовых станций в системе превзойдет 10 тыс.

Параметры земных станций, используемых в системе (в том числе Inmarsat-2), приведены в табл. 4.6.

Антенны станций имеют круговую поляризацию: на передачу — правостороннюю для станций диапазона 1,6/1,5 ГГц, на прием — левостороннюю для станций диапазона 6/4 ГГц.

Станции управления и телеметрии работают в диапазоне 6/4 ГГц, имеют коэффициент усиления антенны на передачу 53 дБ, на прием 49,2 дБ. Добротность приемной системы 30...31 дБ/К.

Параметры спутников системы Inmarsat приведены в табл. 4.7.

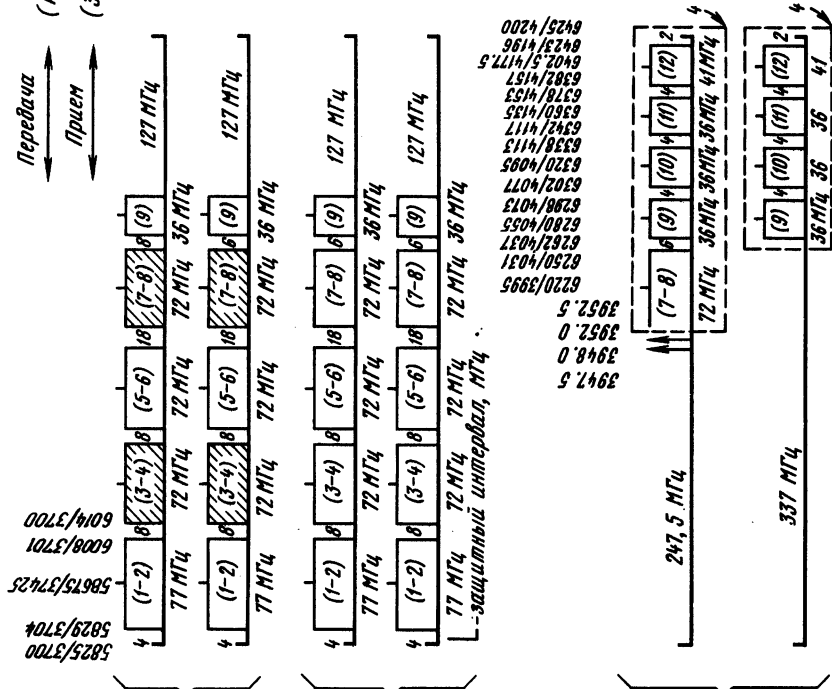
Штаб системы Inmarsat находится в Лондоне. Здесь же размещен центр управления, координирующий работу в системе.

### **Перспективная система спутниковой связи с наземными мобильными объектами LMSS**

В США проводится разработка коммерческой системы спутниковой подвижной связи LMSS (Land Mobile Systems Satellite). Предполагается, что система начнет работать с 1995 г. и сможет обслуживать до 270 тыс. абонентов. Подвижные абоненты системы LMSS смогут получить доступ к любому абоненту наземной сети телефонной связи, а абоненты наземной сети — к любому абоненту сети ССС независимо от его местоположения. Кроме того, подвижные абоненты сети ССС могут устанавливать связь друг с другом. Помимо обычной телефонной связи прорабатывались вопросы использования диспетчерской связи и обеспечение передачи данных. Система по данному проекту должна создаваться для обслуживания только подвижных наземных абонентов. Абонент может иметь в своем транспортном средстве единый (уже существующий) комплект аппаратуры для работы как в наземной, так и спутниковой сетях подвижной связи. При работе абонент в принципе может не знать, в какой сети (наземной или спутниковой) он обслуживается. Зона связи LMSS — территория США с последующим включением Аляски, Гавайских островов, а возможно, и территория всей Северной Америки. В состав системы должен входить спутник, стационарные (базовые) станции и станции абонентов. Спутник должен размещаться на ГСО в точке  $110^\circ$  з. д. Общее число базовых станций 25, абонентских — несколько сот тысяч.

Диапазон частот, рассматриваемый для использования в предполагаемой системе, определен Регламентом радиосвязи в пределах национальных границ: 806...890 МГц — связь с подвижными объектами и 2550...2690 МГц — связь спутника с базовыми стационарными станциями.

Вероятность перегрузки системы оценивается величиной не более 2% при средней телефонной нагрузке в ЧНН 0,026 Эрл.



Фиксированные на  
линии НСЗ-Земля

14.000/10.950	12.500/11.700
14.004/10.954	12.501/11.701
14.042,5/10.992,5	12.509/11.709
14.081/11.031	12.547,5/11.747,5
14.089/11.039	12.586/11.756
14.125/11.075	12.594/11.794
14.161/11.111	12.630/11.830
14.169/11.119	12.666/11.808
14.205/11.155	12.674/11.874
14.241/11.191	12.710/11.910
14.257/11.457	12.748/11.948
14.259/11.459	12.750/11.950
14.295/11.495	
14.331/11.531	
14.377,5/11.577,5	

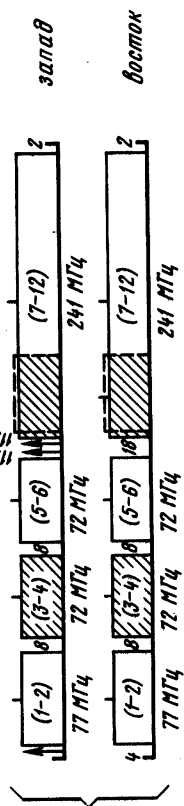


Рис. 4.8. Размещение частот стволлов ретранслятора Intelsat VA (TB)



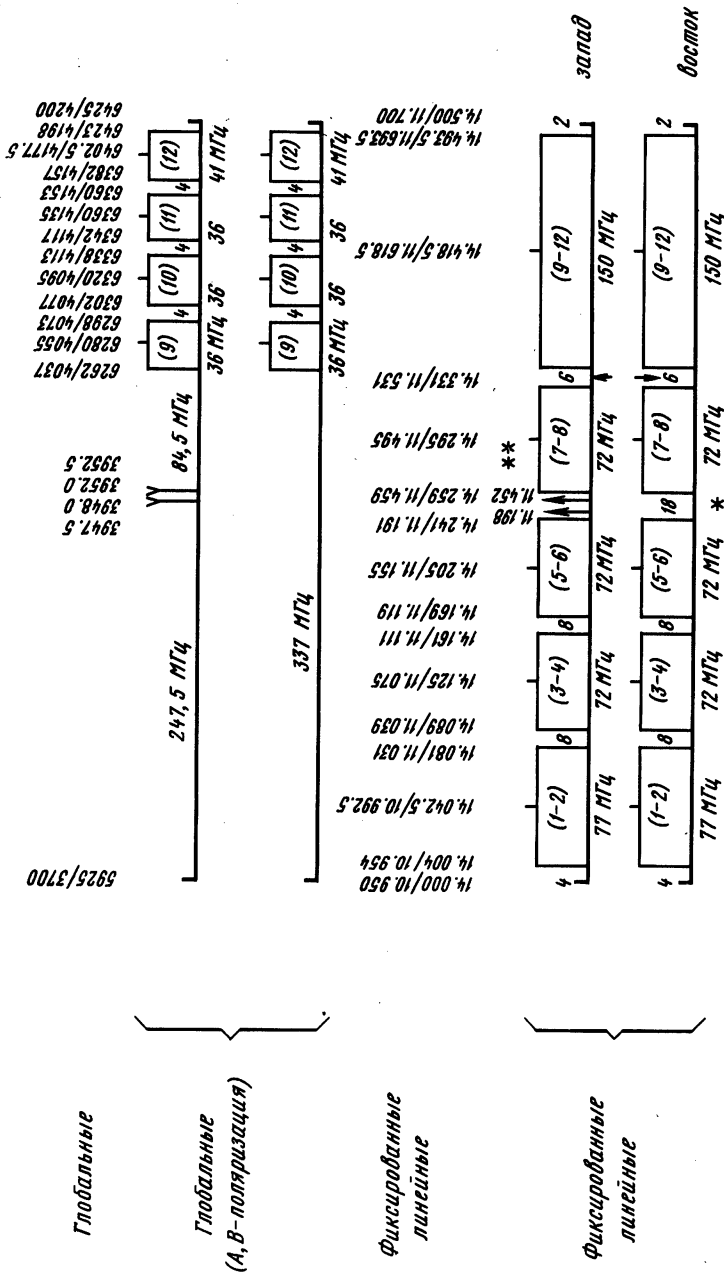
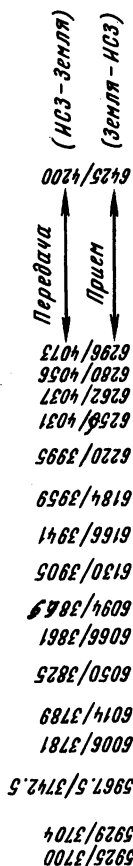
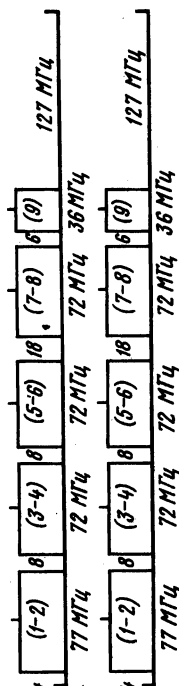


Рис. 4.9. Размещение частот стволков ретранслятора Intelsat VI

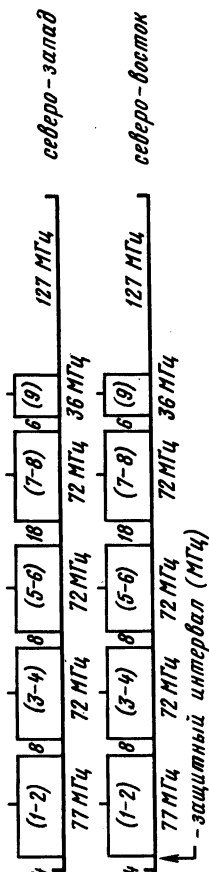
Полусфера  
(зона)



Полусфера  
(А-поляризация)



Зона  
(В-поляризация)







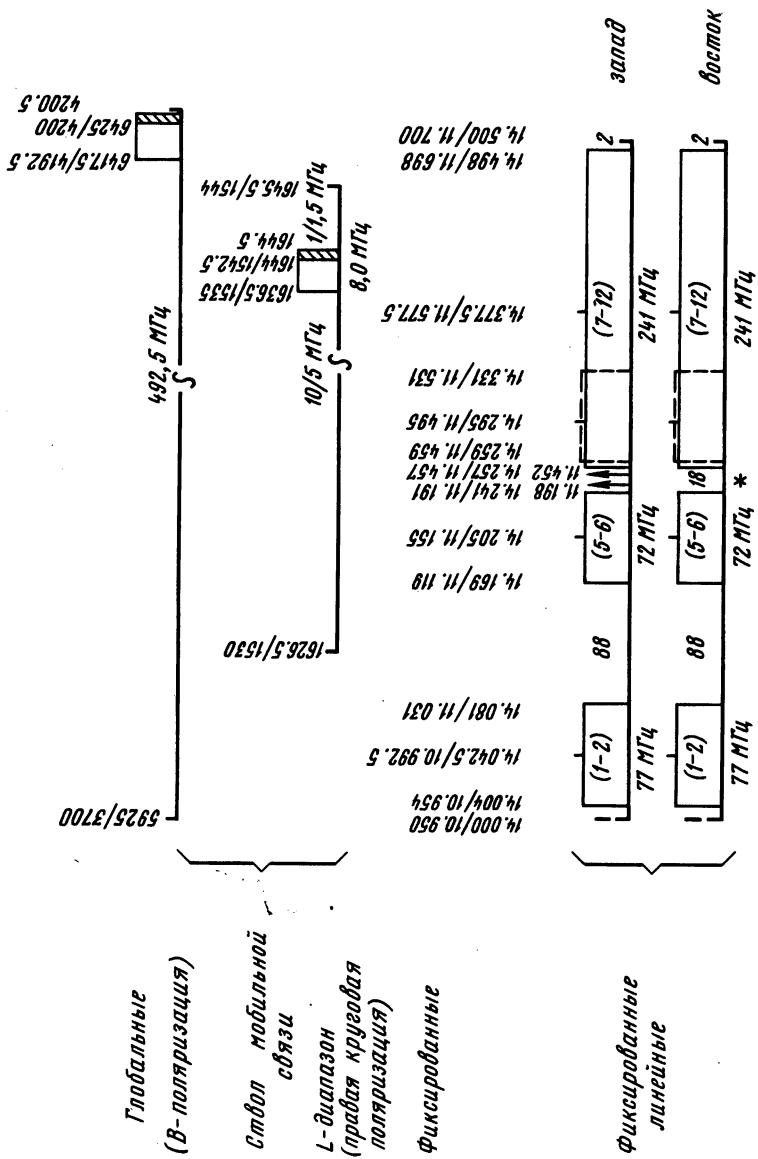


Рис. 4.11. Размещение частот ретранслятора Intelsat V — (MCS) (мобильная спутниковая связь)



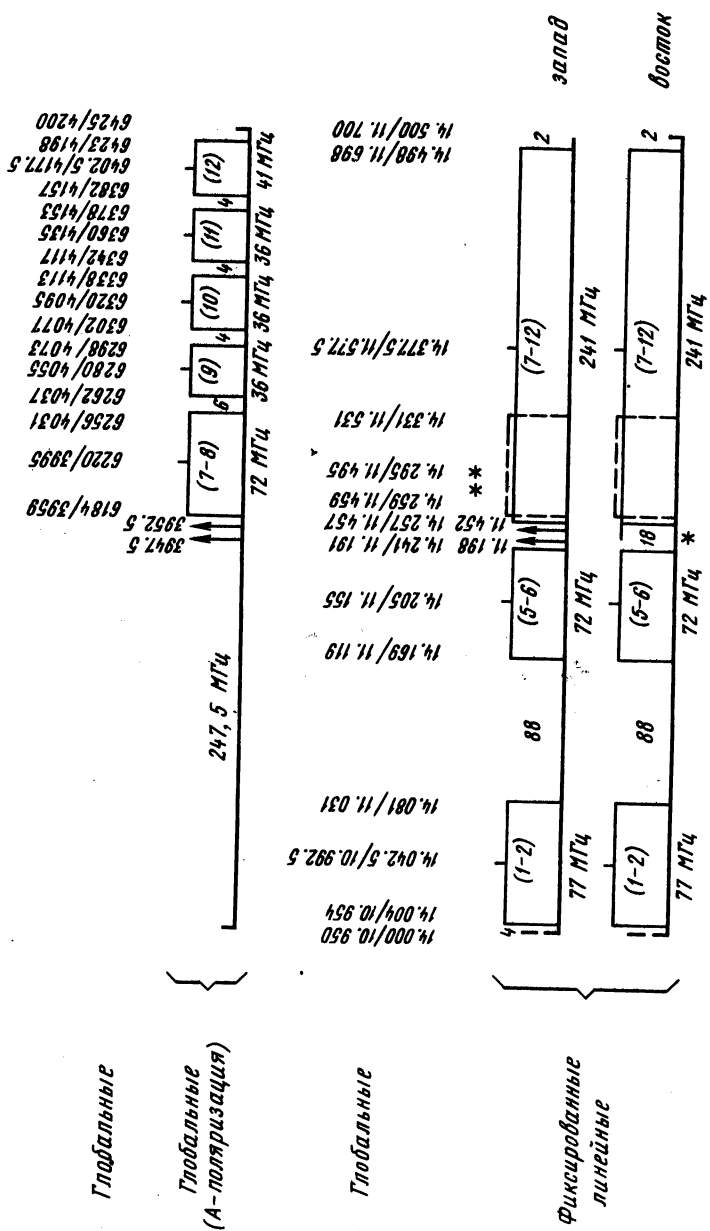


Рис. 4.12. Размещение частот стволков ретранслятора Intelsat V

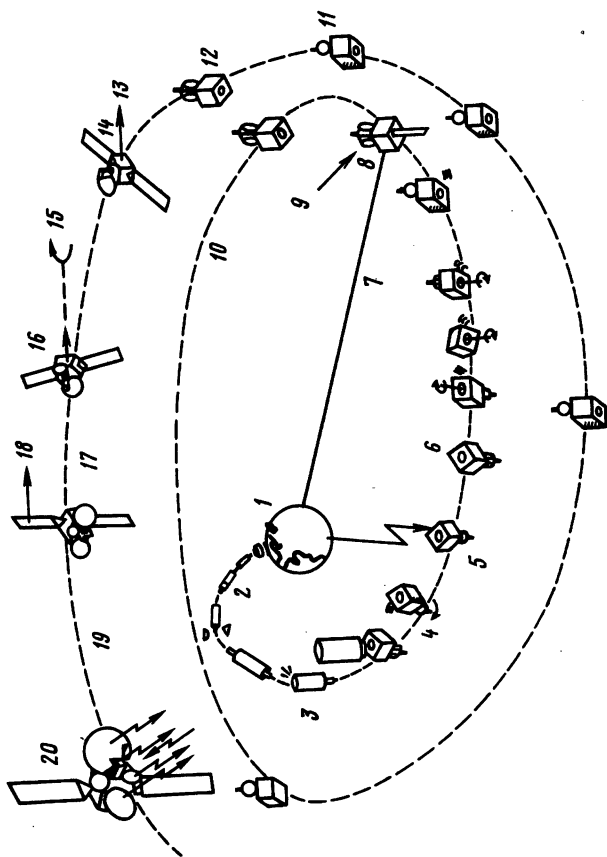


Рис. 4.13. Полетная последовательность ракетно-носителя «Атлас—Центавр» при выходе на орбиту КА Intelsat V;

1—запуск; 2—выброс (сброс) обтекаемой формы; 3—вывод на переходную орбиту; 4—ускорение вращения до 43,5 об/мин, начало демпфирования активной нутации; 5—линия телеметрии, управления и определения расстояния, установленная с базой Карнарвон, Австралия; 6—переходная орбита; 7—линия апсид; 8—пуск двигателя коррекции; 9—команда включения (пуска) с Земли; 10—орбита дрейфа; 11—полная коррекция скорости на орбите дрейфа; 12—замедление вращения всех осей до 0,5/с; 13—ось крена; 14—развертывание солнечных батарей и антенн; 15—линия Солнца; 16—тангажная ось накопления данных о Солнце; управления скоростью тангажа 0,5/с; 17—захват Земли (полем земного притяжения); 18—направление к Солнцу; 19—синхронная орбита; 20—станция вступает в эксплуатацию

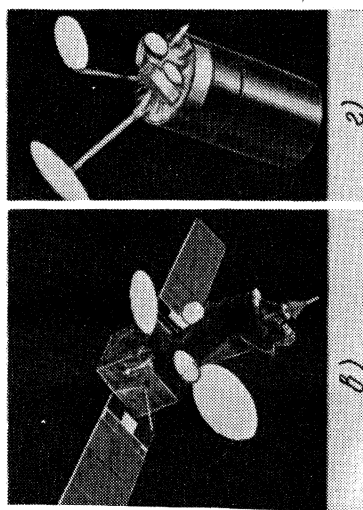
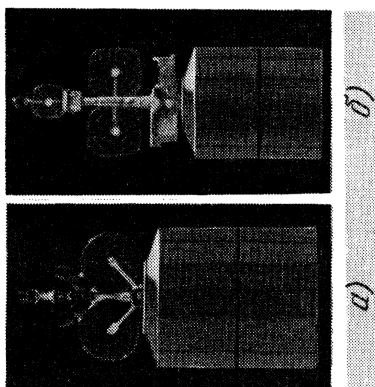


Рис. 4.14. Спутники системы Intelsat  
а) Intelsat IV; б) Intelsat IV—A;  
в) Intelsat VA; г) Intelsat VI

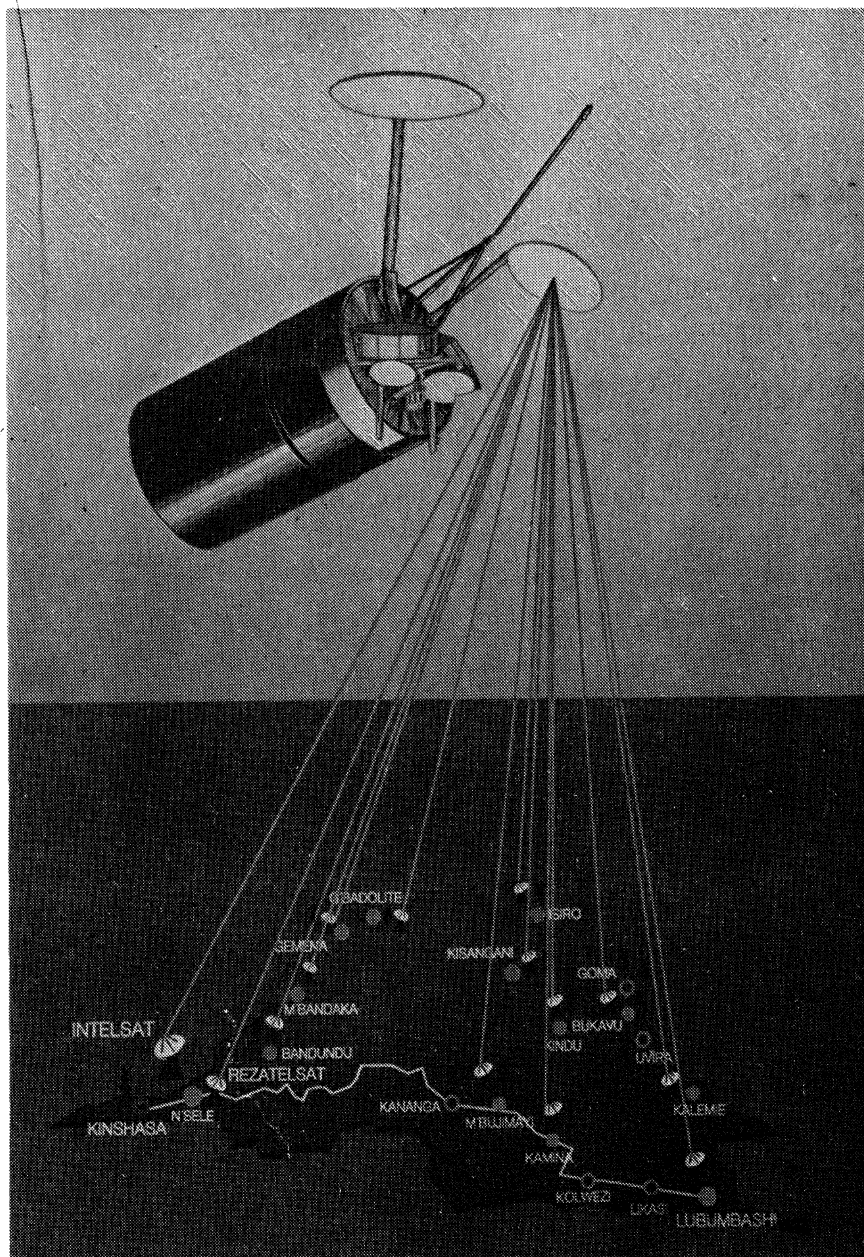


Рис. 4.15. Фрагмент системы связи через спутник Intelsat VI

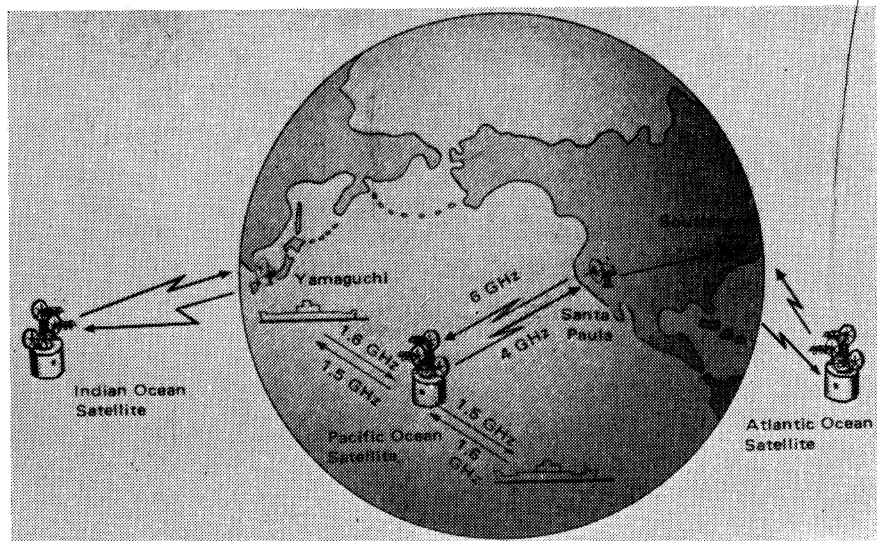


Рис. 4.16. Фрагмент системы Inmarsat

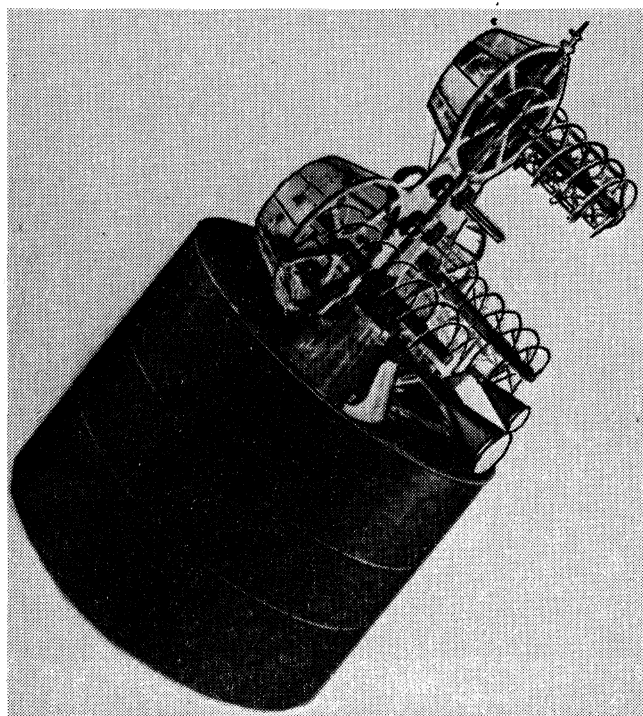


Рис. 4.17. Общий вид спутника Marisat

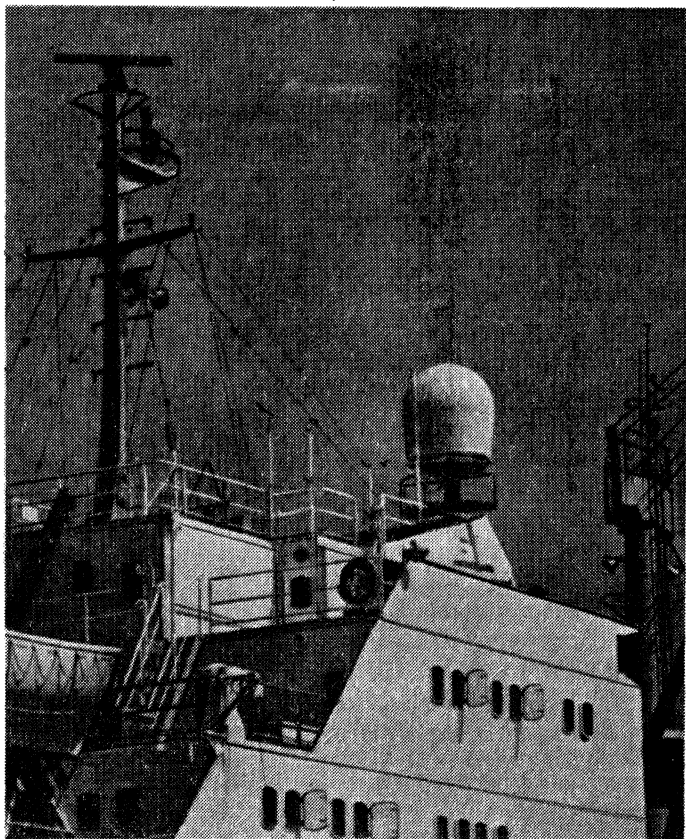


Рис. 4.18. Вариант размещения антенн станции Marisat на судне

На спутнике будут использоваться многолучевые антенны. Число лучей на сеть подвижных абонентов 87, на сеть базовых станций 25. Одна базовая станция должна обслуживать до четырех лучей абонентской сети. В абонентской сети на один луч предполагается иметь 95 каналов, а в сети базовых станций — от 95 до 380 каналов. Общее число дуплексных каналов 8265. Число абонентов на канал 23. В системе планируется применение многократного использования полос частот.

Земные средства системы должны включать абонентские (мобильные) и базовые (стационарные) станции.

Параметры мобильных станций: мощность передатчика 2,4 Вт; ЭИИМ 6,4 дБВт, добротность приемной системы — 25 дБ/К, антенна — вибратор U- или V-образного типа. Исследуются и другие типы антенн.

Параметры базовых станций: мощность передатчика 62 мВт; ЭИИМ 23,1 дБВт; добротность приемной системы 10,9 дБ/К; антенна диаметром 3 м.

Спутник системы будет иметь массу около 4000 кг, электропитание — на двух солнечных батареях (размером 4×9 м каждая) мощностью до 10 кВт. Размеры спутника до 100 м, он должен удерживаться на орбите с точностью до 0,03°. Срок

Параметры станций	Береговые станции			
	CES/NCS	CES/NCS	A	AM
Диапазон и полосы используемых частот*, ГГц	6...4 6,425...6,443;	1,6...1,5 1,6265... ...1,6455;	1,6...1,5 1,6265... 1,6455;	1,6...1,5
Коэффициент усиления антенны	3,6...3,623 50,5...49,2	1,530...1,544 29	1,530...1,544 20...21	1,6...1,5 29
Диаметр антенны, м	13	2,5	1,2; 0,85	2,5
Ширина диаграммы направленности антенны по уровню 3 дБ (передача/прием), град	0,33/0,57	5,8/6,2	15/16	6,3/6,7
Добротность приемной системы, дБ/К	30,6	+4	—4	+4
ЭИИМ, дБВт	86...87	48	36...40	48
Виды работы	ТФ, ТГ, ПД, ТВ	ТФ, ТГ ПД, ТВ	ТФ, ТГ, ПД	ТВ, ПД, ТФ

\* Полосы частот даны для системы Inmarsat-2.

активного существования будет не менее 10 лет. Антенна мобильной сети спутника должна иметь диаметр 55 м, а антенна сети базовых станций — 10 м. Первая антенна должна формировать 87 лучей с диаграммой направленности луча 0,45°, вторая 25 лучей. Масса блока антенно-фидерной решетки сети мобильных средств около 1170 кг, а блока антенно-фидерной решетки сети базовых станций 78 кг. Зеркало, мачта и кабели соответственно для двух зеркал 945 и 69 кг. Большое зеркало должно иметь 134 облучателя, малое — 49. Размер блока 134 активных облучателей антенно-фидерной решетки — 6,9 × 11,4 м. Здесь же предполагалось разместить радиаторы для рассеивания тепла от усилителей мощности, расположенных в блоке облучателей. Толщина блока не должна превосходить 25 см; ЭИИМ на канал в сети подвижных абонентов 46,8 дБВт; добротность приемной системы 22 дБ/К. В сети базовых станций ЭИИМ 10,7 дБВт при мощности на канал 0,2 мВт; добротность приемной системы 7,1 дБ/К. Спутник будет выведен на орбиту с помощью многоразового космического аппарата «Шаттл».

Альтернативным вариантом является вариант создания совместной системы мобильной спутниковой связи (MSS) компаниями США AMSC (American Mobile Satellite Consortium) и Канады TMI (Telesat Mobile Inc.). Предполагается иметь спутники с десятилучевыми антеннами для обслуживания подвижных служб, перекрывающими территорию Канады, США и, возможно, Мексики. Система должна обслуживать наземные, морские и авиационные абоненты. Диапазон частот для связи с подвижными абонентами 1,6/1,5 ГГц, фидерные линии могут использовать диапазон 14/12 ГГц или 2,5...2,7 ГГц. Система MSS будет сопрягаться с сетями мобильной наземной связи через центры коммутации. Предполагается использовать МД по принципу один канал на несущую, а центр управления для спутников США и Канады иметь единым. Вариант создания MSS в диапазоне 1,6/1,5 ГГц может быть

## ций системы Inmarsat

Судовые станции стандартов			Самолетные станции	
В	М	С	Aerol	Aeroh
1,6...1,5 1,6265...1,6455;	1,6...1,5	1,6...1,5 —	1,6...1,5 1,6265...1,6495;	1,6...1,5
1,530...1,545 20...21	1,6...1,5 14...15	0...3	1,530...1,548 0...3	1,6...1,5 12
1,2; 0,85 15/16	0,4...0,5 30/32	— Ненаправленная	—	0,5...0,6 30/32
—4	—10	—23	—(23...26)	—(10...13)
33...35 ТФ	23...27 ТФ	12 ТГ, ПД	14 ТГ, ПД	26 ТФ

основным, так как Всемирная административная конференция по радио для мобильных служб (MWARC) в 1987 г. этот диапазон определила для мобильных спутниковых служб. Ожидается, что запуск спутника будет произведен в 1993 г.

### 4.3. Национальные и региональные системы спутниковой связи

#### Особенности систем

Экономическая эффективность ССС проявилась прежде всего при создании магистральных линий с большой пропускной способностью. С развитием волоконно-оптических средств связи их экономическая эффективность становится более предпочтительной по сравнению со спутниковыми линиями связи на магистральных направлениях. Однако там, где требуется создание разветвленных сетей связи, связи с подвижными объектами, современные ССС, безусловно, имеют неоспоримые преимущества. Преимущества ССС особенно заметны в национальных системах связи в странах с большой территорией и множеством разбросанных и удаленных пунктов.

Национальные ССС (НССС) создаются по принципам:

собственного космического и земного комплексов;

аренды космического сегмента при создании национального земного комплекса;

региональных систем на основе собственного для региона космического и земного комплексов;

аренды земного комплекса.

По первому принципу созданы и совершенствуются НССС США, Канады, Индонезии, Индии, Италии, Франции и других государств.

Параметры спутников системы Inmarsat

Параметры	Тип спутников			
	Marisat	Marecs	Intelsat — MCS	Inmarsat-2
Год запуска первого ИСЗ	1976	1981	1982	1988
Мощность источников питания в конце срока активной работы, кВт	0,3 5	0,75 7	1,2...1,3 7	1,5...1,6 7...10
Срок активной работы, лет	655	1060	1930	1170...1267
Масса при запуске, кг				
Число каналов, обеспечиваемых спутником на станции:				
судовые и самолетные	8	40	30	125
центральные земные	14	50	100	250
Рабочие полосы частот *, МГц	6420...6424; 4195...4199; 1638,5...1642,5; 1537...1541	6420...6425; 4195...4201 1638,5...1644,5; 1537,5...1542,5	6417,5...6425; 4192,5...4200; 1636,5...1644,5; 1535...1542,5	6425...6443; 3600...3623; 1626,5...1649,5*; 1530...1548
ЭИИМ дБВт:				
на судовые и самолетные станции:	18,8	19,5	20	39,2
на центральные земные станции	27	34,2	32,6	24,4
Мощность передатчика ствола, Вт				
Добротность приемной системы, дБ/К:	-17,5	-12,1	-15	-13,3
СМВ диапазон ДЦВ диапазон	-21	-17	-18,6	-12,2
				193 (ДЦВ) и 8,3 (СМВ)

\* Исключая полосы частот, МГц: 1631...1631,5 (защитные), 1636...1636,5 и 1643,8...1644,3 (интервалы между 1...4 каналами); после 1990 г. предполагается использовать частоты, МГц: 1530...1559, 1626,5...1660,5, исключая полосы частот 1544...1645 и 1645,5...1646,5.

По второму принципу ССС создаются странами или частными фирмами, не имеющими достаточного спроса, оправдывающего создание спутника. В настоящее время более 26 стран арендуют стволы или часть их в системе Intelsat.

По третьему принципу построены НССС ряда арабских стран и система Eutelsat, которая может быть отнесена к международным системам.

Четвертый принцип находит применение в малых странах, которым более выгодно арендовать земные станции соседних стран, чем создавать национальные комплексы ССС.

Среди множества возможных применений НССС следует выделить:

- цифровую связь (передача данных) и связь ЭВМ — ЭВМ;
- связь с удаленными сельскими районами;
- связь в чрезвычайных обстоятельствах и оповещение о катастрофах;
- морскую, воздушную связь и связь с наземными подвижными абонентами;
- распределенное или прямое радио- и телевизионное вещание;
- связь для правительственных, административных служб и связь в интересах вооруженных сил.

Спутники в НССС создаются и многоцелевыми, и предназначенными для решения только специальных задач. Ниже приводятся некоторые данные ряда НССС и их особенности.

## Система спутниковой связи — EUTELSAT (Западная Европа)

**Создание системы.** В 1970 г. на специальной конференции заинтересованных европейских стран было принято решение, которое обязывало Европейскую организацию по исследованию космического пространства (впоследствии — Европейское космическое агентство — ESA) разрабатывать не только программы по научным исследованиям космоса, но и начать осуществление прикладных программ, в частности, в области связи. Была разработана программа создания европейского спутника связи (ECS). В 1977 г. 20 стран Европы объединились в организацию Eutelsat для создания европейской системы спутниковой связи. Наибольшие капиталовложения в систему Eutelsat имеют Франция (16,4%), Великобритания (16,4%) и Италия (11,4%).

В 1978 г. был запущен первый экспериментальный спутник OTS, разработанный для обслуживания линий связи в диапазоне 4/6 ГГц. Спутник являлся предшественником основных спутников ECS, имел два ствола с полосами пропускания 40 и 180 МГц. Ствол с полосой 40 МГц работал на антенну, охватывающую все европейские страны («евролуч»). Другой ствол работал на остроуправленные антенны, что позволило использовать повторно частоты за счет применения в лучах противоположных поляризаций. Способ многостанционного доступа МДВР. Система состоит из двух сетей: основной и многофункциональной.

**Основная сеть системы Eutelsat.** Первый спутник основной системы (ECS-F1) запущен в 1983 г., второй — в 1984 г. Предполагается в начале 90-х годов в системе иметь не менее четырех спутников на орбите и один (в качестве резервного) на Земле. Координаты спутников на геостационарной орбите 7, 10, 13 и 16° в. д. Зоны обслуживания основной сети системы приведены на рис. 4.19.

Линия Земля — спутник обслуживается антенной, перекрывающей все страны Европы («евролуч»), а линия спутник — Земля — тремя бортовыми антеннами

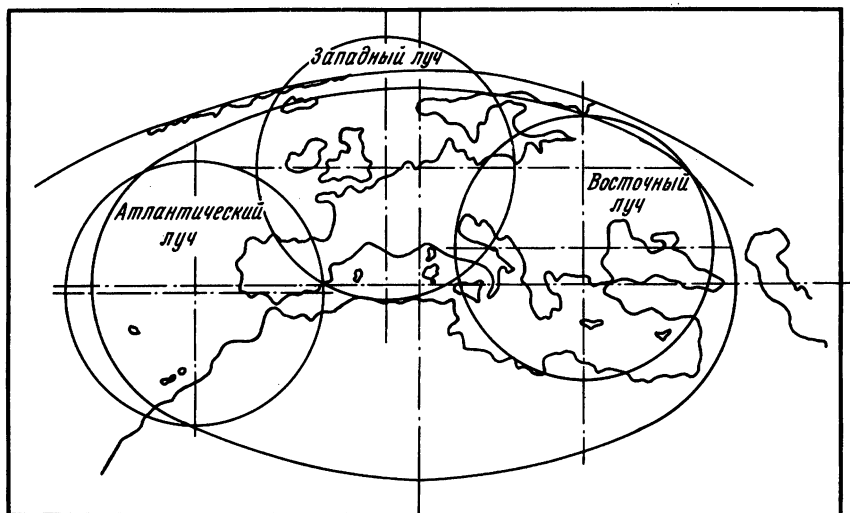


Рис. 4.19. Зоны обслуживания спутниками серии ECS-F1 (основная) сеть

с «атлантическим», «западным» и «восточным» лучами. Выход земных станций на любой ствол ретранслятора обеспечивается через антенну спутника с евролучом. Свой сигнал земная станция может принять только в том случае, если она находится в зоне обслуживания остроуправленных бортовых антенн, через которые передается информация данной станции. На спутнике имеются коммутаторы, позволяющие распределять потоки информации между передающими стволами с выходом на соответствующие бортовые антенны.

В системе предполагается иметь до 17 ЗС. Каждая страна будет иметь свою земную станцию, хотя некоторые страны на начальном этапе эксплуатации системы могут обслуживаться общими.

Структура используемой МДВР определяется кадрами длительностью 2 мс и циклами длительностью 32 мс. Скорость передачи телефонной информации в канале 64 кбит/с. Возможна передача речи с цифровой интерполяцией, что позволяет увеличить пропускную способность ствола ретранслятора в 2 раза.

Достоверность передачи информации определяется значением вероятности ошибки и не превосходит  $1 \cdot 10^{-4}$  в 99,7% времени наиболее неблагоприятного месяца. Диапазон рабочих частот 14/11 ГГц.

Земные станции имеют возможность принимать сигналы с разными поляризациями, что зависит от поляризации бортового передающего луча.

Особенность построения сети заключается в том, что в ЗС используется метод коммутации стволов, позволяющий передавать по одному тракту в одном кадре последовательность пакетов, предназначенных для различных стволов. Приемные тракты обеспечивают прием разных частот стволов в течение длительности кадра за счет переключения на соответствующие частотные позиции. Такой метод передачи требует общей синхронизации пакетов во всех стволах ретранслятора.

В системе для передачи телефонных сообщений используется как цифровая интерполяция речи, так и передача речи в цифровой форме без интерполяции.

Модули цифровой интерполяции речи принимают до 8 потоков по 30 каналов ИКМ. Модули безытерполяционной обработки сигналов обеспечивают прием и передачу 128 каналов. Демодуляция сигналов — когерентная. Один спутник может обслужить до 12 тыс. телефонных каналов.

Земные станции имеют антенну диаметром около 17 м, добротность приемной системы 39 дБ/К, ЭИИМ — до 87,5 дБВт.

Бортовые ретрансляторы имеют 12 стволов, по двум стволам передается информация для деловых служб. Полоса выделенных частот используется дважды, за счет применения антенн с двойной линейной поляризацией. Разнос частот между стволами — 83,3 МГц. Ширина полос частот стволов — 72 МГц.

Добротность приема — 5,3 дБ/К (прием на «евролуч»). Передающие устройства построены на ЛБВ с мощностью в режиме насыщения 20 Вт, ЭИИМ в любой точке зон, охватываемых остронаправленными лучами, не менее 40,8 дБВт. Коэффициент усиления приемной бортовой антенны («евролуч») составляет 28 дБ, передающих антенн — 34,5 дБ.

Контроль управления сетью связи включает: центр управления сетью связи (ЦУСС), две опорных контрольных земных станции (ОКЗС) и элементы контроля арендуемых каналов. Центр связан с европейским космическим агентством (ЕКА) и Европейским союзом радиовещания (ЕСР). Европейское космическое агентство следит за удержанием спутников на орбите и осуществляет их техническое обслуживание, а ЦУСС выполняет функции контроля и координации работы в системе. Опорные контрольные ЗС осуществляют и контролируют синхронизацию станций корреспондентов при их работе в системе.

Использование двух станций обусловлено требованием надежности работы системы. Одна из станций на данный момент работы является ведущей (основной или первичной), другая — вторичной (резервной). Станции располагаются в зонах перекрытия центрального с западным и восточным лучами.

**Многофункциональная сеть Eutelsat.** Для организации дополнительных видов услуг Eutelsat приняла решение о создании спутниковой многофункциональной сети связи (СМС). Сеть содержит два спутника ECS-F2 и один Telecom-1. Спутник ECS-F2 в сети работает в режиме ОКН/МДЧР, а спутник Telecom-1 в режиме МДВР.

Вероятность ошибки в каналах не превосходит  $1 \cdot 10^{-6}$  в 99% времени года. Это достигается использованием ДФМ, помехоустойчивого кодирования сверточным кодом с коэффициентом преобразования скорости 1/2, когерентной демодуляцией и декодированием по Витерби. Предусмотрено шифрование информации по симплексным каналам. Скорости передачи информации кратны 64 кбит/с и могут иметь значения до 1920 кбит/с, а при необходимости и выше. Скорость передачи информации при видеоконференц-связи 2048 кбит/с. Абонентам сети могут предоставляться магистральные тракты, два тракта для двусторонней передачи информации с разными и одинаковыми скоростями, возможность передачи информации от одного источника сразу нескольким и другие варианты.

Зоны обслуживания сети СМС спутниками ECS-F2 приведены на рис. 4.20.

Земные станции сети ECS/СМС имеют стандарты — А и В. У станций стандарта А диаметр антенны 5,5 м, добротность приемной системы 30,4 дБ/К; ЭИИМ 57...72 дБВт. У станций стандарта В диаметр антенны 3,5 м, добротность приемной системы 27,4 дБ/К, ЭИИМ 59...74 дБВт. Общее число станций, ожидаемое в развернутой системе, может достигать нескольких сотен.



Рис. 4.20. Зоны обслуживания спутниками серии ECS-F2 (Eutelsat/CMC). Уровень на внутреннем контуре 2 дБ, наружном 4 дБ относительно максимума

Бортовые ретрансляторы на спутнике ECS-F2 помимо 12 стволов, обеспечивающих решение основных задач системы, имеют два дополнительных ствола для решения задач СМС.

Рабочая полоса стволов СМС 72 МГц; добротность приемной системы 2 дБ/К, ЭИИМ в зоне обслуживания не менее 40 дБВт. Коэффициент усиления бортовых антенн на прием и передачу 32,5 дБ.

На спутнике Telecom-1 размещен один из ретрансляторов, используемый в интересах системы Eutelsat (по соглашению с администрацией связи Франции). Общая пропускная способность спутника Telecom-1 в интересах Eutelsat — до 1800 каналов по 64 кбит/с каждый. Одновременно может быть обслужено до 300 земных станций, около 100 из которых планируется установить в европейских странах (исключая Францию).

Зоны обслуживания спутником Telecom-1 приведены на рис. 4.21.

С использованием Telecom-1, в отличие от спутника ECS-F2, абонентам предоставляются каналы автоматически на адресной основе без предварительного заказа.

Земные станции имеют диаметр антенн 3,5 м. В состав ЗС входит антенна с малошумящим приемником и контейнер, содержащий усилители мощности, преоб-

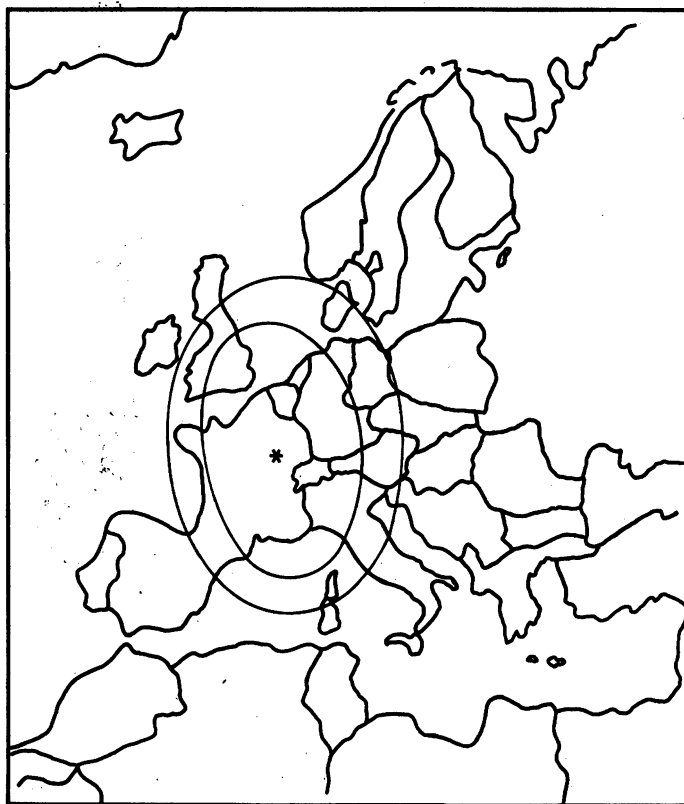


Рис. 4.21. Зоны обслуживания ИСЗ Telecom-1.  
Уровень на внутреннем контуре 3 дБ, наружном 6 дБ относительно максимума

разователи частоты, аппаратуру автоматического контроля, измерительную аппаратуру и средства коммутации.

Бортовой ретранслятор спутника Telecom-1, используемый в интересах системы Eutelsat (в том числе и в национальных интересах Франции), содержит шесть стволов, пять из которых можно использовать в данной системе. Полосы пропускания стволов 36 МГц; передающие устройства выполнены на ЛБВ мощностью 20 Вт; добротность приемной системы на краю зоны обслуживания не менее 3,3 дБ/К; ЭИИМ — 47 дБВт.

План частот, МГц, стволов ретранслятора:

Прием	Передача
14 022 ± 18	12 522 ± 18
14 064 ± 18	12 564 ± 18
14 106 ± 18	12 606 ± 18
14 148 ± 18	12 648 ± 18
14 190 ± 18	12 690 ± 18
14 232 ± 18	12 732 ± 18

На спутнике установлены две антенны диапазона 14/12 ГГц: одна для приема информации, передаваемой по всем стволам и передачи информации, передаваемой по нечетным стволам, вторая — для передачи информации по четным стволам. Коэффициент усиления в зоне связи передающей антенны — 36,6 дБ, приемной — 35,6 дБ.

Общий вид спутника Telecom-1 показан на рис. 4.22. Стандартная земная станция имеет передатчик с усилителем мощности 160 Вт. В качестве варианта на стойке усилителей мощности могут помещаться два усилителя по 250 Вт или два по 500 Вт. Передача информации во всех стволах синхронизирована посылкой сигнала длительностью 20 мс. Каждая ЗС передает сигнал в одном стволе, а принимает сигналы всех пяти стволов в режиме переключения частот стволов. На рис. 4.23 показана контрольная земная станция Telecom-1.

Синхронизация в многофункциональной сети осуществляется двумя опорными станциями, расположенными друг от друга на расстоянии до 15 км и связанными с центром управления системой. Спутниковые каналы стыкуются с каналами наземной сети, что позволяет в зависимости от загрузки каналов в общей системе связи направлять потоки информации либо по спутниковым, либо по наземным каналам связи.

Заявленные точки для спутников на геостационарной орбите 8 и 5° з. д. и 3° в. д.; диапазон используемых частот: 14,004...14,250 ГГц на участке Земля — спутник и 12,504...12,750 ГГц на участке спутник — Земля; многостационарный доступ — МДВР при скорости передачи информации 24,576 Мбит/с; метод передачи информации — ДОФМ; вероятность ошибки в каналах  $1 \cdot 10^{-6}$  в течение 99% времени года.

Система управления ECS/СМС включает национальные центры управления стран-пользователей системой и центр управления системой связи СМС (ЦУСС СМС), которые все замыкаются на основной ЦУСС Eutelsat.

Национальные центры выполняют функции управления станциями корреспондентов данной страны (контроль работы станций, предоставление услуг и т. п.). Размещается ЦУСС СМС на одной из станций и контролирует параметры каналов в стволах, в частности ЭИИМ, центральную частоту ствола, уровень шума, нестабильность пилот-сигнала.

## Система спутниковой связи Telecom (Франция)

Национальная система спутниковой связи Telecom создается как единая цифровая система, объединяющая цифровые спутниковые и наземные линии связи и обеспечивающая их интегральное использование. В систему входят три спутника Telecom-1A, 1B, 1C в точках стояния на геостационарной орбите 8 и 5° з. д. и 3° в. д. — и комплекс земных станций. На этапе развития системы создаются спутники Telecom-2A, 2B, 2C, размещаемые в тех же точках орбиты.

Система предназначена для обслуживания как территории метрополии, так и удаленных регионов и должна обеспечивать:

широкополосную связь и передачу данных в интересах деловых кругов на территории Франции и других Европейских государств (в рамках системы Eutelsat через спутники Telecom-1), видеоконференц-связь и другие виды услуг;

ретрансляцию ТВ программ для кабельного телевидения;

связь с пунктами, находящимися вне европейского континента, и связь между ними, трансляцию для них французских национальных ТВ программ;

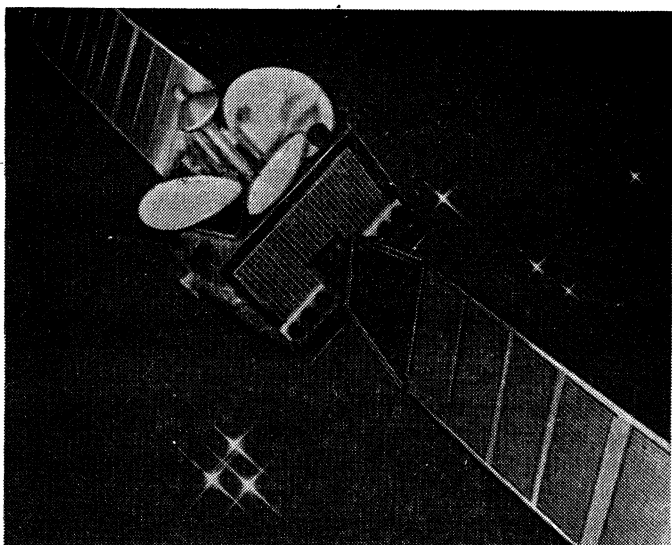


Рис. 4.22. Общий вид спутника Telecom-1

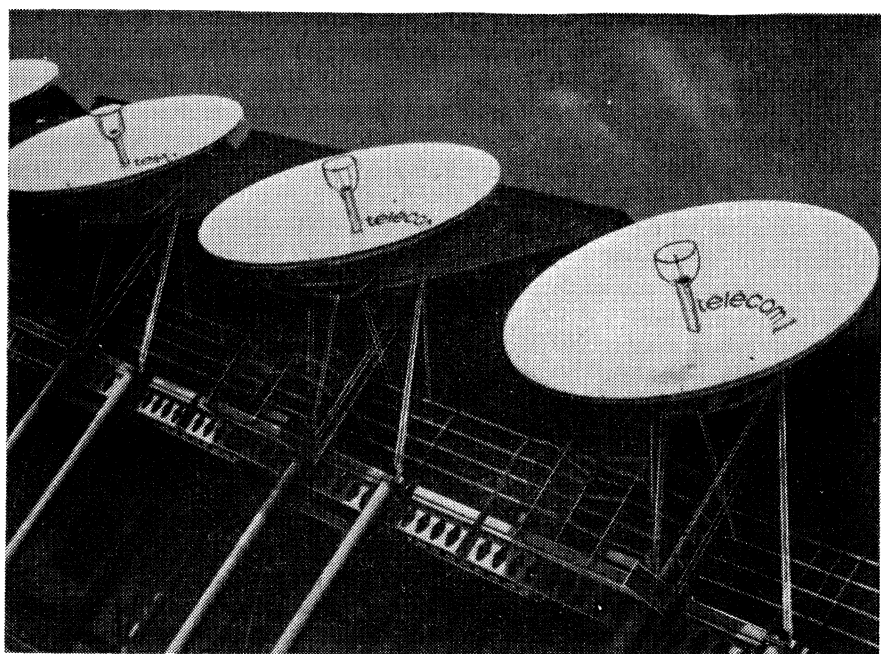


Рис. 4.23. Контрольная земная станция спутниковой связи Telecom-1

связь в интересах вооруженных сил и правительственную связь.

В системе три диапазона частот: 14/11, 6/4 и 8/7 ГГц. Диапазон 14/11 ГГц, помимо национальных интересов Франции, используется в системе Eutelsat по согласованию с Администрацией связи Франции, диапазон 8/7 ГГц для правительственной связи и связи вооруженных сил, диапазон 6/4 ГГц для связи с заморскими департаментами и территориями вне метрополии.

Многостанционный доступ: в стволах 14/11 ГГц — МДВР, в стволах 6/4 и 8/7 ГГц — МДЧР и МДКР соответственно. Широкополосная связь и передача данных в стволах с МДВР осуществляются с предоставлением каналов по требованию. При этом обеспечиваются передача информации абонентам со скоростью от 2,4 кбит/с до 2 Мбит/с и автоматическое подключение к различным сетям по заранее разработанной программе.

Масса спутника на орбите 653 кг; система электропитания — солнечные батареи (мощность — 1080 Вт) и никель-кадмиевые аккумуляторы емкостью 23 А · ч.

Система разрабатывается с 1979 г.; с 1981 г. — разработчик — объединение Telspace; первый спутник запущен в августе 1984 г.

В диапазоне 14/11 ГГц ЗС делятся на главную (узловую), осуществляющую контроль трафика, управление ретрансляторами, синхронизацию сети, распределение по запросам, и абонентские станции, размещаемые вблизи абонентов. Главная станция имеет антенны диаметром 6,5 м и передатчик мощностью 500 Вт. Абонентская станция содержит антенну диаметром 3,5 м и контейнер с аппаратурой.

Земные станции, предназначенные только для приема непосредственного телевидения и узкополосных видеосигналов, имеют антенны диаметром 1,8 и 2,5 м.

В диапазоне 6/4 ГГц станции стандарта В (диаметр антенн 11 м) используются в системе Eutelsat; а в качестве узловой станции, размещенной на территории Франции, задействована станция стандарта А (диаметр антенны 30 м).

На этапе развития системы (Telecom-2) дополнительно планируется применить станции с антеннами диаметрами 14,5, 8,8 и 4,8 м с добротностями приемных систем соответственно 34; 28,5 и 22 дБ/К.

В диапазоне 8/7 Гц в интересах правительственной связи и связи вооруженных сил используются станции:

стационарные с антенной диаметром 8 м, добротностью приемной системы 31 дБ, ЭИИМ  $\approx 80$  дБВт;

контейнерные с антенной диаметром 3 м, добротностью приемной системы 22 дБ/К; ЭИИМ  $\approx 74$  дБВт;

автомобильные (контейнерные) с антенной диаметром 1,3 м, добротностью приемной системы 15 дБ/К; ЭИИМ  $\approx 58$  дБВт;

корабельные с антенной диаметром 1,5 м, добротностью приемной системы 17 дБ/К; ЭИИМ  $\approx 67$  дБВт;

самолетные с антеннами, коэффициент усиления которых 33,8—34,5 дБ, добротность приемной системы 7...7,5 дБ/К.

На этапе развития системы (Telecom-2) планируется использовать стационарные станции с диаметром антенн 18 м, добротностью приемной системы 38 дБ/К.

Станции могут работать в ССС НАТО и союзных стран. Передача информации (ТФ, ТГ, ПД) обеспечивается на скоростях 75 бит/с, 2,4 кбит/с и 16 кбит/с.

Спутники системы Telecom первого поколения содержат три ретранслятора; шестиствольный ретранслятор диапазона 14/11 ГГц: пять стволов используются для деловой связи в национальных интересах и в интересах системы Eutelsat, шестой

предназначен для передачи ТВ программ с высоким качеством изображения для кабельного ТВ. (Параметры ретранслятора аналогичны параметрам ретранслятора системы Eutelsat);

четырёхствольный ретранслятор диапазона 6/4 ГГц, два из которых имеют полосы пропускания по 40 МГц и два по 120 МГц.

Бортовые приемные антенны имеют коэффициент усиления 16,7...21 дБ, добротность приемных систем ретранслятора — (9...10) дБ/К. На передачу антенны с тремя стволами имеют коэффициент усиления 22,5 дБ, а с одним стволом — 28 дБ. Передающие устройства выполнены на ЛБВ мощностью 8,5 Вт. Три ствола ретранслятора с ЭИИМ 28,5 дБВт обслуживают зону связи от Карибского моря через восточное побережье Канады, стран Западной Европы и Африки до акватории Индийского океана. Четвертый ствол имеет ЭИИМ 35 дБВт и обеспечивает связь между Францией и Гвианой. Пропускная способность одного ствола — 1000 ТФ или одна ТВ программа. План частот, МГц, стволов ретранслятора:

Прием	Передача
5945 ± 20	3720 ± 20
6040 ± 60	3815 ± 60
6135 ± 20	3910 ± 20
6360 ± 60	4135 ± 60

Двухствольный ретранслятор диапазона 8/7 ГГц с полосами пропускания по 40 МГц. Бортовые антенны на прием и передачу имеют коэффициент усиления 21 дБ, добротность приемной системы около — 9 дБ/К.

На спутнике Telescom-1 установлен маяк мощностью 500 мВт, излучающий сигнал на частоте 7,4 ГГц.

Спутники системы Telescom второго поколения содержат два ретранслятора: диапазонов 4/6 и 7/8 ГГц. Ретранслятор диапазона 4/6 ГГц имеет восемь стволов, полосы пропускания шести из них 80 МГц каждый и двух 72 МГц. Бортовые приемные антенны имеют коэффициенты усиления 21 и 34 дБ, добротности приемных систем: — 8 дБ/К и 5 дБ/К, коэффициенты усиления передающих антенн 24 и 34 дБ. План частот, МГц, стволов ретранслятора:

Прием	Передача
5925...6005	3700...3780
5975...6055	3750...3830
6025...6105	3800...3880
6075...6155	3850...3930
6128...6208	3903...3983
6181...6261	3956...4036
6271...6343	4046...4118
6353...6425	4128...4200

Ретранслятор диапазона 8/7 ГГц имеет пять стволов: один с полосой пропускания 60 МГц, три 40 МГц и один — 80 МГц. На спутнике используются три типа антенн: с коэффициентом усиления на прием и передачу 21 дБ в первом стволе, фиксированная с коэффициентом усиления на прием и передачу 37,8 дБ и перенацеливаемая с коэффициентом усиления на прием и передачу 34,8 дБ. Добротности приемных систем от — 8 дБ/К (антенна с коэффициентом усиления 21 дБ) до 5,2 и 8,2 дБ/К (соответственно антенны с коэффициентом усиления 34,8 и 37,8 дБ).

## План частот, ГГц, стволов ретранслятора:

Прием	Передача:
7,900...7,960	7,250...7,310
7,985...8,025	7,335...7,375
8,050...8,090	7,400...7,440
8,115...8,155	7,465...7,505
8,315...8,395	7,665...7,774.

## Система спутниковой связи TDF (Франция)

Система TDF предназначена для передачи ТВ программ на приемники коллективного пользования. Точка стояния спутника на ГСО  $19^\circ$  з. д. В состав земного комплекса системы входят центральная передающая и абонентские приемные станции. Диапазон используемых частот: на линии Земля—спутник: 17,3...18,1 ГГц; на линии спутник—Земля: 11,7...12,1 ГГц.

Приемные ЗС состоят из блока СВЧ диапазона, блока селекции и демодуляции и ТВ приемника. Блок СВЧ и антенна диаметром 0,6...1,5 м размещаются в месте, имеющем прямую видимость на спутник. Добротность приемной системы для антенны диаметром 0,6 м — не менее 6,5 дБ/К. На выходе преобразователя СВЧ блока выделяются сигналы УВЧ диапазона, которые распределяются на домашние ТВ приемники по кабельной сети. Блок селекции и демодуляции предназначен для выбора канала приема из общего числа принимаемых, поступающих с выхода преобразователя СВЧ блока, демодуляции сигнала, выделения звуковых и видеосигналов.

Бортовой ретранслятор содержит приемную антенну с диаграммой направленности  $0,7 \times 0,7^\circ$  (прием сигналов от центральной станции) и передающую антенну с диаграммой направленности  $2,5 \times 0,98^\circ$ . Размеры антенн  $2,4 \times 0,9$  м. Приемная антенна имеет несколько облучателей, что позволяет оптимизировать прием маяка ЗС и точнее ориентировать луч в ее направлении; ЭИИМ ретранслятора не менее 63,5 дБВт. В передающем устройстве используется ЛБВ мощностью 230 Вт; КПД ЛБВ не менее 50%. Масса ЛБВ 3 кг. В ЛБВ используются графитовые электроды и кобальто-самариевые магниты, что позволило облегчить ее массу. Мощность солнечных батарей 4,5 кВт.

## Система спутниковой связи Unisat (Великобритания)

В Великобритании в 1982 г. фирмы British Aerospace, Marconi—GES и British Telecom создали совместное предприятие United Satellites с целью создания спутниковой системы связи Unisat. Система находится в стадии окончания разработки и предназначена для передачи непосредственного ТВ вещания на страну, а также при размещении второго ретранслятора на спутнике, организации деловой связи в Западной Европе, Северной Америке в трансатлантических направлениях. Диапазон используемых частот 17/12 и 14/12 ГГц. Точка стояния спутника на орбите  $31^\circ$  з. д. В ретрансляторе деловой связи предполагается иметь до шести стволов с полосой пропускания 36 МГц.

В интересах ТВ вещания используется четыре канала с полосой пропускания каждого около 50 МГц. Ретранслятор принимает ТВ сигналы в полосе 17,3...

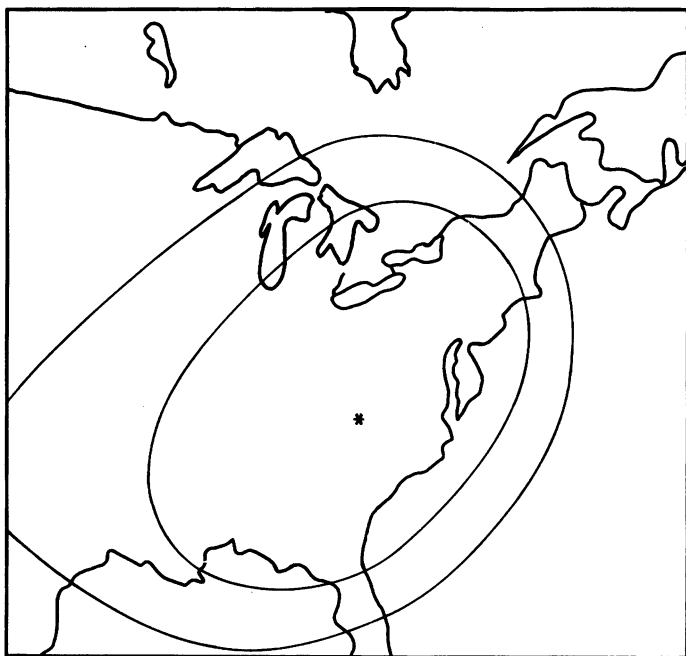


Рис. 4.24. Зона связи ИСЗ Unisat (Северная Америка).

Уровень на внутреннем контуре 3 дБ, наружном 6 дБ относительно максимума

...17,7 ГГц, передает в полосе 11,7...12,1 ГГц. Зоны связи системы приведены на рис. 4.24 и 4.25.

Сигналы принимаются на спутнике в европейских сетях деловой связи на частотах 14...14,25 ГГц, в северо-американских сетях — 14,25...14,5 ГГц, а передаются на частотах 12,5...12,75 и 11,75...12 ГГц соответственно. Мощность передатчика каждого ствола деловой связи 25 Вт, масса спутника 1600 кг. Конструктивно спутник выполнен в форме куба со стороной 2 м. Срок активного существования — 10 лет.

### Система спутниковой связи DFS/Copernicus (ФРГ)

Система создана как национальная система спутниковой связи ФРГ и должна обеспечить передачу информации в сетях деловой связи, программ телевидения, а также связь с Западным Берлином.

Работа системы обеспечивается в диапазонах 14/11 и 30/20 ГГц. В диапазоне 30/20 ГГц будут проводиться исследования, направленные на его последующее использование в системе.

Скорости передачи информации в системе 64 кбит/с, 2 и 8 Мбит/с. Скорость передачи информации с Западным Берлином планируется до 140 Мбит/с. Точки стояния спутников на орбите 23,5 и 28,5 в. д.

Многостанционный доступ — МДВР со скоростью 60 Мбит/с и ОКН. Модуляция сигналов — ДФМ, демодуляция — когерентная. В 99% времени года вероятность ошибки в каналах не более  $1 \cdot 10^{-6}$ , зона связи показана на рис. 4.26.



Рис. 4.25. Зона связи ИСЗ Unisat (Западная Европа).  
Уровень на внутреннем контуре 3 дБ, наружном 6 дБ относительно максимума

Земные станции, применяемые в системе, имеют два стандарта — А и В. На линии с Западным Берлином используются две станции стандарта А, с антенной диаметром 18 м, добротностью приемной системы 39,5 дБ/К, ЭИИМ — 85,5 дБВт.

В сети деловой связи используются станции стандарта В, с антенной диаметром 3,5 м, добротностью приемной системы 25,5 дБ/К, ЭИИМ — 72 дБВт. На первом этапе сеть деловой связи будет включать 32 станции.

Бортовой ретранслятор содержит 11 стволов, 7 из которых предназначены для деловых служб и ТВ программ. Полоса пропускания стволов 44 МГц. Прием осуществляется в нижней полосе диапазона 14 ГГц, передача — в полосе 12,5...12,75 ГГц. Поляризация — линейная и ортогональная. Четыре ствола имеют одну поляризацию, три — другую.

Для связи с Западным Берлином используются три ствола с полосой пропускания 90 МГц, расположенные в верхней части диапазона 14 ГГц. Передача осуществляется в диапазоне 11,45...11,75 ГГц, добротность приемной системы 8,9 дБ/К, ЭИИМ — 49 дБВт.



Рис. 4.26. Зона связи ИС3 DFS.  
Уровень на внутреннем контуре 3 дБ, наружном 6 дБ относительно максимума

Ствол ретранслятора диапазона 30/20 ГГц будет применяться как экспериментальный при обеспечении связи между Западным Берлином и Западной Германией.

Мощность спутника в конце срока активного существования — не менее 1500 Вт, масса на старте 1400 кг, срок службы 10 лет.

### Система спутниковой связи Norsat (Норвегия)

Для национальной системы спутниковой связи Норвегия на первом этапе арендовала часть ствола спутника Intelsat и обеспечила связь буровых нефтяных установок в Норвежском море с материком. На втором этапе в начале 90-х годов система будет создаваться на основе шестого ствола спутника ECS-F2 системы Eutelsat и комплекса земных станций. Зона обслуживания (рис. 4.27) обеспечивается западным лучом спутника.

В системе применен многостанционный доступ ОКН/МДЧР, скорость передачи от 64 кбит/с,  $n \times 64$  кбит/с до 384 и 2048 кбит/с.

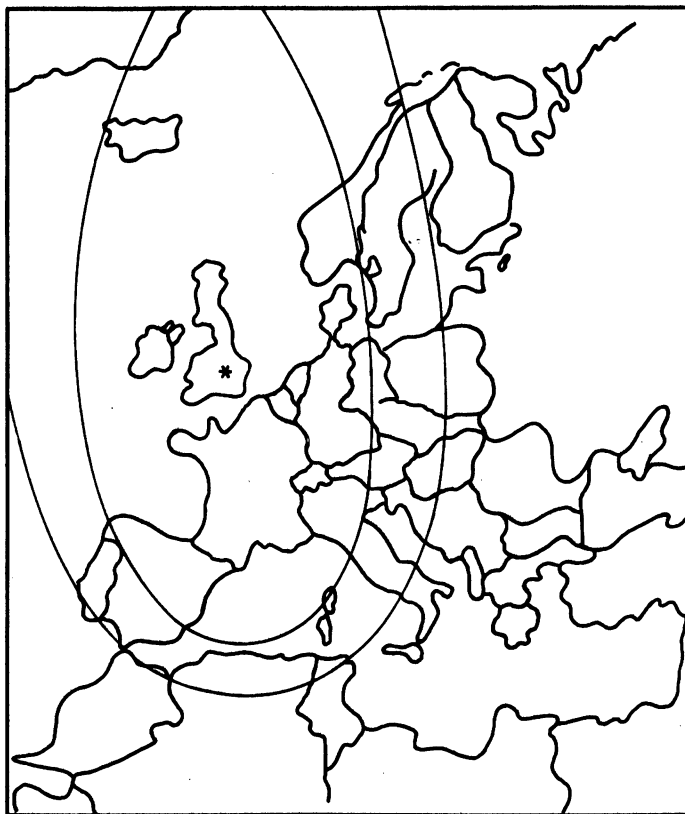


Рис. 4.27. Зоны связи ИСЗ Norsat.  
Уровень на внутреннем контуре 3 дБ, наружном 6 дБ относительно максимума

При скорости 64 кбит/с в стволе ретранслятора размещается до 1088 частотных интервалов шириной 67,5 кГц на канал. При более высоких скоростях передачи информации используются несколько интервалов (для 2048 кбит/с 32 интервала).

Общая пропускная способность системы — до 400 каналов при скорости 64 кбит/с. На начальном этапе эксплуатации системы каналы распределяются между пользователями, в последующем — предоставляются по требованию. Системой управляет главная станция, связанная с центром управления и координационным центром.

Земные станции имеют антенны диаметром 2,5...3,5 м; добротность приемной системы 25 дБ/К; ЭИИМ от 57 (при 64 кбит/с) до 72 дБВ (при 2048 кбит/с). При передаче информации сигналы могут шифроваться, используется ДФМ, прием — когерентный.

Бортовой ретранслятор имеет ствол с полосой пропускания 72 МГц; ЭИИМ на краю зоны обслуживания 42 дБВт; добротность приемной системы — 5,3 дБ/К, рабочая полоса ствола на прием  $14458,3 \pm 36$  на передачу  $11158,3 \pm 36$  МГц.

## Система спутниковой связи Italsat (ИТАЛИЯ)

Исследования по созданию национальной системы спутниковой связи в Италии ведутся с 1979 г. Система Italsat создается как единая система связи с наземной сетью и является важным шагом по пути внедрения интегральной цифровой сети. Она предназначена для общего пользования и деловых служб. В сети общего пользования система строится по иерархическому принципу. Создаются узлы связи («отделения») крупных городов с широко разветвленными сетями (до 21 узла) и узлы районных центров (до 231). Возможна связь и районных центров между собой. Общее число земных станций превышает 200.

Ожидается пропускная способность системы 40 тыс. ТФ каналов. Первоначально система создается как экспериментальная для отработки новых технических решений, принимаемых при ее проектировании. Диапазон рабочих частот 30/20 ГГц.

С целью удешевления системы предполагается иметь комплекс ЗС с небольшими антеннами. Используемый диапазон частот имеет относительно высокое затухание сигналов в атмосфере и гидрометеорах. Общая зона обслуживания страны для стволов с высокой пропускной способностью (147,456 Мбит/с) разбивается на шесть зон, которые обслуживаются остроуправленными бортовыми антеннами, позволяющими получить необходимый энергетический потенциал радиолиний. Для радиолиний с относительно малой пропускной способностью (24,576 Мбит/с) территория обслуживается одним лучом бортового ретранслятора.

Ожидаемый запас энергетического потенциала на радиолиниях в зависимости от климатических районов Италии будет находиться в пределах 4...12 дБ в диапазоне 20 ГГц и 8...20 дБ в диапазоне 30 ГГц. Рабочая точка на орбите — 13° в. д.

Зоны обслуживания остроуправленными шестилучевыми антеннами и однолучевой антенной приведены соответственно на рис. 4.28 и 4.29.

Помимо отработки вопросов построения системы и передачи информации в ней будут проводиться исследования распространения радиоволн в диапазонах 40 и 50 ГГц.

Срок активного существования спутника в системе 7 лет. Масса спутника 1650 кг. Система электропитания — солнечные батареи общей мощностью до 1450 Вт в конце срока активного существования и водородно-никелевые аккумуляторы. В период затенения спутника для питания его элементов используются аккумуляторы мощностью около 1000 Вт. Многостанционный доступ — МДВР с обработкой и без обработки сигналов на борту спутника.

В системе помимо передачи телефонной, телеграфной информации, передачи данных и факсимиле предусматривается возможность организации видеоконференций.

Земные станции предполагается иметь трех стандартов с характеристиками:

Стандарт .....	A	B	C
Диаметр антенны, м .....	5	5	3,5
ЭИИМ, дБВт .....	82	76	73
Добротность приемной системы, дБ/К .....	30,5	30,5	27,5

На спутнике размещаются два ретранслятора и передатчики — маяки. *Первый ретранслятор*, обслуживающий зону связи однолучевой антенной, имеет три рабочих ствола и один резервный с полосой пропускания каждого 40 МГц, работает на

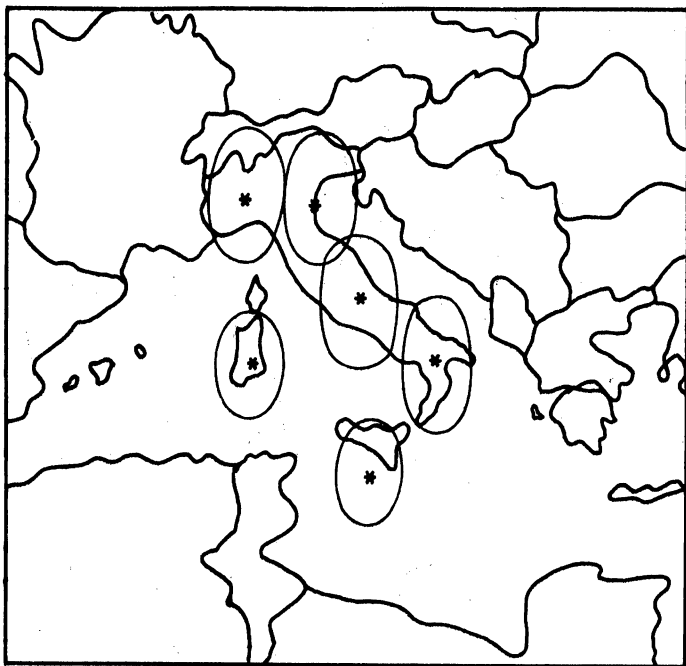


Рис. 4.28. Зона связи ИСЗ Italsat (основная сеть)  
Уровень на внутреннем контуре 3 дБ относительно максимума

антенну с диаграммой направленности  $1,8 \times 1,3^\circ$  (по уровню  $-3$  дБ). Антенна ориентируется с точностью  $\pm 0,15^\circ$ . Коэффициент усиления антенны 41 дБ. Поляризация — линейная. Добротность приемной системы около 10 дБ/К. Передающее устройство выполнено на ЛБВ мощностью 20 Вт. Масса антенны и ретранслятора 49 кг. Потребляемая мощность вне зоны тени 214 Вт; в зоне тени — 88 Вт.

План частот, МГц, стволов ретранслятора:

Прием	Передача
$29417 \pm 20$	$19720 \pm 20$
$29747 \pm 20$	$19950 \pm 20$
$29977 \pm 20$	$20180 \pm 20$

Обработка сигналов в ретрансляторе не предусматривается. Скорость передачи информации через стволы 24,576 Мбит/с в режиме МДВР с переключением стволов.

*Второй ретранслятор*, работающий на многлучевую антенну (шесть лучей), содержит шесть рабочих стволов и три резервных с полосой пропускания каждого ствола 110 МГц. Каждый ствол ретранслятора включен на «свой» луч антенны. Коммутация сигналов между стволами осуществляется в групповом тракте с помощью бортовой синхронной коммутационной матрицы.

На участке Земля — спутник информация передается пакетами. Модуляция сигналов — ДФМ. Скорость передачи информации 147,456 Мбит/с. В ретрансляторе

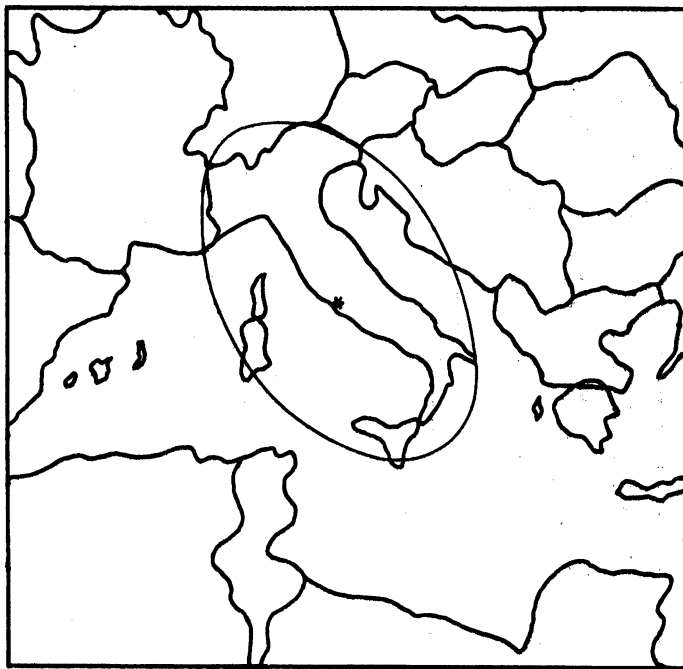


Рис. 4.29. Зона связи ИСЗ Italsat (многофункциональная служба).  
Уровень на внутреннем контуре 3 дБ относительно максимума

сигналы демодулируются, регенерируются, коммутируются, объединяются в общие групповые потоки и передаются с использованием ДФМ/ВР.

Продолжительность кадра МДВР 32 с, синхронизация будет обеспечиваться на спутнике с помощью опорного синхропакета.

Для обслуживания шести зон на спутнике размещены две многолучевые антенны диаметром 1,95 м. Каждая антенна формирует три луча с шириной диаграммы направленности около  $0,5^\circ$ . Поляризация линейная. Неточность ориентации лучей  $\pm 0,06^\circ$  с последующим повышением до  $\pm 0,03^\circ$ . Коэффициент усиления антенны в луче 49,5 дБ. Передатчики стволов выполнены на ЛБВ мощностью 20 Вт. Добротность приемной системы 20... 23 дБ/К.

Суммарная масса многолучевых антенн и ретранслятора планируется равной 159 кг. Мощность, потребляемая от источников питания, 663 Вт при освещении солнцем и 462 Вт в периоды затенения.

План частот, МГц, стволов ретранслятора:

Прием	Передача
27 610 $\pm$ 55	19 830 $\pm$ 55
29 280 $\pm$ 55	18 820 $\pm$ 55
27 940 $\pm$ 55	20 070 $\pm$ 55
28 950 $\pm$ 55	19 040 $\pm$ 55
28 270 $\pm$ 55	19 480 $\pm$ 55
28 620 $\pm$ 55	19 150 $\pm$ 55

Передатчики-маяки работают в диапазонах 40 и 50 ГГц. Каждый маяк имеет передатчик с антенной, диаграмма направленности которой составляет 3°. Мощности каждого из передатчиков 1 Вт, ЭИИМ маяка диапазона 40 ГГц  $\approx 32,7$  дБВт, а диапазона 50 ГГц — порядка 29 дБВт. Масса маяков с антенной 11 кг, а мощность потребления 43 Вт. В период затенения маяки выключаются. Рабочие частоты маяков, МГц, и полюсы излучения:

$39\,087 \pm 0,12$ ;  $39\,492 \pm 0,12$ ;  $40\,097 \pm 0,12$ ;  $49\,490 \pm 0,12$ .

На Земле сигналы маяков принимаются станциями с антеннами, имеющими коэффициент усиления 55,3 дБ и добротность приемной системы 26,4 дБ/К.

## Система спутниковой связи Tele-X (Швеция)

Экспериментальная система создана под руководством шведской корпорации по космосу при финансовой и технической поддержке Норвегии и Финляндии. Спутник разрабатывался франко-западно-германским консорциумом Eurosatellite и французской фирмой Aerospatiale. Система предназначена для обеспечения передачи программ непосредственно спутникового ТВ и радиовещания, а также коммерческой связи. В системе предусмотрено автоматическое предоставление линий связи при передаче данных на основе адресования. Скорости передачи информации: 64, 2048 кбит/с; 8, 34 и 140 Мбит/с. Созданы необслуживаемые ведомственные станции. При высоких скоростях передачи информации каналы предоставляются по предварительным заказам. Многостанционный доступ — МДЧР, метод передачи информации — ДФМ после скремблирования при скоростях до 140 Мбит/с. При низких скоростях сигнал модулируется после помехоустойчивого кодирования с исправлением ошибок на входе. Вероятность ошибки в каналах  $1 \cdot 10^{-6}$  в 99% времени наихудшего месяца. Диапазон рабочих частот 14/12 и 17/12 ГГц. Точка стояния спутника на орбите 5° в. д. Зона обслуживания приведена на рис. 4.30. Особое внимание уделяется видам услуг, требующим высокой скорости передачи информации: видеоконференции, телеобучение, телемедицина и др. Управление системой обеспечивается специальной центральной станцией. Система начала эксплуатироваться в 1988 г.

Земные станции двух стандартов с антеннами 1,5 и 2,5 м. Станции первого стандарта передают информацию со скоростью 64 и 2048 кбит/с; второго — от 2 Мбит/с и выше. Излучаемая мощность при передаче одного канала 64 кбит/с до 1 Вт, при передаче информации 2048 кбит/с — до 25 Вт, а при передаче 140 Мбит/с — до 600 Вт.

Бортовой ретранслятор включает пять стволов: три в диапазоне 17/12 и два в диапазоне 14/12 ГГц. Полосы пропускания стволов 40 (для низкоскоростной передачи информации) и 85 МГц. Антенны имеют круговую поляризацию. Добротность приемной системы в зоне обслуживания 7,6 дБ/К (по уровню диаграммы направленности бортовой антенны — 3 дБ); ЭИИМ — 52 дБВт в линейной части характеристики ЛБВ бортового передатчика. Мощность передатчика (единого на все стволы) 230 Вт. Пропускная способность ствола с полосой 85 МГц 25 каналов при 2 Мбит/м, 6 каналов при 8 Мбит/с, 2 канала при 34 Мбит/с или одному каналу при скорости 140 Мбит/с.

Мощность СЭП спутника в конце срока активного существования 3200 Вт. Срок активного функционирования 7 лет. Масса на старте 2130 кг, на орбите 1200 кг.



Рис. 4.30. Зона связи ИСЗ Tele-X.  
Уровень на внутреннем контуре 3 дБ, наружном 5 дБ относительно максимума

### Системы спутниковой связи США

Первая национальная CCC США Satcom была создана фирмой RCA. На правах аренды для обмена информацией между Аляской и метрополией США с 1974 г. использовались два ствола спутника Anic — A2 корпорации Telesat Canada. В настоящее время в США созданы, совершенствуются и разрабатываются коммерческие CCC: Satcom, Comstar, Telstar, SBS, Westar, Galaxy, Spacenet, Gstar, Supersat, ACTS и другие, число приемопередающих станций, используемых в системах, превышает 5500. Учитывая это, Федеральная комиссия США по связи (ФКС) разработала рекомендации по разносу спутников на ГСО (до  $2^\circ$ ) и утвердила орбитальные позиции спутников до 1987 г.

Согласно результатам исследований, для удовлетворения потребностей на национальный трафик к 2000 г. необходимо иметь на орбите спутники с общим ресурсом до 1000 стволов с полосой пропускания каждого 36 МГц. При этом учитывались только существующие виды услуг. Развитие и расширение видов услуг увеличит число стволов после 2000 г. до 5000 (полоса 180 ... 200 ГГц).

Дуга орбиты, наиболее благоприятная для обслуживания США, лежит в пределах  $100 \dots 140^\circ$  з. д. Для решения проблемы обеспечения национального трафика

ССС к 2000 г. предполагается использовать диапазоны частот 6/4, 14/12 и 30/20 ГГц. Во всех диапазонах планируется применять многократное использование полос частот за счет пространственного и поляризационного разносов. Специалисты США считают, что емкость спутника к 2000 г. в рассматриваемых трех диапазонах частот с учетом многократного использования полос и разноса по поляризации может быть эквивалентной 700—720 стволам с общей полосой пропускания 25 ... 30 ГГц.

Следовательно, при числе спутников на рассматриваемом участке орбиты до 10—15 национальная система может иметь до 7000—10 000 эквивалентных стволов с общей полосой пропускания 250 ... 360 ГГц при разносе между спутниками 2,5 ... 3°. Для осуществления этой проблемы необходимо решить целый ряд сложнейших вопросов по построению бортовых ретрансляторов в части обработки и коммутации сигналов на борту спутника, систем синхронизации, динамического изменения уровня излучаемой мощности стволов ретрансляторов в диапазоне 30/20 ГГц в условиях аномалии распространения радиоволн этого диапазона (ливневые дожди, снежные и пылевые бури и др.).

Система Satcom обеспечивает обмен различного рода информацией (междугородной телефонной связью общего и частного пользования, цифровыми данными, телевизионными программами кабельного телевидения, программами звукового вещания, с вводом диапазона 14/12 Гц—НТВ и др.) на всей территории США, включая Аляску и Гавайские острова.

В системе прослеживается четкое разделение трафика на коммерческую, правительственную связь, распределение программ ТВ и программ звукового вещания. Коммерческая связь обеспечивает эксплуатацию частных арендуемых каналов (ТФ и ПД до 9,6 кбит/с). Правительственная связь — ТФ, ТВ и передача высокоскоростных (от 56 кбит/с до 1,544 и 60 Мбит/с) данных, в том числе в интересах министерства обороны и других ведомств.

Служба ТВ программ и вещания обеспечивает передачу сигналов на потребителей кабельного ТВ и вещания с общим числом станций более 10 тыс. Разработчик системы — фирма RCA. Спутники системы постоянно совершенствуются. С 1982 г. спутники усовершенствованы в направлении: профилирования диаграммы направленности антенн, что позволило повысить уровень сигнала в зоне связи; повышения избирательности фильтров с целью уменьшения перекрестных помех; повышения линейности и мощности стволов ретрансляторов; замены ЛБВ на твердотельные усилители с высокой линейностью и надежностью; увеличения активного срока работы и др.

Эти и другие мероприятия позволили в 2 с лишним раза повысить пропускную способность по сравнению со спутниками первого поколения. На спутниках второго поколения в диапазоне 6/4 ГГц используются многолучевые антенны (6—7 лучей), что позволило создать более оптимальную форму луча для зоны обслуживания территории США и повысить коэффициент усиления бортовых антенн. Ретранслятор диапазона 14/12 ГГц имеет 14 рупорных облучателей, формирующих два луча — один на восточные штаты (задействовано девять облучателей), другой — на западные (задействовано пять).

В системе используется МД с частотным и временным (цифровая информация) методами разделения каналов. В ТФ каналах широко используется компандирование, за счет чего удалось повысить пропускную способность ствола до 1872 ТФ каналов. Применение метода «избыточной девиации» и снижения уровня ТФ сигнала

(до  $-22$  дБМО) повысило пропускную способность ствола до 2892 каналов (на ЗС с антенной диаметром 11 м). Использование ОБП/АМ (за счет повышения линейности стволов ретрансляторов) в системе позволит еще увеличить пропускную способность (ожидается — до 6000—7000 дуплексных ТФ каналов).

В зависимости от назначения станций в системе диаметры их антенн находятся в пределах 11 ... 2,8 м (11; 7; 5; 2,8 м).

Стандартная центральная ЗС диапазона 6/4 ГГц, работающая в сети МД с ЧРК, имеет не менее двух антенн диаметром 11 м и может обеспечить возможность одновременной работы по 24 стволам спутника. На станции используются малошумящие усилители (МШУ) с термоэлектрическим охлаждением. Добротность приемной системы станции 32 дБ/К.

В качестве передатчика используется клистрон мощностью 3 кВт. Цифровая информация до 9,6 кбит/с передается в полосе стандартного ТФ канала (0,3...3,4 кГц), а при скорости 56 кбит/с — в полосе первичной группы с полосой 48 кГц. Достоверность передаваемой информации  $10^{-6}$ ...  $10^{-7}$ . На магистральных связях при МДЧР используются станции с антеннами диаметром 5...11 м добротностью приемных систем от 22 до 30 дБ/К. Большинство ЗС необслуживаемые. На первых станциях кабельного ТВ в диапазоне 6/4 ГГц использовались антенны диаметром 10 м. После совершенствования системы антенны таких станций и антенны станций звукового вещания имеют диаметр 2,8 м и добротность приемной системы 18 дБ/К. Точки спутников на ГСО — 135, 131 и  $119^\circ$  з. д.

Системы Comsar, Telstar разработаны фирмой Comsat General Corporation. Разработчик спутников систем — фирма Hughes. Центр управления системами находится в Вашингтоне. Для управления спутниками используются три ЗС с антеннами диаметром 12 и 30 м, добротностью приемной системы 28...30 и 39 дБ/К соответственно. Совершенствование систем идет в направлении освоения диапазона частот 14/12 ГГц. Точки стояния спутников на ГСО — 128, 95 и  $87^\circ$  з. д.

Система Telstar является совершенствованием системы Comstar за счет повышения качества элементной базы бортовых систем, резервирования наиболее важных узлов спутника и ретранслятора, повышения радиационной стойкости элементов, увеличения запаса топлива и совершенствования системы ориентации. Срок активного существования спутника увеличен. В состав ретранслятора входит 30 стволов, из которых шесть — резервные. Выходные усилители мощности 18 стволов выполнены на твердом теле.

Функциональная схема ретранслятора приведена на рис. 4.31.

Для управления спутниками в систему дополнительно введена станция в г. Хаули (штат. Пенсильвания). Станция имеет антенну диаметром 13 м, передатчик мощностью 3 кВт, ЭИИМ около 87 дБВт и добротность приемной системы 30 дБ/К.

Планируется иметь третий спутник на ГСО в точке  $76^\circ$  з. д.

Другие национальные ССС США также постоянно совершенствуются с учетом спроса рынка на услуги в спутниковой связи. Широкое развитие деловой связи обеспечивается системой SBS, которая на этапе совершенствования заключила контракт с фирмой Hughes Aircraft на разработку спутников SBS — 5,6.

Дальнейшее развитие получила система Westar, решающая в космическом комплексе задачи слежения и ретрансляции данных от низколетящих ИСЗ.

Система Galaxy развивается в направлении совершенствования телепрограмм кабельного телевидения, телефонной связи, передачи данных и телеконференц-связи.

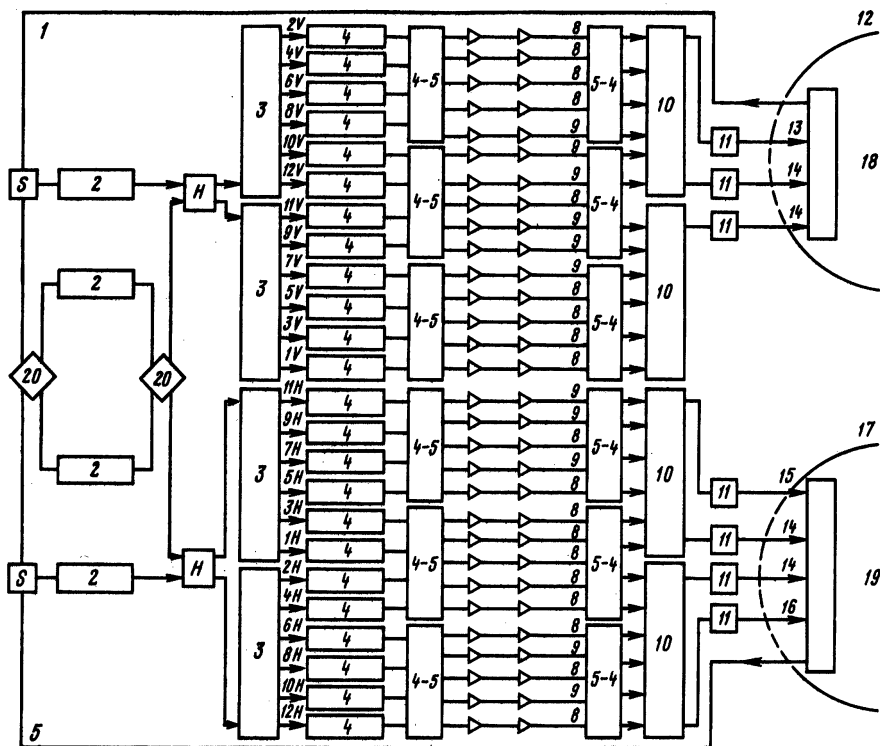


Рис. 4.31. Функциональная схема ретранслятора Telstar-3

1 — сектор сканирования на континентальной части США и Аляски; 2 — приемник; 3 — входной мультиплексор; 4 — ступенчатый аттенуатор; 5 — сектор сканирования на континентальную часть США, Гавайские острова и Пуэрто-Рико; 6 — задающий усилитель; 7 — усилитель мощности; 8 — твердотельный усилитель мощности; 9 — усилитель на ЛБВ; 10 — выходные мультиплексоры; 11 — ВЧ тракт; 12 — вертикальная поляризация; 13 — Аляска; 14 — США; 15 — сектор сканирования на Гавайские острова; 16 — сектор сканирования на Пуэрто-Рико; 17 — горизонтальная поляризация; 18, 19 — блоки облучателей; 20 — переключатели резерва; H — гибридное соединение; V — переключатели режимов работы

Создается одна из мощных CCC Supersat со спутниками Fordsat. Разрабатывается пять типов спутников различного назначения — многоцелевые и специального назначения в диапазонах 14/12 и 6/4 ГГц. Предусматривается коммутация потоков информации стволов одного диапазона в стволы другого. Первые два спутника были запущены в октябре 1987 г.

Основные параметры спутников национальных CCC приведены в табл. 4.8.

С целью полетной проверки новой технологии МЛА, коммутации и обработки сигналов на борту осваивается перспективная национальная система ACTS. Особенностью спутников данной системы является использование на борту динамической коммутации пакетов информации между стволами и лучами антенн ретранслятора.

Разработано несколько вариантов построения спутников. Спутники будут иметь МЛА с фиксированными и сканирующими лучами. Предусматривается автоматическая регулировка мощности излучения со скоростью 1 дБ/с в зависимости от вели-

чины затухания сигнала на трассе. Уровень регулировки на линии Земля—ИСЗ до 18 дБ, на линии ИСЗ—Земля—до 8 дБ. Многостанционный доступ—МДВР КБ. Коэффициент усиления бортовых антенн планируется иметь 53...56 дБ. Уровень боковых лепестков на 40 дБ ниже основного луча, а развязка между зонами повторного использования частот при разнесе на две ширины диаграммы направленности должна составлять не менее 30...40 дБ. Период облучения зоны сканирующим лучом 10...100 мс.

Все средства связи системы, включая установление трафика для каждого пакета и коммутацию на борту, контролирует главная станция управления. Коммутация на борту осуществляется через коммутационную матрицу (КМ) на промежуточной частоте или процессор групповых частот. Станция управления координирует передачу пакетов от абонентских станций, так что пакеты от каждого луча линии Земля—ИСЗ могут проходить через КМ (в режиме работы коммутации по ПЧ) одновременно для разнесения фиксированных и сканирующих излучений линии ИСЗ—Земля. Емкость коммутационной матрицы  $20 \times 20$ . Создание ее требует новой технологии, обеспечивающей допустимые массогабаритные и временные параметры, а также приемлемое потребление энергии от источника питания. Время переключения КМ около 10 нс.

В режимах использования процессора групповых частот и сканирующих лучей сигналы, принимаемые спутником, преобразуются до промежуточной частоты, поступают на процессор групповых частот, который демодулирует каждый пакет, записывает во входных ЗУ, распределяет и группирует сообщения в выходных ЗУ согласно лучу МЛА на линии ИСЗ—Земля и ЗС назначения. Допустимое время сканирования луча от одной зоны к другой менее 1 мкс.

На рис. 4.32 приведен возможный вариант структурной схемы ретранслятора.

Параметры ЗС системы ACTS в различных режимах работы приведены в табл. 4.9.

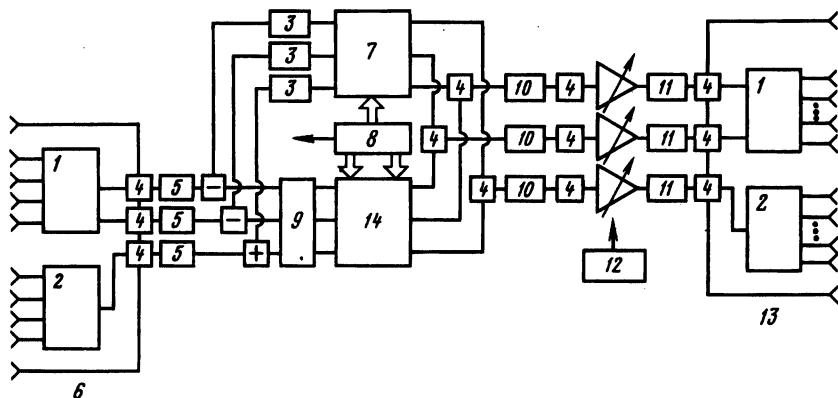


Рис. 4.32. Вариант ретранслятора спутника ACTS

1, 2—секторы сканирования; 3—АРУ; 4—переключатели режима работы; 5—малошумящий приемник; 6—приемник на частоте 30 ГГц; 7—НЧ переключатель; 8—измерительная аппаратура; 9—демультимплексор; 10—преобразователь частоты; 11—усилитель на ЛБВ; 12—регулятор мощности; 13—передатчик на частоте 20 ГГц; 14—процессор

# Параметры систем

Параметры	Национальные							
	Satcom		Comstar		Telstar	Wes		
1	2	3	4	5	6	7	8	
Год запуска первого спутника	1975	1985	1976	—	1983	1974	—	
Точки КА на ГСО, град, з. д.	119; 131; 135		128; 95; 87		97; 87	91; 99; 91;		
Диаметр спутника, м	—	—	2,36	—	—	1,94	—	
Высота спутника, м	—	—	7,32	—	—	1,56	—	
Масса спутника, кг	1100*	1800 ... 2300**	1520	—	650	585	2130	
Ракетопосилитель	Дельта,	Шаттл	Атлас — Кен-тавр		Дельта, Шаттл	Дельта	Дельта	
Мощность СЭП, Вт	800 ... 1200	2000 ... 2500	600	—	900	700	1200	
Время активного существования, лет	10	8 ... 10	10	—	10	10	10	
Диапазон частот, ГГц	6/4	14/12	6/4	14/12	6/4	6/4	6/4	
Число стволов (из них резервных)	24	16	24	—	30	24	24	
Ширина полосы ствола, МГц	(4 ... 8)	(6)	36	—	36	36	36	
Используемая полоса частот, МГц	864	864	864	—	864	—	—	
Выходная мощность ствола, Вт	8,5 ... 10	45 ... 60	5 ... 5,5	—	—	—	—	
Тип усилителя мощности	ПУМ	ЛБВ	ЛБВ	—	ПУМ, ЛБВ	—	—	
ЭИИМ ствола, дБВт	34 ... 37	45 ... 47	35 ... 37	—	—	33; 28	33; 28,2	
Добротность приемной системы, дБ/К	— 5	— 6,5	— 8,8	—	—	— 7; — 12	— 3,5; — 5	
Число лучей в антенне	2 (6 ... 7)	2	4	—	7 прд, 2 прм	2	2	
Усиление бортовых антенн в зоне связи, дБ	33	—	—	—	—	—	—	
ДНА, град	3,2 × 8,4	4,5 × 8,5	—	—	—	—	—	
Поляризация			Линейная					

\* На старте;

\*\* Для усовершенствованного спутника.

Таблица 4.8.

## спутниковой связи США

системы США

tar		SB		Galaxy	Spacent	Gstar	Syperstat (Fordsat)	ACTS
		1 ... 4	5; 6					
	9	10	11	12	13	14	15	16
	—	1980	—	1983	1984	1984	1987	1988 ... 1989
	99; 123	100; 103	—	—	120; 88,5	103, 106	—	100
	—	2,16	—	—	—	—	—	—
	—	6,6	—	—	—	—	—	—
	—	555	605	520	705	670	—	—
	Шаттл	Дельта, Шаттл	Дельта	Ариан	—	—	—	—
	—	914	1500	1000	1200 ... 1400	1400 ... 1900	3500	—
	—	7 ... 10	—	9	10	10	10	2 (экспер.)
	14/12 4	14/12 10	14	6/4 24	6/4; 14/12 18 6	14/12 16	6/4; 14/12 24 30	30/20 3
	225	43	10 × 43; 4 × 110	36	36 72	54	36	—
	—	—	—	—	1300	864	1944	—
	—	20	20 ... 40	—	—	14 × 20, 2 × 30	12 × 30, 18 × 20	20
	—	ЛБВ	—	—	ПУМ	ЛБВ	ПУМ, ЛБВ	ЛБВ
	42; 50,3	43,7	38 ... 47	20 ... 34	34 ... 36 (6/4 ГГц) 39 ... 42 (14/ 12 ГГц)	40 ... 47	—	52 ... 62 67 ... 75
	—	2; -2	-6 до +2	-(7 ... 11)	-5	-1,5	—	18; 6 (скани- руемые)
	7	4	—	—	—	—	—	—
	—	32 ... 34	—	—	—	—	—	53 ... 56
	—	—	—	—	—	—	—	0,3
	Круговая	Линейная	—	—	—	—	—	—

### Параметры ЗС системы АСТ

Параметры	Режимы работы		
	Сканирующий луч	Процессор групповых частот	Коммутационная матрица ПЧ
Диаметр антенны, м	3	5	5
Добротность приемной системы дБ/К	22	27	27
Мощность передатчика, Вт	20	20	400
Скорость передачи информации (пакетов), Мбит/с на линии:			
Земля—ИСЗ	30	120	240
ИСЗ—Земля	240	240	240
Вероятность ошибки в канале	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$

### Система спутниковой связи Telesat (Канада)

Национальная ССС Канады Telesat введена в эксплуатацию в 1972 г. Система предназначена для обеспечения связи, радиовещания и телевидения ( в том числе непосредственного ТВ) на территории страны. Число спутников Anic на орбите шесть. Координаты на ГСО 117,5; 110; 109; 108; 107,5; 104,5° з. д.

В системе используются методы многостанционного доступа: ЧРК—ЧМ, МДВР, ОКН—ЧРК. Число земных приемопередающих станций превышает 150. Планируется строительство значительного числа (возможно, несколько тысяч) станций, обеспечивающих прием программ непосредственного ТВ (НТВ) и кабельного ТВ. Пять стволов системы связи на спутнике Anic-C2 арендуется США для НТВ, а через Anic-B обеспечивается связь США с Аляской. Диапазоны частот 6/4 и 14/12 ГГц. Канада—первая страна, которая освоила диапазон частот 14/12 ГГц в ССС. Коэффициент готовности каналов в этом диапазоне с учетом влияния осадков не менее 99,95%.

На магистральных линиях связи функционируют станции с антеннами диаметром 30 м. Подобная линия построена между городами Торонто и Ванкувер.

В районах со средней нагрузкой задействовано ЗС с антеннами диаметром 8 и 10 м, обеспечивающие ТФ связь (12...60 ТФ каналов) и обмена ТВ программами; в районах с низкой нагрузкой ЗС с антеннами диаметром 4,5...8 м. Такие станции обеспечивают передачу информации по 2...24 ТФ каналам, а также прием программ ТВ. Станции с антеннами диаметром до 1,2 м используются для НТВ. Земные станции обладают достаточно высокой надежностью и многие из них не имеют резервного оборудования. Скорость передачи цифровой информации до 91 Мбит/с, данных 2,4 кбит/с. Для многократного использования выделенных полос частот применяются методы поляризационной и пространственной развязки стволов ретранслятора.

Фирмы-изготовители спутников RSA Astro Electronics (Anic-B), Hyghes Aircraft (Anic-A), Hyghes Aircraft (Anic-C) и Spar Aerospace (Anic-D). Точки стояния спутников Telesat приведены выше.

### Параметры спутников системы Telesat

Параметры	Тип спутника			
	А	В	С	Д
Год запуска первого спутника	1972	1978	1982	1982
Диаметр спутника, м	1,78	2,05	2,16	2,16
Высота спутника, м	3,4	3,28	6,43	6,57
Масса спутника на орбите, кг	270	474	550	620
Мощность системы электропитания, Вт	300	840	Колумбия 930	1000
Время активного существования, лет	7	7		10
Диапазон частот, ГГц	6...4	6...4 5,9...6,4 3,7...4,2 14...12 14...14,48 11,7...12,18	14...12	6...4
Число стволов	12	12+6	16	24
Ширина полосы ствола, МГц	36	36; 72	54	36
Используемая полоса частот, МГц	360	648	756	792
Выходная мощность ствола, Вт	5	10; 20	15	11
ЭИИМ ствола, дБВт	34	36; 46,5	48	36
Добротность приемной системы, дБ/К	-7	-6; -1	+1	-3
Число антенных лучей (диаграмма направленности бортовой антенны)	1 (2 × 8°)	1 (2 × 8°); 4 (2 × 2°)	4 (2 × 2°)	

Помимо CCC Telesat Канада разрабатывает CCC с подвижными объектами MSAT (Mobile Communication Satellite). В создании этой системы участвуют и США. Спутник будет иметь десятилучевую антенну в диапазоне 1,6/1,5 ГГц, лучи планируется ориентировать на территорию Канады и США. Спутник предполагается вывести на ГСО в точку 105,5° з. д. Используется диапазон частот 14/12 ГГц на линиях выхода на базовые (стационарные) ЗС и 1,6/1,5 ГГц для обеспечения связи мобильных абонентов. MSAT будет сопрягаться с наземной системой связи с подвижными абонентами. Рассматриваемый ранее вариант создания системы в диапазоне 800...900 МГц, вероятно, будет отвергнут.

Время активного существования спутника не менее 10 лет. Запуск спутника системы ожидается в 1992 г.

Земные станции CCC Telesat представляют собой комплекс мобильных и стационарных станций универсального и специализированного (например, только прием НТВ) назначения. Основные параметры спутников и земных станций приведены в табл. 4.10, 4.11.

### Системы спутниковой связи CSE (Япония)

Первый экспериментальный спутник связи Японии CSE был запущен в 1977 г. на ГСО в точку 135° в. д. Разработку и создание CCC ведет фирма NTT (Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation).

### Параметры земных станций Telesat

Емкость станций и вид информации	Диаметр антенны, м	Доброт- ность при- емной сис- темы, дБ/К	ЭИИМ, дБВт	Качество каналов сигнал-шум, дБ $P_{\text{от}}$	МД
1	2	3	4	5	6
Диапазон частот 6...4 ГГц					
Линии большой, средней и малой емкости, телевизионная распределительная сеть	30	37,5	—	53; $10^{-7}$ , 54 (видеока- нал)	ЧРК, МДВР
Линии средней емкости и телевизионная распределительная сеть	10	28; 31	—	50; $10^{-7}$	ЧРК, МДВР
Линии средней и малой емкости, приемные ТВ станции	8	27,5; 26; 22	—	48 (видео- канал)	ЧРК
Малоканальные линии, прием ТВ	4,5	22	—	45 (видео- канал)	ЧРК... ...ОКН
Диапазон частот 14...12 ГГц					
Передача цифровой информации (ТФ, ПД)	8	35	85...87	$10^{-11}$	МДВР
ТВ вещание	8	35	—	48...54 (видеоканал)	МДЧР... ...ЧМ
Кабельное ТВ	4,5	30	—	45...48	МДЧР... ...ЧМ
	3,5	27		(видеоканал)	
НТВ	1,8	16,5	—	40...42	МДЧР...
	1,2	13		(видеоканал)	...ЧМ
ОКН	8	35		$10^{-6}$	
	4,5	28	—	$10^{-6}$	МДЧР
	2,0	18		$10^{-5}$	

Практическое использование национальной ССС началось в 1983 г., когда был запущен первый спутник CS-2. Система предназначена для передачи телефонной и телеграфной информации, передачи данных в ТВ программ. Кроме того, ССС используется в интересах национального полицейского управления (один ствол) и Управлений пожарной безопасности и японских национальных дорог, компаний производства электроэнергии и министерств строительства, почт и связи (второй ствол). Остальные стволы спутников используются фирмой NTT.

Информация передается в цифровом виде методом МДВР и ЧРК с ОКН. Впервые в мировой практике создания ССС использован диапазон частот 30/20 ГГц, кроме него, применяется диапазон 6/4 ГГц. Система обслуживает территорию Японии.

Стационарные ЗС диапазона 30/20 ГГц используются для связи региональных центров телефонной сети общего пользования и обеспечивают обмен ТФ и ТВ сигналами между этими центрами, а также служат базовыми для связи с транспор-

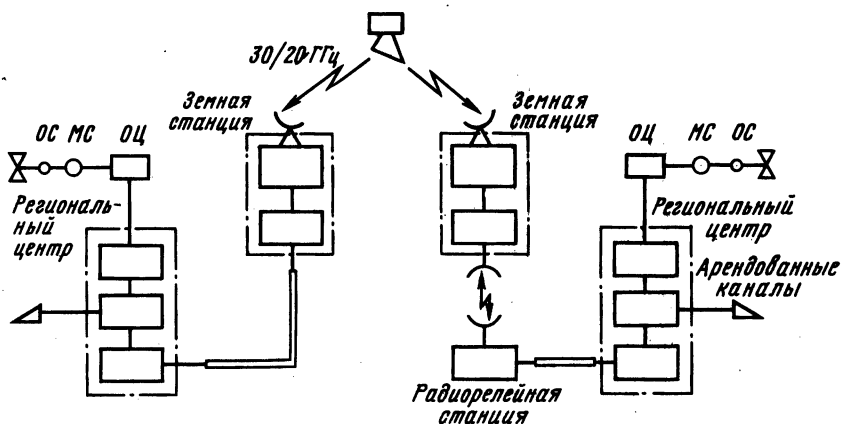


Рис. 4.33. Организация связи между региональными центрами

тируемые ЗС. Стационарные ЗС диапазона 6/4 ГГц обеспечивают связь между местными системами связи и коммутации, расположенными на удаленных островах, и междугородными транзитными станциями, расположенными на о. Окинава. Они также являются базовыми для связи с транспортируемыми станциями этого диапазона. Для восстановления связи при стихийных бедствиях привлекаются транспортируемые станции диапазонов 30/20 и 6/4 ГГц.

Схема организации связи между региональными центрами приведена на рис. 4.33.

Характерной особенностью линий спутниковой связи диапазона 30/20 ГГц является повышенное затухание сигналов при дожде.

Засветка антенн ЗС Солнцем в системе может приводить к перерыву связи от 3 до 6 мин. Точки стояния спутников серий CS и CSE в 1986 г. на ГСО — 132; 135; 136 и 150° в. д.

Дальнейшее развитие системы идет в направлении ее совершенствования и перехода от спутников CS-2 к спутникам CS-3 и CS-4 (1991 г.), которые обеспечат большую пропускную способность и срок активного существования.

Помимо СССР разработаны спутники радиовещания и НТВ серии BS-2, 3 и BSE, работающие в диапазоне частот 2 и 14/12 ГГц. Система НТВ обеспечивает ТВ вещанием основную часть (малые острова) и горные районы страны на ЗС с антеннами 1,6 м. Создается международная СССР в диапазонах 6/4 и 14/12 ГГц.

Земные станции включают комплекс стационарных и транспортабельных, перевозимых на автомашине или вертолете ЗС. Ошибка слежения антенны ЗС диаметром 11,5 м в диапазоне 30/20 ГГц менее 0,01°.

Система слежения — моноимпульсная на высших модах. Малошумящий усилитель выполнен на параметрическом усилителе и имеет полосу пропускания 1,8 ГГц. Усилитель мощности передатчика, выполненный на перестраиваемом клистроне, имеет полосу пропускания 130 МГц, а диапазон перестройки 1,5 ГГц. В состав станции входят четыре рабочих и один резервный усилители мощности, настроенные каждый на «свой» ствол ретранслятора. Усилитель мощности настраивается автоматически от микропроцессорного управляющего устройства.

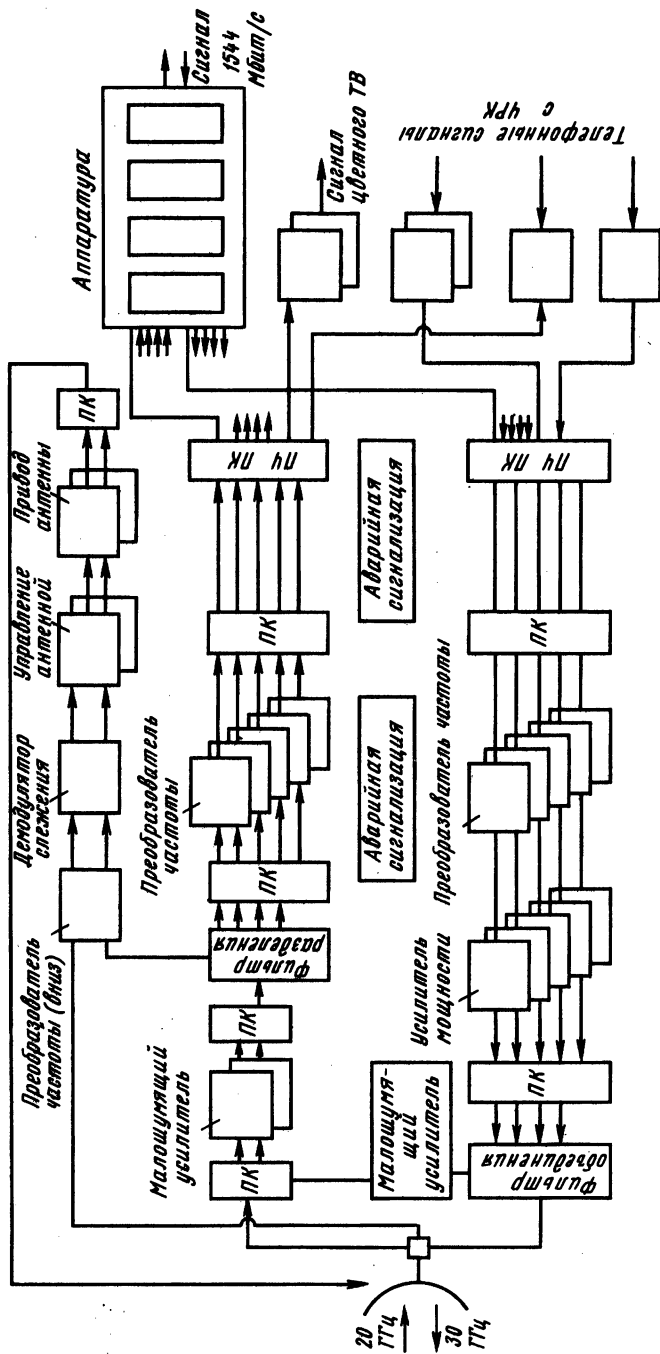


Рис. 4.34. Структурная схема стационарной земной станции:  
*ПК* — переключатель каналов; *ПЧ ПК* — переключатель промежуточной частоты

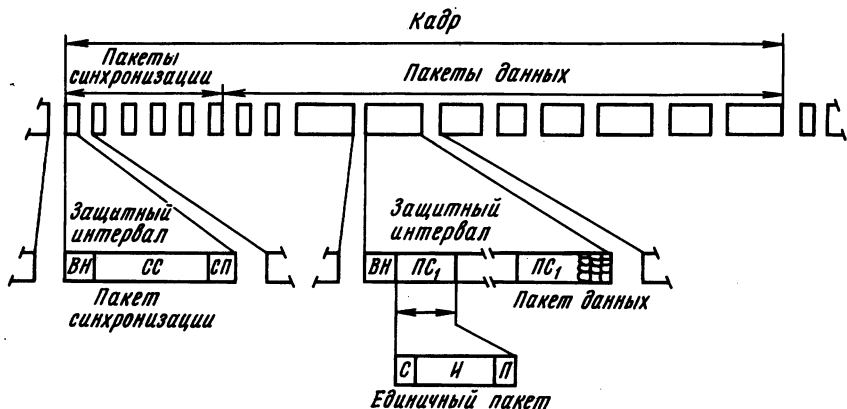


Рис. 4.35. Формат кадра сигнала МДВР:

ВН—код восстановления несущей; СС—система синхронизации; СП—синхропакет; ПС<sub>1</sub>—единичный пакет; С—биты стаффинга; И—информационный бит; П—переменный бит

Структурная схема стационарной ЗС приведена на рис. 4.34, а формат кадра сигнала МДВР показан на рис. 4.35.

Тактовые частоты МДВР— 65 и 112 МГц; пропускная способность— 20 дуплексных потоков по 1,544 Мбит/с ( $24 \times 20 = 480$  ТФ каналов).

Кадр состоит из восьми пакетов синхронизации и восьми пакетов данных. Сигналы контроля, управления и служебный сигнал передаются в составе пакетов синхронизации. Земные станции выбирают те части сигнала (полного кадра), которые адресованы данной станции.

Пакет данных содержит код для восстановления несущей, единичных пакетов (биты информации и биты стаффинга), коды передающей станции и пилот-сигнала. Число единичных пакетов в каждом пакете данных меняется в соответствии с выделенной пропускной способностью в системе МДВР.

Бортовой ретранслятор спутника CS-2 содержит шесть стволов диапазона 30/20 ГГц. В ретрансляторе предусмотрена возможность четырехступенчатого изменения коэффициента усиления с целью увеличения пропускной способности и устойчивости связи при дожде на трассах.

Центральные частоты, ГГц, стволов ретранслятора спутника CS-2:

на линии Земля—спутник:  $27,625 \pm 0,065$ ;  $27,865 \pm 0,065$ ;  $28,105 \pm 0,065$ ;  $28,465 \pm 0,065$ ;  $28,705 \pm 0,065$ ;  $28,945 \pm 0,065$ ;

на линии спутник—Земля:  $17,825 \pm 0,065$ ;  $18,065 \pm 0,065$ ;  $18,305 \pm 0,065$ ;  $18,665 \pm 0,065$ ;  $18,905 \pm 0,065$ ;  $19,145 \pm 0,065$ ; маяк—19,450.

Командная и телеметрическая информация передается в диапазоне 6/4 ГГц (6,045; 6,305; 3,820; 4,080).

Следующим этапом совершенствования ССС Японии является создание спутников CS-3 и CS-4. Структурная схема ретранслятора спутника CS-3 приведена на рис. 4.36. Передатчики стволов диапазона 30/20 ГГц выполнены на ЛБВ, а диапазона 6/4 ГГц—на транзисторах.

Основные параметры спутников и земных станций ССС Японии приведены в табл. 4.12 и 4.13.

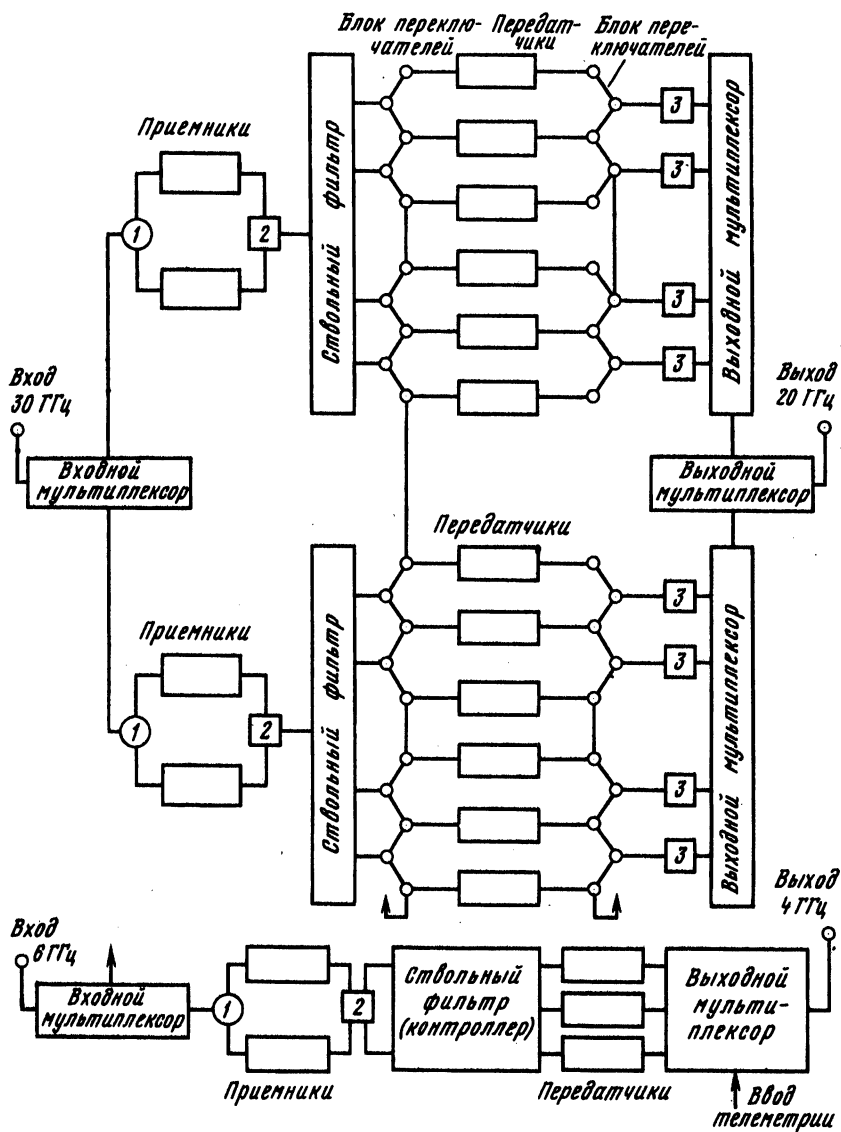


Рис. 4.36. Структурная схема ретранслятора спутника CS-3  
1 — входной переключатель; 2 — гибридное соединение; 3 — контроль мощности

Таблица 4.12.

## Параметры спутников Японии

Параметры	Типы спутников национальных спутниковых систем связи				
	НССС			НТВ	
	CS-2	CS-3	CS-4	BS-2	BS-3
1	2	3	4	5	6
Год запуска первого спутника *	1983	1988	1991...1994	1984	1988
Точка КА на ГСО, град. в. д.	132, 136, 135, 150			110	
Диаметр спутника, м	2,18	—	—	—	—
Высота спутника, м	3,29	—	—	—	—
Масса спутника, кг	670	1080	2000	675	—
Ракетоноситель	N-П	H-1	H-П	—	—
Мощность СЭП, Вт	400	800	—	870	—
Время активного существования, лет	3...5	7	—	5	—
Диапазон частот, ГГц	6...4	30...20	—	2; 14...12	—
Число стволов:	2	3; 10;	60...70	2	3
из них резервных	6 (ММВ)	(ММВ)	—	—	1
Ширина полосы ствола, МГц	—	1; 2	—	—	—
Используемая полоса частот МГц	180, 130	(ММВ)	—	50; 80	—
Выходная мощность ствола, Вт	1140	1660...1920	—	130	—
Тип усилителя мощности	3; 2,5	6; 5 (ММВ)	—	100	—
ЭИИМ ствола, дБВт	ПУМ;	ЛБВ	—	—	—
Добротность приемной системы, дБ/К	29,5;	31...38	—	46...55	—
Число лучей в антенне	(ММВ)	(ММВ)	—	—	—
Усиление бортовых антенн в зоне связи, дБ	—6; —3,8	—4,6; —1,2	—	—	—
Диаграмма направленности антенны, град	1	1	20...30	—	—
Поляризация	25; 27... 33 (ММВ)	—	—	—	—
Зона обслуживания	5; 2,5... 3 (ММВ)	—	—	1...3	—
	Круговая	Япония	Япония	Япония	—
	6...4 ГГц	—	—	—	—
	30...20 ГГц	—	—	—	—
	о. Окинава	—	—	—	—

\* Первый экспериментальный спутник CSE был запущен в 1977 г., а экспериментальный спутник BSE в 1978 г.

## Параметры земных

Тип станции	Диапазон, ГГц	Диаметр антенны, м	Добротность приемной системы, дБ/К	ЭИИМ, дБВт
Стационарные НТТ	30...20 6...4	11,5 11,5	41 33	91...92 80...81
Транспортируемые НТТ	30...20 6...4	2,7 3	27 18	79 67
Полицейское управление:				
тип А	30...20	3	28	69
тип В	30...20	3	28	69 ТФ
Полицейское управление общего назначения	30...20	5	33...34	80 ТФ 72...73

## Система спутниковой связи Arabsat (арабские страны)

Лигой арабских стран в 1976 г. создана организация, целью которой являлось создание региональной ССС. В организацию входят 22 страны. Штаб-квартира размещается в г. Эр Рияд (Саудовская Аравия).

Управление системой обеспечивают Генеральная ассамблея (министры администраций связи арабских стран), Совет директоров и Исполнительный комитет, возглавляемый генеральным директором.

Система предназначена для передачи ТФ, ТГ информации, ПД, национального и регионального ТВ, радиовещания и общеарабской ТВ программы. Система работает в полосах частот 5925 ... 6425 МГц на линии Земля—спутник и 3700 ... 4200 МГц на линии спутник—Земля. Программа общеарабского ТВ передается на линии спутник—Земля в полосах частот  $2560 \pm 16,5$  МГц и  $2634,5 \pm 16,5$  МГц. Точки стояния спутников на ГСО 19, 26 и  $31^\circ$  в. д.

Способ МД—МДЧР и ОКН—МДЧР. Модуляция частотная.

Параметры Земных станций, используемых в системе, приведены в табл. 4.14.

Таблица 4.14.

### Параметры земных станций

Тип ЗС	Диаметр антенны, м	Добротность приемной системы, дБ/К	ЭИИМ, дБВт	Рабочий диапазон, ГГц	Поляризация
Стационарная многофункциональная	11	30		6...4	Круговая
Передвижная	1,6	7,5		2,5	
Приема ТВ соседних стран	4,5	22		4	
Приема программ общеарабского ТВ	3,5	14		2,5	

## станций ССС Японии

Тип станции	Мощность передатчика, Вт	Пропускная способность ТФ, ТВ	Скорость передачи информации, Мбит/с
Стационарные NTT	300 (клистрон) 450 (ЛБВ)	480 ТФ 192...672 ТФ и 2...0 ТВ	65, 112 109, 27
Транспортируемые NTT	200 (клистрон) 400 (ЛБВ)	132 ТФ или 1 ТВ 132 ТФ или 1 ТВ	— —
Полицейское управление: тип А тип В	20 ТФ, ТВ 20 ТФ 300 ТВ	10 ТФ или 1 ТВ	—
Полицейское управление общего назначения	20	—	—

Бортовой ретранслятор содержит 25 стволов с повторным использованием частот в диапазоне 6/4 ГГц и два ствола в диапазоне 2,5 ГГц. Коэффициент усиления бортовых антенн в диапазоне 6/4 ГГц на прием и передачу 27 дБ. Бортовая передающая антенна диапазона 2,5 ГГц имеет коэффициент усиления 25,4 дБ. Добротность приемной системы ретранслятора — 3 дБ/К, ЭИИМ ствола в диапазоне 4 ГГц около 31 дБВт. Развязка между стволами, при использовании одинаковых полос частот порядка 30 дБ.

## Система спутниковой связи Aussat (Австралия)

Система спутниковой связи предназначена для обеспечения телевизионного и радиовещания, передачи данных, телефонной и телеграфной связи на территории Австралии и Новой Гвинеи.

Точки стояния спутников на ГСО — 156, 160 и 164° в. д.

Парк земных станций состоит из стационарных и подвижных станций с антеннами диаметром от 18 до 1,2 м. В системе развернуто до 65 стационарных и несколько подвижных станций.

Основные параметры спутника:

Год запуска первого спутника .....	1985
Точки КА на ГСО, град .....	156, 160 и 164 в. д.
Масса спутника на орбите, кг .....	650
Ракетоноситель .....	«Шаттл», «Ариан»
Мощность СЭП, Вт .....	1050
Время активного существования, лет .....	7 ... 10
Диапазон частот, ГГц .....	14 ... 12
Число стволов .....	15
из них резервных .....	2
Ширина полосы ствола, МГц .....	45
Используемая полоса частот, МГц .....	675
Выходная мощность ствола, Вт .....	11 стволов по 12 Вт; 4 ствола по 30 Вт
Тип усилителя мощности .....	ЛБВ

ЭИИМ ствола, дБВт .....	40; 45; 47 — стволов по 30 Вт; 36 стволов по 12 Вт
Число лучей в антенне .....	7 (2 перекрывают континентальную часть страны; 1 обслуживает Новую Гвинею 4 — используются для зонального обслуживания)
Поляризация .....	Линейная (8 стволов принимают сигналы горизонтальной, 7 — вертикальной поляризации, передают — обратную)
Точность удержания антенны спутника, град .....	$\pm 0,05$
Зона обслуживания .....	Австралия, Новая Гвинея

## Системы спутниковой связи развивающихся стран

Национальные системы спутниковой связи развивающихся стран в настоящее время создаются в основном в диапазоне 6/4 ГГц. Начинают осваиваться диапазоны 14/12 ГГц и 17/12 ГГц. Спутники этих систем разрабатываются, как правило, многофункциональными (Insat — Индия, STW, Chinasat — Китай, Palapa — Индонезия, SBTS — Бразилия, Illuicahua — Мексика, STSC — Куба, Afsat — франкоязычные страны Африки, Lohreh — Иран и др.).

Создание и развитие этих систем идет в направлении усложнения бортовых комплексов спутников, повышения их энергетического потенциала, увеличения ствольности, использования дешевых земных станций с малыми антеннами, особенно в сетях НТВ. В настоящее время функционируют или заявлены около 300 спутников на ГСО. Осваиваются новые орбиты для СССР различного назначения.

## 4.4. Военные системы спутниковой связи

### Особенности систем

Системы спутниковой связи в интересах вооруженных сил в капиталистических государствах, прежде всего в США, начали разрабатываться в 60-х годах. К настоящему времени накоплен значительный опыт эксплуатации СССР и сложились определенные взгляды на их использование в целях управления вооруженными силами.

Основные преимущества таких систем:

оперативное развертывание и обеспечение связи через моря, пустыни, горы, территории, занятые противником;

малая зависимость связи от времени года, суток, атмосферных помех, ядерных взрывов (особенно в диапазонах СМВ и ММВ);

оперативность восстановления связи на основных направлениях при поражении наземной сети связи на ТВД;

возможность иметь малогабаритные станции для обеспечения связи практически на любые расстояния, уменьшение численности личного состава и др.

Серьезный недостаток СССР — возможность физического уничтожения спутников, организация преднамеренных помех и недостаточная скрытность передач.

По мнению американских специалистов, СССР по своим тактико-экономическим возможностям являются основным средством стратегической связи в единой авто-

матизированной системе управления войсками. Так же положительно был решен вопрос и о применении СССР в тактическом звене и управлении ядерными силами.

Специализированные военные СССР строятся, как правило, на единых спутниках для ВВС, ВМС и СВ и разработке «своего» парка ЗС. Основные требования к военным СССР: управление войсками и оружием в любой точке земного шара, в том числе и районов, занятых противником;

обеспечение высокой живучести спутников на орбите и помехозащищенности каналов связи при воздействии средств радиоэлектронной борьбы;

допуск неэффективного использования полос частот и пропускной способности ретрансляторов в интересах выполнения требований по устойчивости связи и управления;

обеспечение многостанционного доступа большого числа мобильных ЗС (в том числе самолетных и корабельных) с относительно малой канальностью в условиях воздействия преднамеренных помех;

обеспечение скрытности передачи информации и защиты системы от дезорганизации ее работы со стороны противника и др.

По мере развития и совершенствования военных СССР взгляды, в частности, на эффективность использования ресурса полос частот, пропускной способности, экономической эффективности этих систем пересматривались в сторону ужесточения.

В настоящее время вооруженные силы капиталистических государств широко используют на правах аренды коммерческие СССР, а некоторые страны, например Франция, создают системы коммерческого и военного назначения, размещая ретрансляторы на одних и тех же спутниках.

Вооруженные силы США, НАТО, Англии, Франции, Италии помимо аренды каналов коммерческих СССР создали, совершенствуют и разрабатывают новые специализированные СССР вооруженных сил: NATO, DSCS, Flitsatcom, Leasat, Afsatcom, Milstar, Sicral, Scynet и др.

## Система спутниковой связи НАТО (НАТО)

Система предназначена для управления вооруженными силами НАТО стран Западной Европы и значительной части района Атлантического океана и обеспечивает связь высшего военного руководства блока НАТО с командованием объединенных и национальных вооруженных сил стран НАТО.

Работы по созданию СССР НАТО начались в 1966 г. Первый спутник запущен в 1970 г. Система сопрягается с военными СССР Великобритании и США. На 1986 г. в систему входили спутники третьего поколения НАТО-3, 21 стационарная и несколько подвижных ЗС, два центра управления — основной и резервный. Стационарные станции установлены в странах НАТО, мобильные используются для обслуживания командования НАТО при их перемещении со стационарных пунктов управления. Спутники НАТО-3 разрабатывались фирмой Ford Aerospace Communications Corp. запуск спутника НАТО-3Д осуществлен в 1984 г.

Система работает в режимах цифровой передачи информации с временным уплотнением каналов. Используется четырехпозиционная фазовая модуляция, многостанционный доступ ЧРК.

Пропускная способность около 682 ТФ (32 кбит/с), 400 ТТ каналов и около 200 среднескоростных каналов передачи данных. Система работает в диапазоне 8/7 ГГц.

Таблица 4.15.

### Параметры спутников системы NATO

Параметры	NATO-1, 2	NATO-3
Год запуска первого спутника	1970, 1971	1976
Точки стояния на ГСО, град. з. д.	23	136, 50, 18
Диаметр спутника, м	1,37	2,18
Высота спутника, м	0,81	2,18
Масса спутника на орбите, кг	130	340
Ракетоноситель	Тор-Дельта	Тор-Дельта
Мощность СЭП, Вт	—	400
Время активного существования, лет	5	7
Диапазон частот, ГГц	8/7	8/7
Число стволов	2	3
Ширина полосы ствола, МГц	50	17; 50; 85
Используемая полоса частот, МГц	50	152
Выходная мощность ствола, Вт	3,3	
ЭИИМ ствола, дБВт	20...22	37...37, 2 — 1-й ствол; 31,1...32,2 — 2-й ствол; 36,7...36,9 — 3-й ствол
Добротность приемной системы, дБ/К	—(16...18)	—(1...3)
Коэффициент усиления антенны, дБ		
на прием	17,5	29
на передачу	17,5	29 и 35

Управление CCC NATO-3 осуществляется специальной подсистемой, обеспечивающей централизованное управление:

- общей излучаемой мощностью ЗС;
- излучаемой мощностью и скоростью передачи несущей;
- числом каналов, организованных на одной несущей.

Подсистема управления автоматически принимает информацию управления от каждой ЗС, сравнивает ее с базой данных, хранящихся в ЭВМ, и формирует соответствующие команды управления.

Оба центра управления через каждые 2 с получают от всех станций и спутников данные о состоянии аппаратуры и о работе линий связи. С таким же интервалом эти центры передают команды управления мощностью несущих и конфигураций трафика в сети ЗС. Автоматизированная система управления позволяет существенно повышать эффективность системы связи.

Параметры спутников NATO приведены в табл. 4.15, зона обслуживания системы NATO-3 на рис. 4.37, а функциональная схема ретранслятора спутника NATO на рис. 4.38.

Ведутся работы по совершенствованию системы третьего поколения. Усовершенствованная система NATO-4 будет иметь пропускную способность до 4000 ТФ каналов и более высокие энергетические потенциалы радиолиний.

Земные станции помимо приемопередающей аппаратуры содержат многофункциональную систему автоматизированного управления и контроля. Эта система собирает информацию о состоянии аппаратуры, каналов связи, излучаемой и принимаемой мощности сигналов, обрабатывает ее, выдает на рабочее место оператора и обменивается управляющей информацией с центрами управления системой. В за-

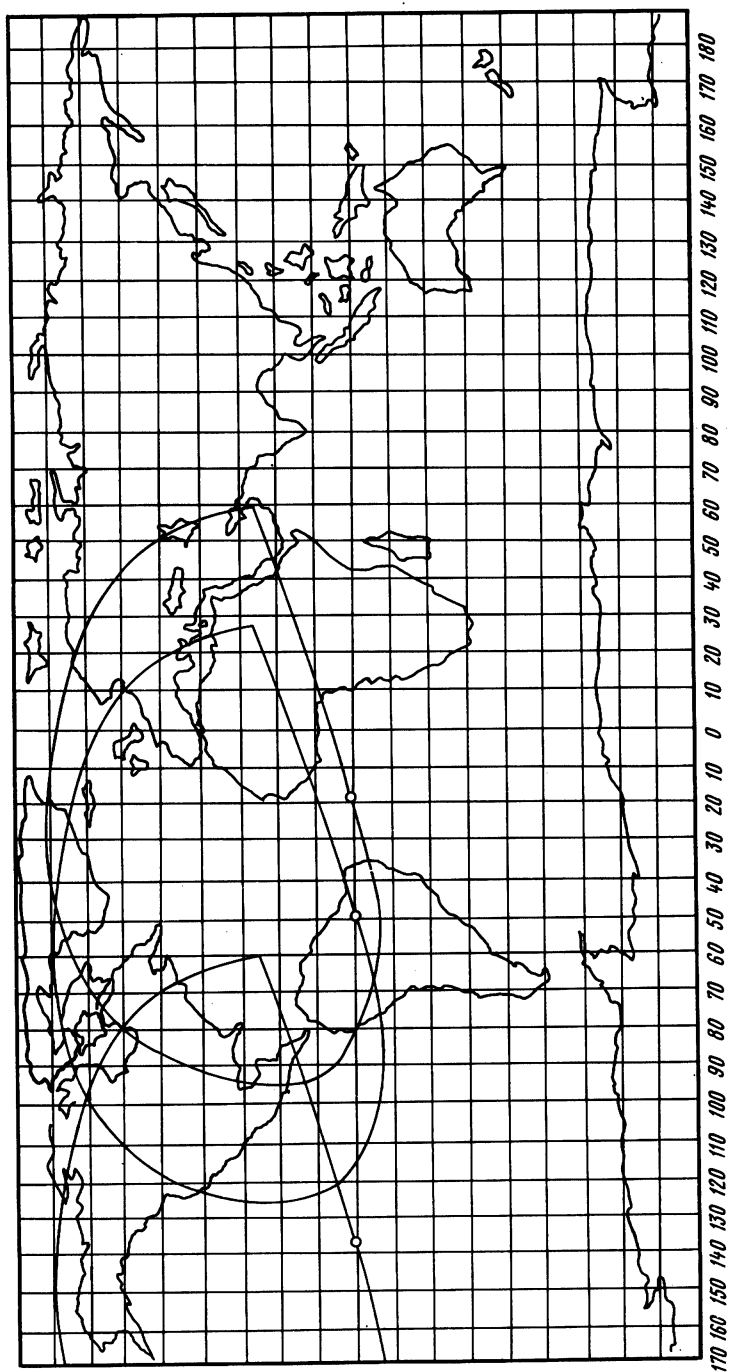


Рис. 4.37. Зона обслуживания системы NATO-3

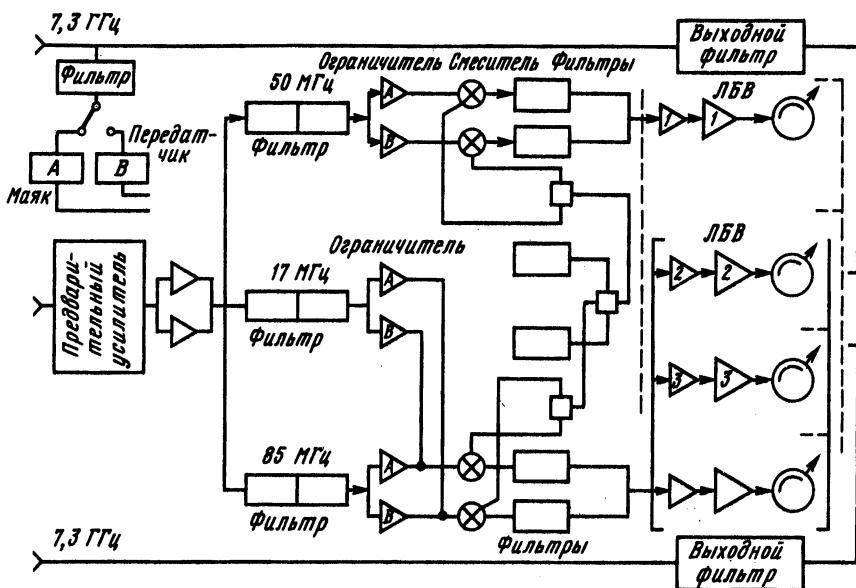


Рис. 4.38. Функциональная схема спутника NATO-3

поминающем устройстве ЗС хранится несколько вариантов схем организации связи, которые используются в зависимости от оперативной обстановки. Станции работают в цифровом режиме.

В парк стационарных ЗС входят как модернизированные ранее разработанные, так и новые станции. Диаметры антенн этих станций соответственно 12,8 и 14,2; мощность передатчика 5 кВт; ЭИИМ 94...95 дБВт, добротность приемной системы 34 дБ/К. Мобильные станции имеют антенны диаметром 6,4 м, ЭИИМ — 86...88 дБВт, добротность приемной системы 27 дБ/К.

Стволы с полосой пропускания 17 и 85 МГц используются в европейской зоне; ствол с полосой 50 МГц используется во всей зоне обслуживания.

## Система спутниковой связи DSCS (США)

Спутниковая система DSCS является основной системой глобальной связи МО США и отдельных правительственных учреждений. Основной задачей системы DSCS является предоставление телефонных и других каналов для военных и правительственных операций США за их пределами. Она обеспечивает надежную связь для стационарных баз, а также мобильных абонентов стратегического и тактического звеньев управления. В целом CCC DSCS отвечает потребности в связи глобальной системы оперативного управления ВС США, военно-политического руководства, наземных мобильных сил, системы дипломатической связи, системы связи МО страны и союзников.

Абоненты системы DSCS имеют приоритет:

президент и военно-политическое руководство; комитет начальников штабов; объединенное и специальное командование; другие управления МО, а также страны НАТО.

Система DSCS создавалась и модернизируется в интересах трех родов войск и правительственных учреждений. Управление связи МО США отвечает за общее управление программой и принципами построения системы.

В системе к 1986 г. было около 400 ЗС. Наибольшее их число используется в тактическом звене и связано с программой мобильных наземных сил, где СВ, ВВС и корпус морской пехоты могут использовать до 200 ЗС.

В системе DSCS-2 было изготовлено 16 спутников, два из которых запущены на ГСО совместно со спутниками DSCS-3. Система содержит на орбите четыре рабочих спутника и до трех резервных.

Многостанционный доступ в системе DSCS-2 с ЧПК и КПК, в DSCS-3 ЧПК, КПК и ВПК.

Система DSCS-3 является определяющей CCC МО в 80-х и начала 90-х годов. Она полностью переводится на цифровые каналы со скоростью 2,4; 4,8; 16; 32 и 48 бит/с. Основной рабочий диапазон частот 8/7 ГГц.

На ИСЗ дополнительно размещен ствол ДЦВ диапазона 0,4/0,2 ГГц в интересах системы Afsatcom. Обсуждаются вопросы возможности и целесообразности развития системы в диапазоне 7...14 ГГц. По мнению специалистов США, это позволит существенно повысить помехозащищенность каналов связи системы, а при необходимости и использовать спутники коммерческих систем в диапазоне 14/11 ГГц.

Земные станции в зависимости от диаметра антенны делятся на: большие (18,3), средние (12,2 м) и малые (6,1 м), а по назначению на станции стратегического и тактического звеньев управления.

В табл. 4.16 приведены параметры СМВ станций (8/7 ГГц) наземного базирования системы DSCS.

Для повышения помехозащиты каналов в системе используются методы псевдошумовой модуляции, аппаратура помехозащиты AN/USC-28 со случайным законом перестройки частоты (ППРЧ). Уровень помехозащиты до 28 дБ при скорости передачи информации в канале 2,4 кбит/с.

При работе на несколько направлений узловыми ЗС стратегического звена обеспечивается одновременная передача до 9 и прием до 15 отдельных несущих частот (ЗС AN/FSC-78, AN/GSC-39, AN/TSC-85), а тактического звена — по нескольким направлениям ЗС AN/TSC-85А обеспечивает одновременную связь с четырьмя станциями AN/TSC-93А.

Корабельными станциями диапазона сантиметровых волн CCC DSCS являются станции AN/WSC-2 и AN/WSC-6.

В состав станции AN/WSC-2 входит модем OM-55/WSC-2, обеспечивающий работу в режимах МДВПК или МДКПК. Станция AN/WSC-2 имеет две модификации и предназначена для использования на крупных (с антенной диаметром 2,4 м) и малых (с антенной диаметром 1,2 м) надводных кораблях. Добротность приемных систем станций 17 и 12 дБ/К, а ЭИИМ — 76 и 68 дБВт соответственно. Число телефонных и телеграфных каналов по шесть для станций с антенной диаметром 2,4 и по три для станций с антенной диаметром 1,2 м. Станция не получила широкого распространения из-за больших габаритных характеристик.

Более совершенной станцией является станция AN/WSC-6 с антенной диаметром 1,2 м, добротностью приемной системы 11 дБ/К и ЭИИМ 75 дБВт.

Параметры СМВ станций (8/7 ГГц) наземного базирования системы DSCS.

Типы станций	Параметры								
	Число ТФ каналов	Диаметр антенны, м	Мощность передатчи- ка, кВт	ЭИИМ, дБВт	Г/Т, дБ/К	Транспортное средство	Мощность питания, кВт	Обслужи- вающий персонал, чел.	Число ЗС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЗС стратегического звена									
AN/FSC-9	48	18,3	20	98	37	Стационарная	—	—	2
AN/FSC-78	12...60	18,3	10	97	39	Полустационарная	—	—	23 до 43
AN/FSC-79	—	18,3	10	97	—	Полустационарная	—	—	—
AN/MSC-46	36	12	3	87	33,5	Полустационарная (4 ва- гона)	—	—	14
AN/MSC-61 *	—	11,5	20	86	33	—	—	—	—
AN/GSC-39/V/2	12	11,6	5	89...92	34	Полустационарная (раз- вертывание 7—10 дн)	—	—	21
AN/GSC-39/V/1	12	11,6	5	89...92	34	Стационарная	—	—	—
AN/TSC-54	9	6,4	5	87	26,5	Полустационарная (раз- вертывание 2 ч)	40	6	—
AN/GSC-49	—	2,4; 6,1	—	—	17,25	Контейнер S-280 и стаци- онарная	60	—	39
AN/TSC-86**	До 96	2,4; 6,1	1	70, 78	17, 25	Контейнер S-280 3 авто по 2,5 т	2 × 30	2	—
SCT-8/18	8	2,4; 5,5	1	68,5 73,4	18...20 24...26	Стационарная	—	—	—
SCT-35	—	10	3	88	32...35	Полустационарная	—	—	—

Типы станций	Параметры								
	Число ТФ каналов	Диаметр антенны, м	Мощность передачи- ка, кВт	ЭИМ, дБВт	Г/Т, дБ/К	Транспортное средство	Мощность питания, кВт	Обслужи- вающий персонал, чел.	Число ЗС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЗС тактического звена									
AN/TSC-85A (CB)	До 96	2,4; 6,1	0,5	70, 78	17, 25	Контейнер S-250	—	2	7
AN/TSC-93A (CB)	До 24	2,4	0,5	70	17	Контейнер S-250	—	3...4	18
AN/TSC-94A-V1 (BBC)	До 24	2,4	0,5	70	17	Контейнер S-250	—	2	68
AN/TSC-100A- -V2(BBC)	До 72	2,4; 6,1	1	70, 78	17, 25	Контейнер S-280	2 × 30	2	43
AN/MSQ-114 (ЗС управления)	503С	6,1	0,4	75...76	25	—	—	—	—
AN/TSQ-118 (ЗС управления)	До 100 ЗС	2,4	1,0	70	18	—	—	—	—

\* на замену AN/МСС-46;  
\*\* на замену AN/ТСС-54.

\* на замену AN/MSQ-46;

\*\* на замену AN/TSQ-54.

Станция предназначена для работы в системах как DSCS-2, так и DSCS-3. Масса станции в упаковке 635 кг, ее модем обеспечивает работу в условиях помех и нарушения среды распространения.

На спутнике DSCS-2 коммутация стволов с бортовыми антеннами позволяет обеспечивать зоны связи: глобальный охват—глобальный охват, глобальный охват—локальный и зональный охваты, локальный и зональный охваты—глобальный охват; локальный и зональный охваты—локальный и зональный охват.

Функциональная схема ретранслятора DSCS-2 приведена на рис. 4.39.

Максимальная скорость перемещения спутника на орбите  $15^\circ$  в сутки. Спутник стабилизируется вращением. Точки стояния спутников на ГСС:  $12$  и  $135^\circ$  з. д.,  $60$  и  $175^\circ$  в. д.

На спутнике DSCS-3 коммутация антенн по стволам ретранслятора позволяет одновременно осуществлять глобальный прием по одним и тем же стволам с концентрацией информации в отдельной зоне с передачей через антенну с высоким коэффициентом усиления. Возможность коммутации стволов на МЛИА, антенну с глобальной диаграммой направленности или на параболическую антенну с высоким коэффициентом усиления является одной из важнейших характеристик оперативной гибкости организации связи через спутник DSCS-3. Многолучевые антенны полностью позволяют формировать зоны связи практически любой конфигурации, а на приеме обеспечивать «нуль» диаграммы направленности на источник помех. Стабилизация спутника—трехосная.

Точки стояния спутников на ГСО:  $12$ ,  $42,5$ ,  $52,5$  и  $135^\circ$  з. д.,  $60$  и  $175^\circ$  в. д.

На рис. 4.40 приведена функциональная схема ИСЗ DSCS-3, а общий вид спутника на рис. 4.41.

На рис. 4.42 приведена структурная схема управления в военных системах спутниковой связи.

## Система спутниковой связи Flitsatcom (США)

Система предназначена для обслуживания военно-морских сил. Однако ее спутники используются в интересах военно-воздушных сил и сухопутных войск, а также президентской связи. Система обеспечивает связь в районах от  $70^\circ$  ю. ш. до  $70^\circ$  с. ш.

Спутниковая связь Flitsatcom в интересах ВМС обеспечивает:

передачу сигналов оповещения (на одной поднесущей уплотнено во времени 15 каналов по 75 бит/с в групповую скорость 1200 бит/с. Сигнал оповещения от береговой станции (AN/FSC-79) передается на спутник, где преобразуется, и на участке спутник—Земля передается в диапазоне ДЦВ. На спутнике имеется два канала передачи сигналов оповещения—основной и резервный. Прием сигналов оповещения на Земле обеспечивается на приемную станцию AN/SSR-1;

телефонную связь вместо сигналов оповещения по второму каналу;

передачу общабонитентской цифровой информации и автоматизированную связь. В зоне связи одного спутника обычно развертываются две сети. Выделяются на спутнике два канала. Скорость передачи информации 2400 бит/с;

передачу данных и телефонных сообщений на подводные лодки (ПЛ). На ПЛ используются станции AN/WSC-3(V). Скорость передачи информации 2400 бит/с. На

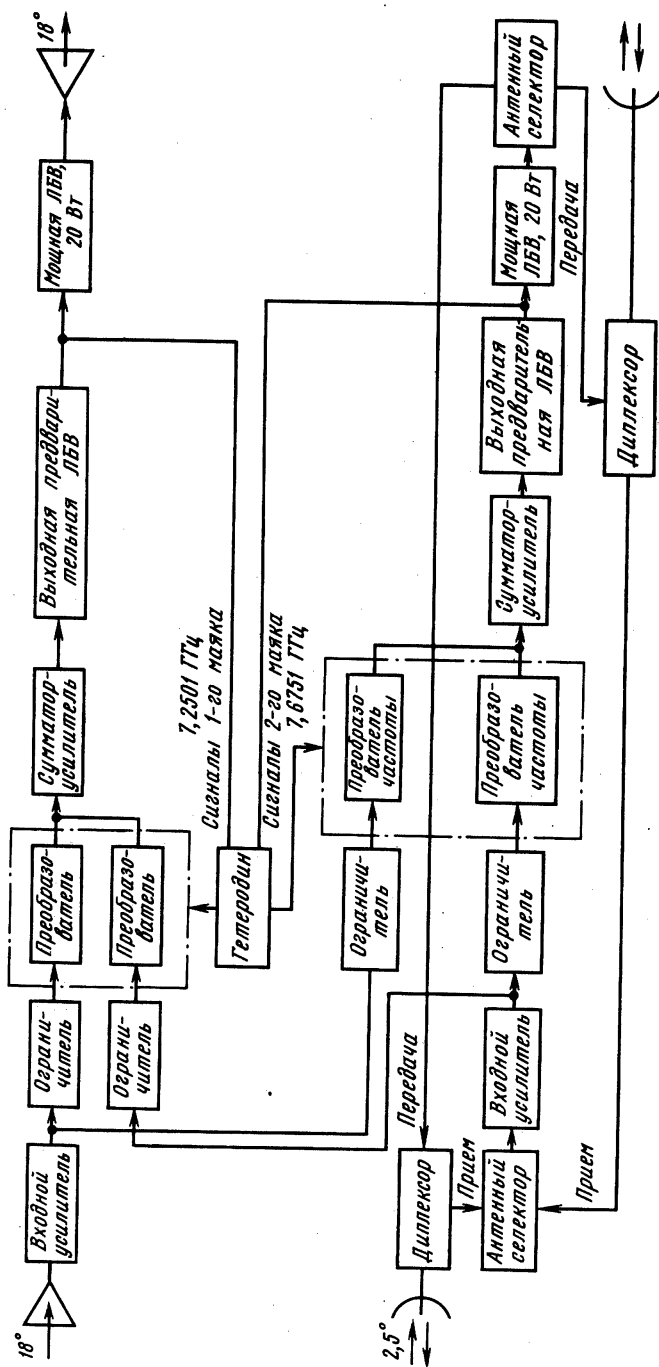


Рис. 4.39. Функциональная схема ретранслятора DSCS-2

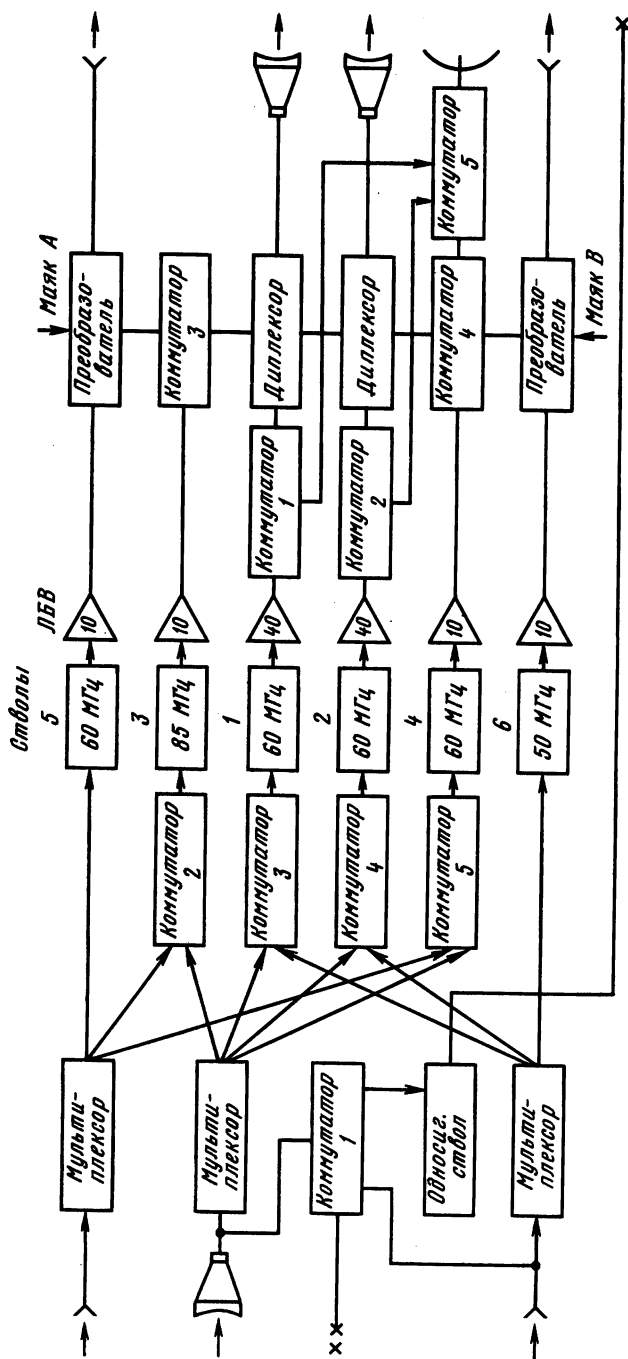


Рис. 4.40. Функциональная схема ретранслятора DSCS-3

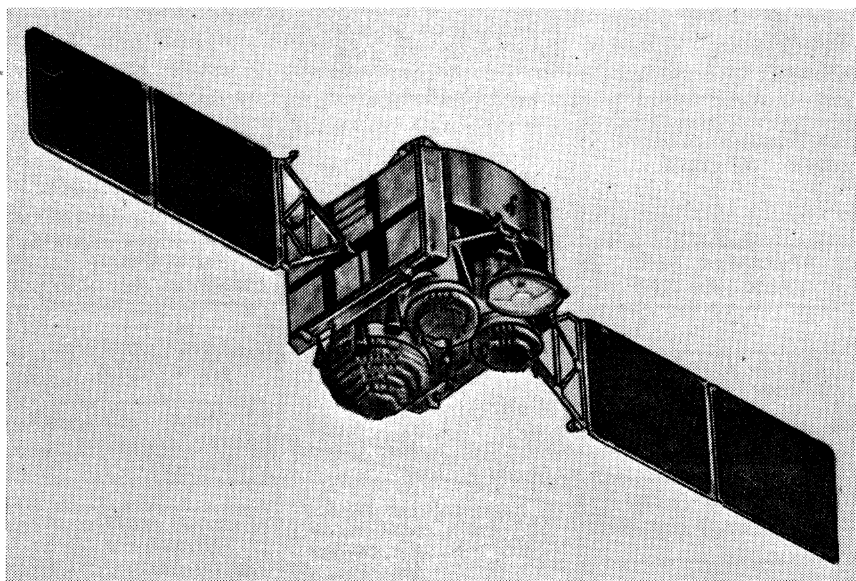


Рис. 4.41. Спутник DSCS-3

каждом спутнике для обмена информацией выделяется один канал. В зоне связи спутник может работать до 60 абонентов;

передачу информации при боевых действиях против подводных лодок. В качестве станций берегового и воздушного (на самолетах) базирования используется станция AN/ARC-143B. В сети может работать до 60 абонентов;

обмен тактической информацией сети, в которой работают центры управления ВМС, с центрами управления сил специального назначения;

передачу тактической разведывательной информации, в том числе засекреченной телефонной информации на участках корабль — корабль, корабль — берег и берег — корабль. Обработка информации в канале производится на ЭВМ. В сети работают береговые станции AN/WSC-5(V) и абонентские AN/WSC-3(V). Скорость передачи информации 2400 бит/с. Используются два канала на каждом спутнике.

Система имеет следующие характеристики: обслуживание абонентов — 4 симплексных входных/выходных канала; число приоритетов — 5; скорости передачи информации — 75; 300 и 600 бит/с; 1,2; 2,4 и 4,8 кбит/с; скорости передачи пакетов в линии — 2,4; 9,6; 19,2 и 32 кбит/с; контроль по служебной линии от главной станции к абонентской, от абонентской станции к главной — 75 бит/с на входе/выходе; эффективность системы МДВРК — 80%; вероятность появления битовых ошибок при отношении сигнал/шум, равном 9,2 дБ, — 13% при вероятности ошибки на бит информации —  $10^{-5}$ ; число абонентов и спутниковых каналов — 18; два служебных канала; число выбираемых форматов кадров — 514 (минимально).

Совершенствование системы Flitsatcom проводится в направлении внедрения МДВРК и распределения каналов между абонентами по их запросам. Процедура применения многостанционного доступа с распределением ресурса сис-

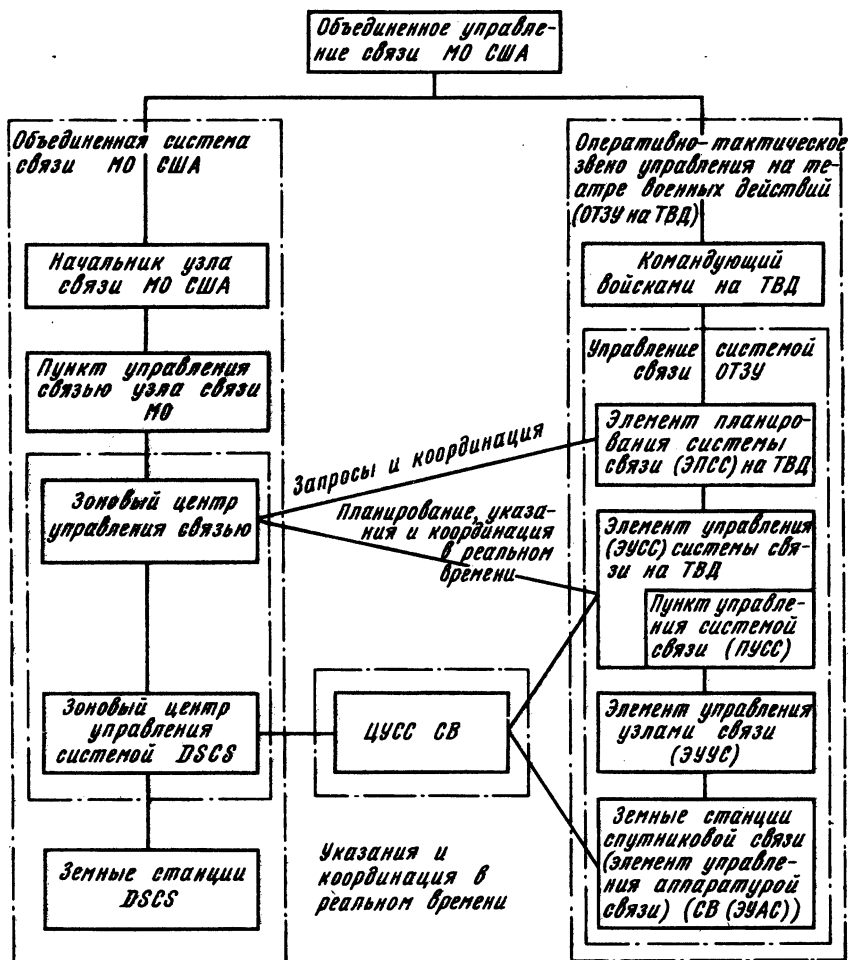


Рис. 4.42. Функциональная схема управления в военных системах спутниковой связи

темы по запросам аналогична применению телефона, поскольку единственными действиями со стороны оператора, необходимыми для получения канала, являются набор адреса и приоритета; выделение ресурсов идет через главные станции в системе.

Система многостанционного доступа с распределением ресурсов по запросу дает возможность так использовать отдельные каналы спутника, что канал, обслуживающий в настоящее время одну функциональную сеть, сможет обслужить несколько функциональных сетей. Каждый абонент пользуется каналом в соответствии с распределением интервалов времени, выделенном ему главной станцией контроля и управления сетью.

Абонентским комплектом, обеспечивающим режим работы МДВРК с распределением каналов по запросам, дается доступ к спутнику на основе приоритетов при

сохранении качества обслуживания. Всем абонентам могут предоставляться каналы шириной 5, 25 и 500 кГц в зависимости от того, какой канал наиболее полно отвечает их требованиям. Абонентам обеспечивается практически немедленный доступ к спутнику и большие возможности по вариантам установления связи. Число станций в системе в интересах ВМС около 600. Основные параметры спутников Flitsatcom следующие:

Год запуска первого спутника .....	1978
Точки стояния на ГСО, град .....	100 и 23 з. д., 71,5 и 172 в. д.
Диаметр спутника, м .....	2,4
Масса спутника на орбите, кг .....	912
Ракетоноситель .....	«Атлас — Кентавр»
Мощность СЭП, Вт .....	1200
Время активного существования, лет .....	10
Диапазон, ГГц .....	8/—; 0,4/0,2 (прием — 290...320 МГц, передача — 240...270 МГц)
Число каналов .....	23
Выходная мощность ствола, Вт .....	40, 10
ЭИИМ ствола, дБВт .....	26 — для восьми каналов по 25 кГц; 28 — для двух каналов по 25 кГц; 27 — для канала 500 кГц, 16,5 — для 12 каналов по 5 кГц — 16 — СМВ, — 18 — ДЦВ
Добротность приемной системы, дБ/К ....	
Коэффициент усиления антенны, дБ:	
на прием .....	16 — СМВ (рупор); 12,6 — ДЦВ (18-витковая спираль)
на передачу .....	17 (диаметр антенны 4,9 м)
Поляризация .....	круговая

На спутниках Flitsatcom VII и VIII дополнительно устанавливается ствол 44/20 ГГц.

Основные параметры земных станций Flitsatcom приведены в табл. 4.17.

Станции диапазона ДЦВ имеют режим работы в зоне прямой видимости, минуя спутник. В стационарных условиях эти станции используют антенны с усилением 18 дБ.

Общий вид станции OZ-46/T SC-96(V) дан на рис. 4.43. Функциональная схема ретранслятора спутника Flitsatcom приведена на рис. 4.44.

Для семейства спутников Flitsatcom (Flitsatcom — А, В, С) администрацией США заявлены на координацию следующие точки на ГСО: 15, 23, 70, 100, 105, 145, 177° з. д. и 28, 70, 72, 75, 77 и 172° в. д.

Спутники Flitsatcom, на борту которых установлены стволы диапазона ММВ (Flitsatcom — В, С), в наземных сетях используют станции, размещаемые на кораблях, самолетах, автомобилях и в стационарном варианте. Рабочий диапазон на участке Земля — спутник 43,5...45,5 ГГц, а на участке спутник — Земля 20,2...21,2 ГГц. Запуск первого спутника Flitsatcom В (VII) осуществлен в 1986 г.

Стационарные, подвижные и корабельные станции имеют антенны диаметром 0,6 м и добротность приемных систем соответственно 9 и 10 дБ/К. Станции, размещаемые на самолетах, имеют антенны диаметром 0,5 м и добротность приемной системы 8 дБ/К. Спектральная плотность мощности ЗС — 36 Вт/Гц. Эти же станции используются в системе Milstar.

Станции КА диапазона ММВ имеют следующие характеристики: зона обслуживания глобальная; максимальный коэффициент усиления глобальной антенны 18 дБ, остронаправленной (приемной) антенны 34 дБ, точка «прицеливания» остро-направленной бортовой антенны изменяется по псевдослучайному закону по 37 зонам (рис. 4.45), поляризация круговая; мощность передатчика ствола ретранслятора около 20 Вт; спектральная плотность мощности излучения РТР оценивается 47 Вт/Гц.

## Основные параметры земных

Тип станции	Диапазон частот, ГГц	Мощность передатчика, Вт	ЭИИМ, дБВт	Чувствительность приемника
1	2	3	4	5
AN/FSC-79 AN/SSR-1	8/— 0,24...0,32	5000 Только прием	97 —	Нет приемника — 117 дБВт (ЧМ) — 112 дБмВт (ФМ)
AN/WSC-1	0,4/0,2	100	27; 30	$\frac{G}{T} = -10$ дБ/К
AN/WSC-3	0,4/0,2	100 — ЧМ 30 — АМ	28 —	3 мкВ —
AN/WSC-5	0,4/0,2	100	28	$\frac{G}{T} = -17$ дБ/К
AN/ARC-143B	0,4/0,2	100 — ЧМ 30 — АМ	—	2 мкВ
AN/BRT-6	0,29...0,315	—	—	—
AN/MSC-64 (AN/MSC-65)	0,4/0,2	100 —»—	— —	— —
AN/PSC-3 (AN/WSC-7)	0,4/0,2	35	20	—
AN/TSC-91	0,4/0,2	100	18...19	—
AN/TSC-96(V) (OZ-46/TSC-95(V))	0,4/0,2	100	30	3 мкВ
AN/TSC-102 (AN/FSC-8)	0,4/0,2	100	30	3 мкВ
HST-4	0,4/0,2	15	—	— 113...129 дБмВт
LST-5B	0,4/0,2	5/20 ЧМ 2/5 АМ	—	— 120 дБмВт — 112 дБмВт

### Система спутниковой связи Leasat (США)

Коммерческая система, арендуемая МО США, используется в интересах ВМС, морской пехоты, ВВС и СВ. Система включает четыре рабочих и один резервный спутник и средства управления. Для координации всех операций со спутниками система управления связана с космическим оперативным центром управления ВМС в Даллсене, штат Вирджиния.

Предполагается, что система Leasat должна заменить спутники Flitsatcom после прекращения их эксплуатации.

## станций Flitsatcom

Размер антенны, м, усиление	Масса, кг	Размер станции, мм	Примечание
6	7	8	9
18,2 0,78 × 0,9 × 0,78 (4 шт. рамочных)	80...100	4 блока: 230 × 279 × 223 — — 2 шт. 222 × 635 × 438 — — 2 шт.	Стационарная
Усиление 8...12 дБ	600	—	На кораблях
Четырехдипольная	67,1	311 × 483 × 588	Стационарная или на кораблях
Две плоские, диаметр 1,2	—	—	Корабли, подводные лодки
—	16	152 × 196 × 698	Стационарная, авианосцы
—	—	—	—
Усиление: 3, 4, 9 дБ	102 (3 × 45)	—	Морские буи, подводные лодки
Усиление 6 дБ (спираль)	11,3	79 × 178 × 292	Контейнерная
Усиление 0,9 дБ	3285 (контейнер с автомобилем)	2820 × 2210 × 5440	S-250 (три упаковки) Носимая
—	—	—	Контейнер S-250, для управления сетью
Усиление 12 дБ	—	—	Две контейнерных упаковки (составляется из трех станций — AN/WSC-3)
—	2,25	—	Автомобиль 1 т. Для сил быстрого реагирования
—	3,4	—	Самолет, автомобиль, носимая
			То же

Комплекс ЗС, используемых в системе, тот же, что и в системе Flitsatcom.

1. Четыре спутника были выведены на ГСО в 1984 и 1985 гг.

Основные параметры спутников системы Leasat следующие:

Год запуска первого спутника .....	1984
Диаметр, м .....	4,26
Высота, м .....	6,17
Масса на орбите, кг .....	1315
Ракетопосредитель .....	«Шаттл»

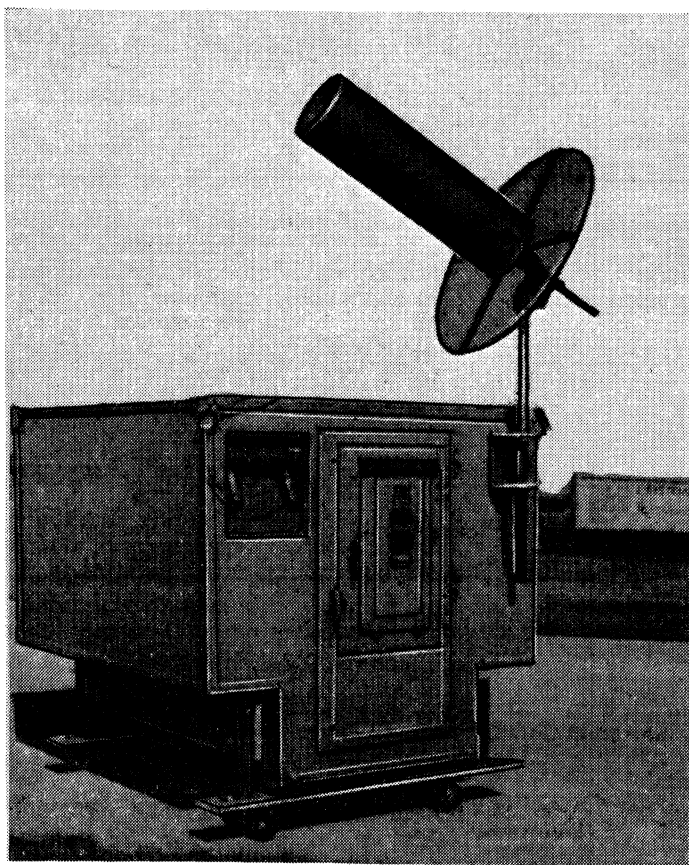


Рис. 4.43. Земная станция OZ/46/TS C-96 (V)

Мощность СЭП, Вт .....	1240
Время активного существования, лет .....	7
Диапазон частот, ГГц .....	7,25...7,5; 7,975...8,025; 0,4...0,2
Число каналов .....	6 по 25 кГц; 5 по 5 кГц; 1 по 500 кГц; 1 по 25 кГц, цирк. канал
ЭИИМ, дБВт .....	26 для каналов с полосой 25 кГц; 16,5 для каналов с полосой 5 кГц; 28 для каналов 500 кГц
Добротность приемной системы, дБ/К ....	— 18; — 20
Коэффициент усиления антенны, дБ .....	16 — СМВ; 12...14 — ДЦВ
Поляризация .....	Круговая

Сигналы оповещения на участке Земля — КА передаются в диапазоне СМВ, а на участке КА — Земля — в ДЦВ.

### Система спутниковой связи Afsatcom (США)

Система спутниковой связи ВВС США Afsatcom предназначена для обеспечения управления в интересах военно-политического руководства, комитета начальников

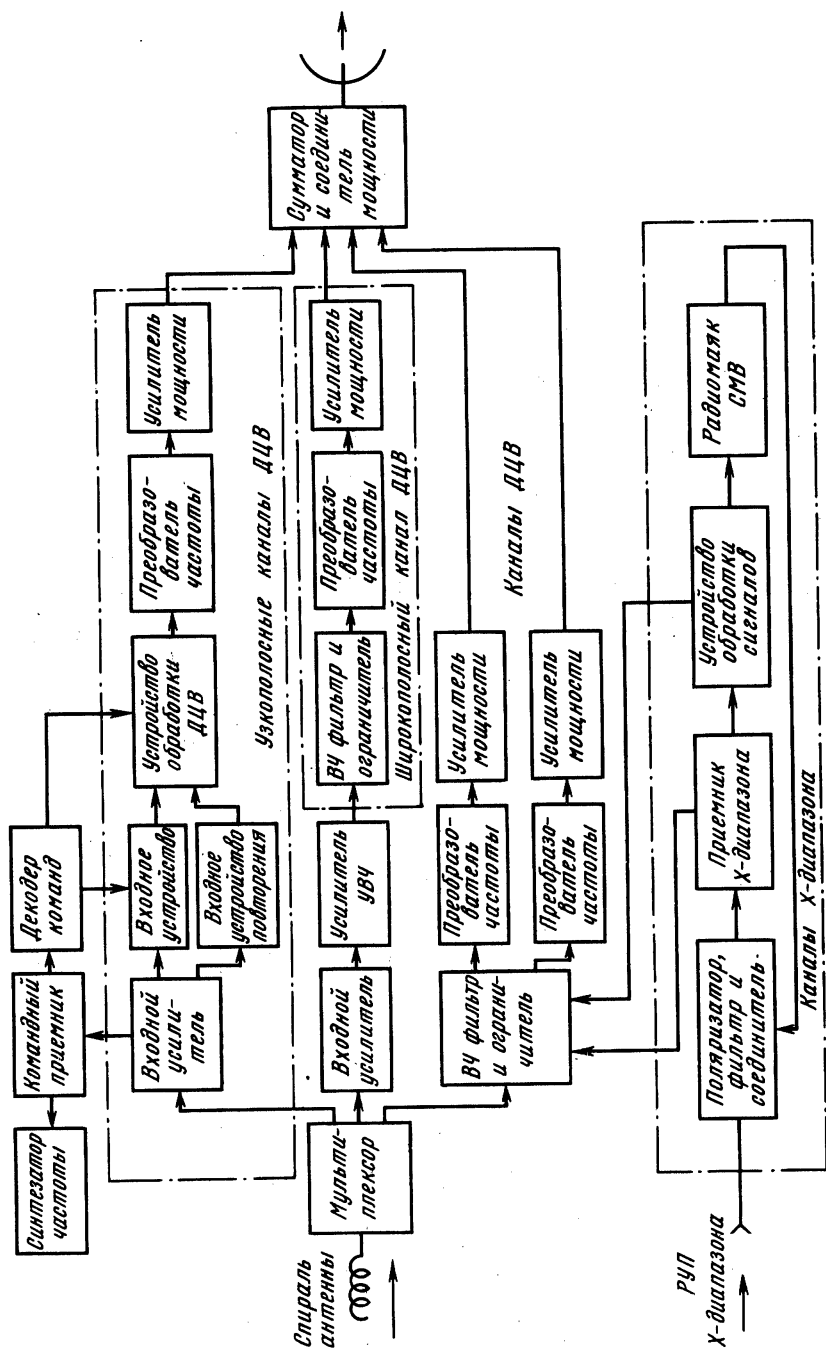


Рис. 4.44. Функциональная схема ретранслятора спутника Flitsatcom

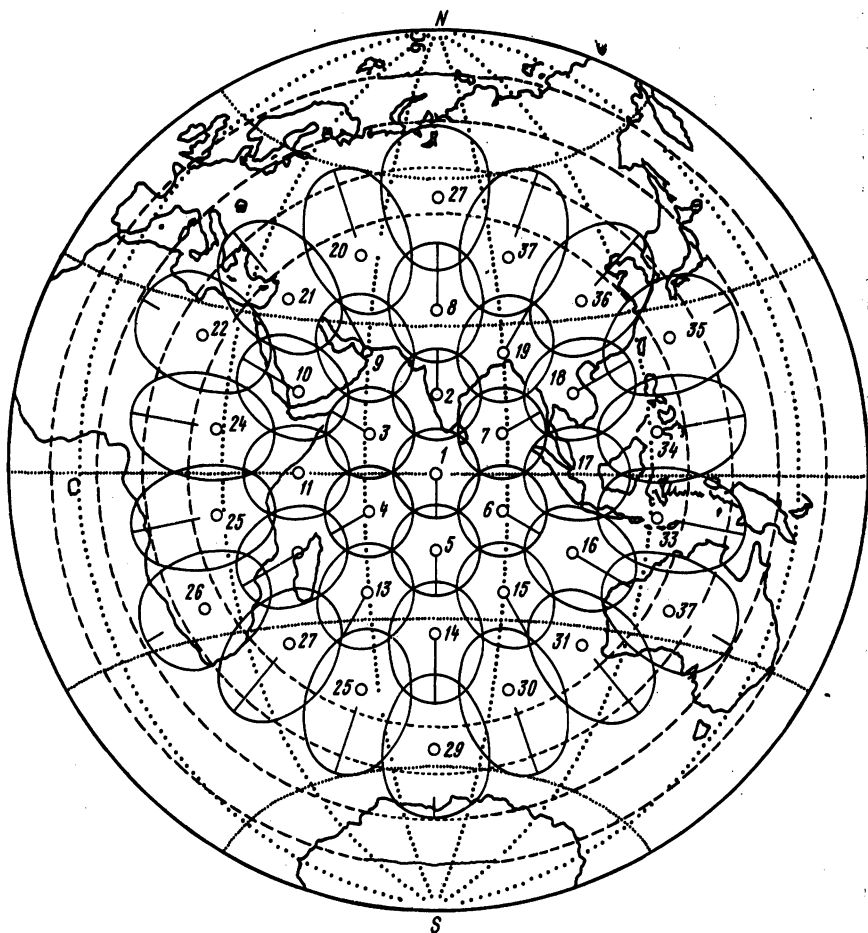


Рис. 4.45. Зоны обслуживания остроуправленной антенной

штабов, главнокомандующих, командования ядерных сил и ряда приоритетных абонентов.

Разработка системы начата в 1973 г., эксплуатация в войсках с 1978—1979 гг. Система позволяет осуществлять управление стратегическими силами в обычных и чрезвычайных условиях. Станции системы устанавливаются на наземных и воздушных командных пунктах (КП) Стратегического Авиационного Командования (САК), центрах управления ракетами, самолетах.

Система не имеет самостоятельных спутников. Ее ретрансляторы размещены на спутниках Flitsatcom, SDS, Leasat, DSCS-3 и ряде спутников различного назначения в качестве «попутной» нагрузки.

Ретранслятор представляет собой 12-канальный блок с шириной полосы канала 5 кГц. Диапазон рабочих частот 225...400 МГц. Спутники системы SDS имеют

орбиту, аналогичную орбите спутника СССР «Молния», и обеспечивают управление стратегическими силами прежде всего в полярных широтах.

Первые два спутника системы SDS были выведены в 1976 г.

Помимо 12 каналов РТР спутника SDS в интересах системы Afsatcom организует двусторонний телеграфный канал (75 бит/с). Линии связи имеют защиту от помех, обеспечиваемую использованием ППРЧ. Широкополосные каналы в стволах ретрансляторов Flitsatcom и Leasat могут обеспечивать одновременную телеграфную работу (75 бит/с) 14 абонентам. Канал при необходимости может освобождаться от работы этих абонентов и использоваться по приоритету в качестве цифрового вокодерного канала для прямой связи президента.

Параметры основных ЗС BBC системы Afsatcom приведены в табл. 4.18.

Приемопередатчик AN/ARC-171 является единым для всего семейства ДЦВ ЗС системы Afsatcom. В состав станции, кроме приемопередатчика, входят модем и блок управления каналом спутника. Его габаритные размеры  $95 \times 146 \times 165$ , масса 1,7 кг.

Станция AN/ASC-21 обеспечивает одновременную работу по пяти каналам, из которых два дуплексных работают в полосе спутниковых каналов 500 кГц, один дуплексный — в полосе спутникового канала 5 кГц и два полудуплексных канала — также в полосе 5 кГц. Передатчики (пять) с выходной мощностью 100 Вт (ЗС AN/ARC-171) поочередно могут подключаться к усилителям с выходной мощностью 1000 Вт. Антенны станции (две передающие и одна приемопередающая) выполнены в виде плоских фазированных решеток и установлены в верхней части фюзеляжа под собственными обтекателями.

Станция AN/USC-39 обеспечивает передачу данных или ТГ канала со скоростью 75 бит/с, а при укомплектовании специальными модемами может обеспечить передачу данных или телефонную связь по одному каналу до 2400 бит/с.

В качестве приемопередатчика используется приемопередатчик станции AN/ARC-171. Станция применяется и другими видами ВС США.

В системе Afsatcom используются также самолетные станции AN/ASC-28 и AN/ASC-30 диапазонов CMB и MMB.

Станция AN/GSC-43, кроме BBC, используется другими видами ВС США. В состав станции входят два дуплексных приемопередатчика, модем, печатающее устройство от телетайпа, блок слежения антенны, антенная система со сканируемой антенной (антенна имеет высокий коэффициент усиления) и элементы управления.

Станция AN/GSC-44 содержит приемопередатчик, модем, обеспечивающий один канал на передачу и три на прием, два телетайпа (печатающие устройства), работающих только на прием, антенную систему и элементы управления. Используется войсками, действующими по единому оперативному плану.

Станция AN/TSC-88 является подвижной станцией и используется в качестве станции управления спутником. Станция используется также войсками, действующими по единому оперативному плану. Обеспечивает связь по пяти каналам.

Дальнейшее расширение задач системы Afsatcom и совершенствование методов передачи и приема информации планируется проводить в системе Milstar. В настоящее время число станций в системе Afsatcom более 1000.

Тип станции				
	Диапазон, МГц	Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, мкВ	
AN/ARC-171	225...400	100	3	
AN/ASC-21	225...400	5 × 100	3	
AN/USC-39	225...400	2 × 1000	3	
		100	(−25 дБ/К с портативной антенной)	
AN/GSC-43	—»—	—	—	
AN/GSC-44	—»—	—	—	
AN/TSC-88	—»—	—	—	

### Система спутниковой связи Milstar (США)

Система спутниковой связи Milstar (Military Strategic Tactical and Relay) создается как единая система спутниковой связи вооруженных сил США, обеспечивающая управление, сбор донесений и связь в экстремальных условиях военного времени. При ее создании проведена разработка элементов, обеспечивающих функционирование системы в условиях воздействия ядерного оружия. Спутники имеют защиту от нападения в космосе, от радиации в условиях ядерной войны и лазерного излучения, длительный срок автономного функционирования, высокий уровень защиты от помех.

Система предназначена для обслуживания ядерных сил стратегического звена и решения задач управления и связи в тактическом звене и представляет собой часть программы модернизации стратегических сил МО США с целью гарантированного предоставления минимальных жизненноважных средств связи в период кризиса.

Ожидается, что космический сегмент системы будет включать восемь спутников, из которых четыре будут размещаться на ГСО и четыре на круговых наклонных орбитах, обеспечивающих связь в северных широтах. На координацию в предварительной публикации МКРЧ для сетей системы Milstar заявлено семь точек на ГСО. Спутники будут иметь возможность обмена между собой информационными потоками по межспутниковым каналам связи. В 1983 г. военным ведомством представлен контракт на сумму 1,05 млрд дол. на разработку в течение 5 лет спутников Milstar.

В системе будут использованы диапазоны ММВ и ДЦВ. Дециметровый диапазон и методы передачи информации в нем выбираются такими же, как в системах Flitsatcom и Afsatcom. Межспутниковую связь предполагается осуществлять в диапазоне 60 ГГц, а связь на линиях Земля—спутник и спутник—Земля соответственно на частотах: 43,5...45,5 ГГц и 20,2...21,2 ГГц. Планируется полная обработка сигналов в бортовом ретрансляторе и их динамическая коммутация, в том числе между ретрансляторами диапазонов ММВ и ДЦВ.

Метод многостанционный доступа на участке Земля—спутник—МДЧРК, на участке спутник—Земля—МДВРК. В системе предусматривается работа по принципу незащищенных каналов. Скорость передачи информации в каналах 75 и 2400 бит/с. Число абонентских сетей, обеспечиваемое одним спутником в диапазоне ММВ—50...100. Метод помехозащиты—ППРЧ и пространственная селекция бортовых антенн и антенн ЗС. На

## системы Afsatcom

## Параметры

Масса, кг	Габаритные размеры ЗС, мм	Число каналов ТФ/ТГ	Размещение
15,8	178 × 241 × 406	5/—	ВКП, боевые самолеты
—	—	5/—	То же
—	Три упаковки	—/1	На самолетах, кораблях, ав- томобилях, стационарное
—	—	1/—	—
—	—	1/3—	—
—	—	5/—	—

борту спутника в диапазоне ММВ предполагается иметь на прием и передачу антенные решетки с возможностью обнуления ДН приемной антенны в направлении на помеху. Передающая антенна будет характеризоваться быстрой коммутацией лучей, пространственным сложением и концентрацией мощности на линии спутник — Земля. Помимо МЛА будут использоваться отдельные остронаправленные и широкоугольные («глобальные») антенны. На этом участке радиолинии планируется применить двукратную ФМ.

Процессор спутника (контроллер ресурсов) обеспечит управление его ресурса пропускной способности спутника, маршрутизации потоков информации от абонентов, управление этими потоками, в том числе по межспутниковым каналам, ответы на запросы приоритетных абонентов, доступ в сети и др. Это позволит системе функционировать в условиях поражения центров управления наземного базирования. Процессор способен изменить структуру сетей связи в зависимости от изменения требований абонентов и условий эксплуатации, контролировать доступ в систему, автоматический поиск абонентов (путем сканирования узким лучом по земной поверхности). В системе предусматривается возможность включения резервных спутников через рабочие, осуществление маневров спутников на орбите с целью ухода их от противокосмических средств поражения. Система Milstar создается с децентрализованным управлением, что повысит ее живучесть в чрезвычайных условиях.

Земной комплекс включает стационарные, мобильные, самолетные станции и станции надводных кораблей (НК) и подводных лодок.

Спутники системы начнут функционировать в начале 90-х гг. В системе будет работать до 4000 станций.

Станции диапазонов ММВ и ДЦВ системы Milstar аналогичны станциям систем DSCS (AN/ASC-28 и AN/ASC-30) Flitsatcom и Afsatcom. Заключен контракт на разработку и изготовление станций диапазона ММВ, которые могут быть установлены на самолетах B-52, B-10, E-3A, E-4, а также на бомбардировщиках.

Стационарные и мобильные станции диапазона ММВ предполагается использовать в сухопутных войсках, широкое применение найдет одноканальная мобильная станция тактического звена управления SCOTT. Станция имеет два варианта построения: первый размещается в цилиндрическом выносном контейнере и по волоконно-оптическому кабелю управляется из автомобиля, антенна, имеет диаметр 0,6 м, мощность передатчика 20 Вт; второй вариант — станция размещается в контейнере S-250, который установлен на

автомобиле или другом транспортном средстве, антенна устанавливается на выносной треноге, генератор (первичный источник питания) перевозится на одноосном прицепе. Планируется, что СВ приобретут до 2000 ЗС SCOTT, а ВМС — около 400.

Ожидаемые параметры спутника системы Milstar и ретранслятора следующие:

Срок запуска первого спутника .....	Начало 90-х гг.
Масса спутника на орбите, кг .....	до 2200 (экспериментальные), до 3600 (рабочие)
Заявленные точки стояния спутника на ГСО, град:	
з.д. ....	30, 68, 95, 120
в.д. ....	15, 35, 150
Время активного существования, лет.....	10
Диапазон частот, ГГц .....	0,4/0,2; 44/20; 60/—
Число каналов (сетей) .....	50...100 ММВ; 4...10 ДЦВ
Коэффициент усиления .....	10 ДЦВ; 17 ММВ (глобальная зона); 31 ММВ — МЛА;
	39 ММВ — одиночная остронаправ- ленная антенна
Температура шума приемных сис- тем, К .....	1000 ДЦВ; 1560 ММВ
Коэффициент усиления передающих ан- тенн, дБ .....	15 ДЦВ, $\theta=31^\circ$ ; 17 ММВ (глобальная зона), $\theta=23^\circ$ ; 31 ММВ — МЛА, $\theta=3,6^\circ$ ; 39 ММВ — одиночная остронаправ- ленная антенна, $\theta=1,1^\circ$
Поляризация .....	Круговая

*Примечания:* 1. Частоты на участке Земля — спутник — 292,825...311, 175; 316, 587...317, 318 МГц.  
2. Частоты на участке спутник — Земля — 243,588...244,217 МГц; 248,840...259,560 МГц;  
260,340...260,860 МГц; 261,440...262,560 МГц; 263,540...264,060 МГц; 265,225...269,975 МГц.  
3. Рассматривается возможность и целесообразность использования в системе диапазона 8/7 ГГц.

Для снижения технологического риска программы первые пять спутников предполагается сделать экспериментальными.

Зоны обслуживания многолучевой антенны диапазона ММВ представлена на рис. 4.46.

## Система спутниковой связи Sicral (Италия)

Италия ведет разработку CCC Sicral, в состав которой должны войти два спутника Sicral-1 и Sicral-2 на ГСО и комплекс ЗС. Система должна обслуживать территорию Западной Европы, Средиземноморья и северной части Атлантического океана. Она предназначена для обслуживания подвижных и стационарных сухопутных станций, корабельных и самолетных станций и станций правительственной связи. Точки, заявленные для размещения спутников на ГСО, — 16 и 22° в.д. В системе предполагается использовать диапазоны ДЦВ, СМВ и ММВ. Перекрестная коммутация между стволами в РТР позволит обеспечить связь между средствами разных диапазонов и между зонами связи. Диапазоны по зонам обслуживания распределены в следующем порядке: ДЦВ (335,4...399,9/235...322 ГГц) — глобальная зона обслуживания; СМВ (7,9...8,4/7,25...7,75 ГГц) — Западная Европа; СМВ (14,0...14,25/12,5—12,75 ГГц) — Италия; ММВ (43,5...45,5 и 20,2 и 21,2 ГГц) — Средиземноморье и северная часть Атлантического океана.

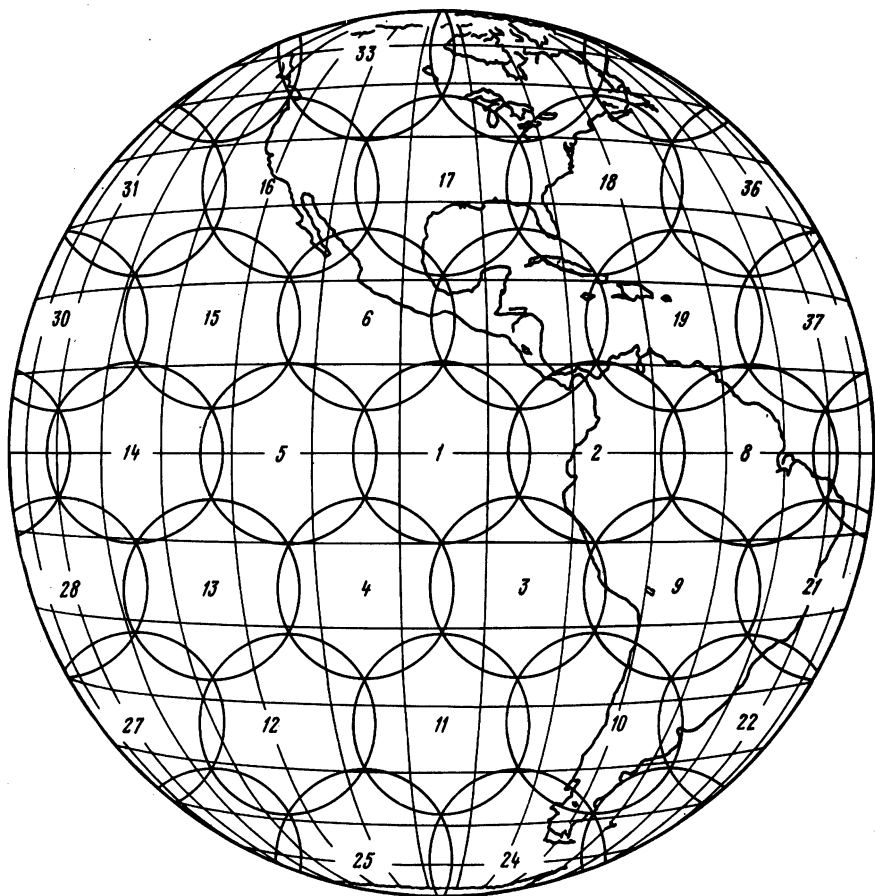


Рис. 4.46. Зоны обслуживания МЛА спутника Milstar

В системе предполагается иметь: ЗС с антеннами диаметром 2, 3 и 4 м в диапазоне 8/7 ГГц и температурой шума приемных систем 300 К; ЗС с антеннами диаметром 2,5 и 4 м в диапазоне 14/12 ГГц и температурой шума приемных систем 410 К; ЗС с антеннами диаметром 1 м в диапазоне 44/20 ГГц и температурой шума приемных систем 1500 К; ЗС с антеннами, имеющими коэффициент усиления 0 дБ в диапазоне 0,4/0,2 ГГц и температурой шума приемной системы 440 К.

Спектральная плотность мощности ЗС; 25 дБВт/Гц в диапазоне СМВ; 40 дБВт/Гц в диапазоне ММВ и 14 дБВт/Гц в диапазоне ДЦВ.

Бортовой ретранслятор спутника будет иметь пять стволов, каждый из которых обслуживает заданную зону связи. Коэффициенты усиления бортовых антенн на прием и передачу одинаковы и соответственно равны для: ДЦВ — 17 дБ — глобальная зона связи; СМВ 31,7 дБ — обеспечение зоны связи на территории Европы; СМВ 41 дБ — обеспечение связи на территории Италии; ММВ 31,7 дБ — обеспечение связи в зоне Средиземноморья и северной части Атлантического океана.

Тип станций	Число каналов, ТФ/ТГ	Диапазон, ГГц	Мощность передатчика, Вт	ЭИИМ, дБВт	G/T дБ/К
1	2	3	4	5	6
UK/TSC-502	1/1	8/7	3000	56...58	12
Marmoset *	1/1	8/7	80...100	56...58,5	12
Mansat	1/0	8/7	2,5/0,7	27...31	2
UK/PSC-505	или 0/1	( $\Delta f = 500$ МГц)	—	—	—
Compak	1/0	8/7	—	40	13
SCOT-1	0/1	8/7	1000	65	10
SCOT-2	1/1	8/7	1000	70	16
SCOT-1 **	1/1	8/7	1000	65,4	11
		( $\Delta f = 500$ МГц)			
SCOT-2 **		8/7	1000	70	16
		( $\Delta f = 500$ МГц)			
ATES-21	6/—	8/7	—	—	30...31
Тип-1, 2	—	8/7	20 000	100	32
Тип-3	—	8/7	5000	90	31,2
Тип-4	—	8/7	5000	90	31,2
Тип не установлен	—	0,4/0,2	—	—	—
Тип не установлен	—	43,5...45,5	—	—	—

\* Питание от аккумулятора автомобиля 28 В или от внешней сети;

\*\* Модифицированные станции SCOT.

Температура шума приемных систем ретранслятора не более 1000 К в диапазонах ДЦВ и СМВ и не более 1500 К в диапазоне ММВ.

Спектральная плотность мощности излучения стволami ретранслятора спутника соответственно: ДЦВ = -22,5 дБВт/Гц — глобальная зона связи; СМВ = -63 и -45,6 дБВт/Гц — зона связи на территории Европы; ММВ = -57 дБВт/Гц — зона связи Средиземноморья и северной части Атлантического океана.

### Система спутниковой связи — Skynet (Великобритания)

Система предназначена для обеспечения управления вооруженными силами и связи в интересах правительственных ведомств в различных районах земного шара, в том числе с военными представительствами Великобритании за рубежом.

Система используется в интересах сухопутных войск и военно-морских сил (СВ и ВМС), а с вводом спутников Skynet-IV и военно-воздушных сил (ВВС). Она дает возможность вооруженным силам иметь устойчивую связь с военными базами,

Таблица 4.19.

## системы Skynet

Диаметр антенны, м	Масса, кг	Транспортное средство	Размер обтекателя		Обслуживающий персонал, чел
			диаметр, м	высота, м	
7	8	9	10	11	12
1,7	—	8 контейнеров	—	—	2
1,7	—	1 автомобиль	—	—	2
0,45	17	0,75 т	—	—	1
—	—	Носимая	—	—	1
1,2	50	515 × 490 × 225 мм	—	—	1
1,06	~ 2700	Перевозится или переносится в трех упаковках	—	—	1
1,83	~ 3300	Надводные корабли	1,37	2,13	—
1,22	~ 3300	То же	2,13	3	—
1,83	~ 4800	—»—	1,7	2,5	—
6,4	—	—»—	2,4	3,18	—
12,8; 12,2	—	Автомобиль	—	—	6
6,4	—	Стационарная	—	—	—
6,4	—	Три автофургона	—	—	6
$G_{a \text{ прд}} = 13 \text{ дБ}$	—	Автомобиль	—	—	—
$G_{a \text{ прм}} = 10 \text{ дБ}$	—	—	—	—	—
1,5	—	Экспериментальная	—	—	—

кораблями и аэродромами в странах Британского содружества. Система является составной частью стратегического звена управления, но с вводом спутника Skynet-IV может использоваться и в тактическом звене.

Первый спутник системы Skynet-IA был запущен в 1969 г. на ГСО в точку 40° в.д. Следующий рабочий спутник Skynet-IIIB был выведен в 1974 г. (47° в.д.). С 1981 г. началась разработка более совершенного спутника Skynet-IV.

На 1.03.87 г. в МСЭ заявлены четыре точки на ГСО для спутников Skynet-IV А, В, С — 33 и 1° з.д.; 6 и 53° в.д.

Ответственный за разработку и запуск спутников Skynet-IV является фирма British Aerospace, а за разработку ретранслятора и оборудования ряда ЗС — Marcony Space and Defence Systems».

Земные станции системы могут работать через военные спутники НАТО и США. Многостанционный доступ — ЧРК. Система работает в диапазоне 8/7 ГГц, а с вводом спутников Skynet-IV — и в диапазоне ДЦВ (0,4/0,2 ГГц).

Таблица 4.20.

## Параметры спутников Skynet

Параметры	Skynet-IA	Skynet-IIIВ	Skynet-IV (А, В)*; С, D
1	2	3	4
Год запуска первого спутника	1969	1974	1987...1991
Точки стояния на ГСО, град			
в.д.	40	47	6 и 53
з.д.			33 и 1
Диаметр спутника, м	0,81	1,9	—
Высота спутника, м	1,35	2,0	—
Масса спутника на орбите, кг	125	235	1270 (на старте)
Ракетоноситель	Тор-Дельта	Тор-Дельта	Шаттл
Мощность СЭП, Вт	—	258...196	1200
Время активного существования, лет	3...5	3...5	7
Диапазон частот, ГГц	8/7	7,985...8,005 7,266...7,286 1 ствол 7,266...7,286 7,257...7,259 2 ствола	0,4/0,2** 8/7 44,68...44,56
Число стволов	2	2	2 ДЦВ 4 СМВ 1 ММВ
Ширина полосы ствола, МГц	20; 2	20; 2	25 ДЦВ; 135; 85; 2 × 60 СМВ 120 ММВ
Используемая полоса частот, МГц	22	22	365; 120
Выходная мощность ствола, Вт	3	—	2 × 25 ДЦВ; 40, 20, 40, 20 — стволы СМВ
ЭИИМ ствола, дБВт	17...18	17; 23	25...27 ДЦВ 36, 38, 36, 47 — стволы СМВ
Добротность приемной системы, дБ/К	—	—18	—9,5; —9,5; —9,5; + 5,6 — стволы СМВ — 19 ММВ, —18 ДЦВ
Коэффициент усиления антенны, дБ на прием	15	15...18	13 ДЦВ; 20,5; 20,5; 20,5 35,6 — стволы СМВ
на передачу	15	15...18	18 — ММВ 13 — ДЦВ; 20,5; 25,1; 20,5; 34,0 — стволы СМЕ
Поляризация	Круговая		

\* — IV, А, В — работают только в диапазоне 8/7 ГГц;

\*\* Частоты стволов.

Параметры	Skynet-IA	Skynet-IIIB	Skynet-IV (A, B)*; C, D
1	2	3	4
Земля — спутник 290...315 МГц		спутник — Земля: 245...270 МГц	
(в данных полосах размещены два ствола)			
1. 7975...8110 МГц		7250...7385 МГц	
2. 8145...7230 »		7420...7505 »	
3. 8255...8315 »		7530...7590 »	
4. 8340...8400 »		7615...7675 »	
5. —		7403 маяк	

На спутниках Skynet-IV размещается приемник диапазона 43,5...45,5 ГГц для проведения экспериментов по изучению прохождения ММВ на линии Земля — спутник.

Пропускная способность ретрансляторов спутников Skynet-IIIB — 40 ТФ и 100 ТГ каналов, спутников Skynet-IV — до 80...120 ТФ и 200...300 ТГ каналов.

Управление системой обеспечивается со стационарной станции, расположенной в Оукхенгере в Великобритании. Наземными линиями связи станция соединена с главным центром связи министерства обороны в Лондоне, а также с другими узлами связи вооруженных сил. Стационарная станция управления резервируется мобильной.

На начальном этапе работы системы (спутник Skynet-IA) использовались мобильные и стационарные ЗС четырех типов 1, 2, 3, 4 (антенны 6,4 и 12,8 м, ЭИИМ 90...100 дБВт). Пятый тип станций использовался на кораблях (антенна диаметром 1,83 м, мощность передатчика 5 кВт). Параметры основных существующих ЗС системы приведены в табл. 4.19, а параметры спутников в табл. 4.20.

Функциональная схема ретрансляторов диапазонов СМВ и ДМВ приведена на рис. 4.47.

## 5. Системы радиосвязи

### 5.1. Общие положения

Среди наземных средств электросвязи, обеспечивающих глобальную связь, важнейшими являются средства радиосвязи декаметрового диапазона волн (3...30 МГц).

В последние годы радиосвязь на декаметровых волнах благодаря применению вычислительной техники, и в первую очередь микропроцессоров с интеллектуальным решением задач получила новые функциональные возможности: автоматическую диагностику состояния используемой аппаратуры и ионосферы в целях обеспечения выбора оптимальных для прохождения радиоволн на заданном участке радиосвязи; автоматический выбор антенн (из имеющихся) и регулировку мощности передающих устройств в зависимости от условий прохождения радиосигналов на заданном участке связи.

Работы над усовершенствованием методов активного использования радиосвязи продолжаются. Основными направлениями работ являются: переход от создания отдельных радиостанций к комплексному их созданию; внедрение цифровых методов обработки и передачи сигнала; освоение новых диапазонов волн в сторону рас-

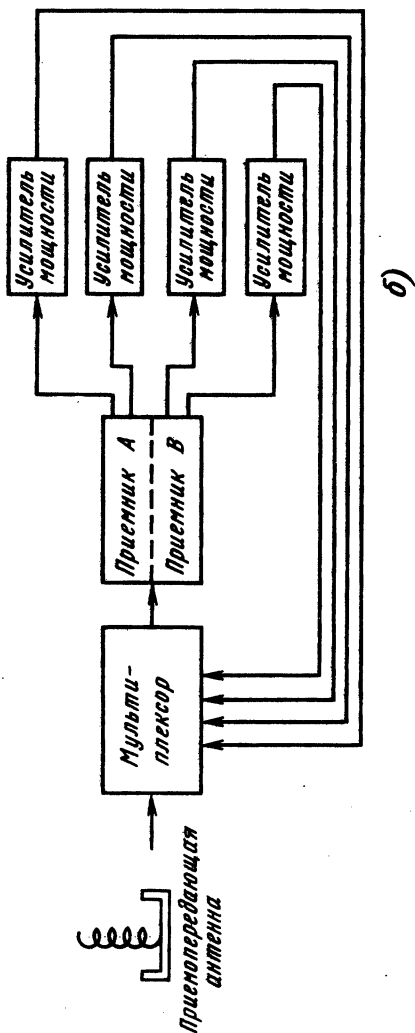
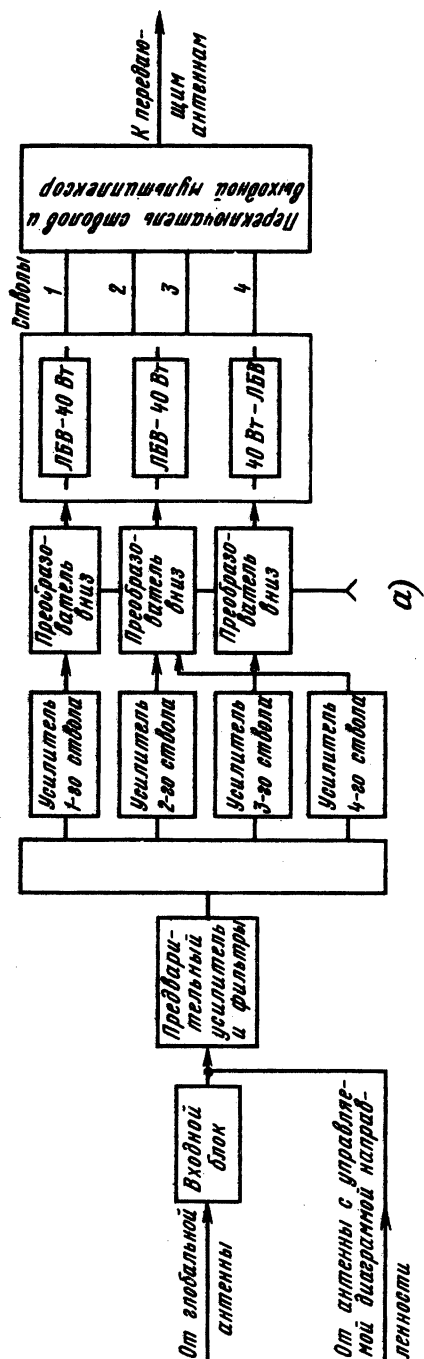


Рис. 4.47. Функциональная схема ретрансляторов СВМ и ДЦВ диапазонов спутника Skynet-IV

ширения их величин; применение монопозиционных видов модуляции в целях усложнения структуры передаваемого сигнала и их идентичности при обеспечении всех видов работы (телефония, телеграфия, ПД); на определенном этапе совместное использование аналоговых и цифровых систем передачи; повышение помехозащитности при передаче информации за счет расширения спектра частоты передачи сигнала; применение метода ППРЧ; использование метода интерливинга (сдвиг по времени); повышение надежности аппаратуры радиостанций, за счет внедрения новой элементной базы и автоматики, перспективных антенных устройств и источников электропитания.

Используя эти методы, английские и американские фирмы изготовили комплекс усовершенствованных радиостанций типа HF850 со специализированным дополнительным радиооборудованием. В устройство радиостанции введен так называемый «интеллектуальный» процессор, обеспечивающий выбор оптимальных рабочих частот на данной трассе связи, автоматическое вхождение в связь с заданным абонентом и автоматическое поддержание связи с ним в течение радиообмена за счет подбора наиболее оптимальных рабочих частот в выделенном интервале, подбор антенн из числа имеющихся, регулировки мощности передатчика.

При выборе оптимальных частот в микропроцессоре заложены функции «взвешивания» возможных рабочих частот на данном участке, анализ всех ранее применявшихся частот на этом участке в предыдущих сеансах, а также функции корректора ошибок. Микропроцессор контролирует уровень принимаемых сигналов и форму посылок, одновременно оценивает влияние многолучевости и замираний. Если требуемое качество принимаемых посылок не обеспечивается из-за плохого отношения сигнал-шум, то процессор увеличивает мощность передатчика. Если прием нарушается многолучевостью, микропроцессор будет отыскивать частоту с меньшей разностью хода лучей. Кроме того, процессор среди антенн с разной поляризацией выбирает ту, которая обеспечивает минимальные замирания в данном конкретном случае.

Использование «интеллектуального» микропроцессора позволяет получать высокую степень защиты от обычных и преднамеренных помех.

Радиостанции, входящие в комплекс HF/850, аналогичны по построению и конструктивному (модульному) исполнению. Во всех радиостанциях используются типовые приемная часть и возбудитель (20 мВт). Управление обеспечивается непосредственно на аппаратуре или в дистанционном режиме от стандартизованного устройства управления на ЭВМ. Имеется возможность в приемопередатчик включать внешние модемы на скорость передачи до 2400 бит/с.

Благодаря системе точной настройки, повышенной избирательности приемопередатчика, большому динамическому диапазону приемника и спектральной частоты передатчика, несколько радиостанций с близко расположенными антеннами (также подвижные радиостанции в полевых условиях), могут работать одновременно. Высокоскоростное антенно-согласующее устройство обеспечивает сопряжение выхода передатчика со всеми традиционными антеннами (включая антенны подвижных средств), а также согласование и настройку по программным частотам без малейшего излучения в эфир. Время настройки на 99 программных частот составляет 20 мс и соответствует времени переключения других элементов станций.

Приемопередатчик типа HF850 предназначен для передачи в диапазоне 1,5...30 МГц и приема в диапазоне 0,4...30 МГц с шагом сетки частот 10 Гц. Он

обеспечивает работу в телеграфном (ключевая работа), микрофонном и буквопечатающем режимах, а с подключением дополнительного устройства — независимую передачу по двум боковым полосам.

В запоминающем устройстве (ЗУ) радиостанции можно хранить информацию о 99 частотах передачи и приема, данные о ширине полосы ПЧ, усилении тракта, полярности сигнала и командах управления для взаимодействия с внешними устройствами.

Особенностью радиостанции является использование в выходном каскаде передатчика полевых транзисторов, обеспечивающих защиту от короткого замыкания и обрыва нагрузки путем увеличения внутреннего сопротивления, а не отключения схемы.

В радиостанции имеется динамический компрессор уровня, работающий на промежуточной частоте, который увеличивает среднюю мощность речевого сигнала на 3 дБ, что эквивалентно удвоению выходной мощности. Его преимущества по сравнению с ранее применяемым компрессором, работающим на звуковой частоте, заключается в значительно меньшей инерционности и отсутствии гармоник в спектре телефонного канала.

Согласованность работы всех устройств радиостанции обеспечивается благодаря блокам селекции в трактах передачи и приема, малошумящим усилителям и большому динамическому диапазону приемника.

При отказе какого-либо устройства радиостанции оператор немедленно по сигналу заменяет на исправный модуль, не требующий подстройки. Благодаря правильному подбору компонентов элементной базы обеспечивается наработка радиостанции на один отказ — более 4000 час, мощность передатчика 150, 400, 1000 Вт, скорость передачи 110...960 бит/с.

Магистральные системы радиосвязи оборудованы аппаратурой централизованного контроля и управления связью данной системы. Например, аппаратура централизованного контроля и управления связью фирмы NEC (Япония), установленная на главной станции в системе сети, обеспечивает контроль и управление до 125—130 периферийными станциями. Основной частью аппаратуры контроля и управления связью является универсальный микропроцессор.

Аппаратура обеспечивает в реальном масштабе времени сбор, анализ, регистрацию и отражение на дисплее данных о состоянии системы и прохождении информации. Вideoдисплей автоматически отражает результаты выполнения сетевого графика по информации, техническое состояние радиостанций, системы коммутации, а также других частных заданных программ. В соответствии с заданной программой аппаратуры выдает анализ данных по прохождению информации и техническому состоянию радиостанций за сутки, неделю, месяц. Технические характеристики аппаратуры централизованного контроля и управления связью сети, изготовленной фирмой NEC: прямое сообщение от периферийных станций на аппаратуру контроля и управления; обеспечение нормальной работы при установке датчиков максимально на 128 периферийных радиостанций; скорость передачи 50, 200 или 1200 бит/с; обработка данных на главной станции с помощью универсального микропроцессора; потребляемая мощность 48 или 24 В постоянного тока (100 или 220 В переменного тока); масса основного оборудования аппаратуры 400 кг; периферийными устройствами являются: устройства отображения показателей (дисплей), печатающее устройство, триггерный диск, устройство считывания с бумажной ленты, ленточный перфоратор.

Повышение эффективности использования декаметрового диапазона в системах коммерческих и военных радиосистемах обеспечивается созданием адаптивных систем, в которых осуществляется ручная и автоматическая оптимизация характеристик связи в зависимости от состояния ионосферы, электромагнитной обстановки и др.

Прослеживается несколько направлений создания адаптивных систем. Например, в США разработана наземная система управления частотой связи типа AN/TRQ-35 (V), предназначенная для выбора оптимального декаметрового канала по условиям распространения радиоволн и помеховой обстановки. В состав аппаратуры входят передатчик T-1373/TRQ-35 (V), приемник R-2081/TRQ-35 (V) и анализатор помех R-2098/TRQ-35 (V).

Передатчик, работая одновременно со связным передатчиком на общую систему, осуществляет перестройку частоты в пределах декаметрового диапазона синхронно с дистанционно разнесенным приемником. Принимаемый сигнал отображается на приемном дисплее, что позволяет определять параметр многолучевости и потери на пути прохождения сигнала с учетом диаграммы направленности антенны. Анализатор помех, специально сконструированный для отыскания каналов связи с наименьшими помехами, представляет собой систему, состоящую из приемника, процессора и дисплея. Просматривая весь рабочий диапазон каждые 10 с, анализатор помех непрерывно собирает статистические данные о загрузке канала и выдает их на дисплей через каждые 5 или 30 мин. Автоматизацию выбора оптимальной частоты связи в системе управления AN/TRQ-35 (V) осуществляет специальное устройство. В систему для расширения ее возможностей могут придавать дополнительные блоки передатчика и приемника, что позволяет одновременно с выбором оптимальной частоты связи передавать и принимать сообщения, состоящие не более чем из 38 символов, и отображать их на дисплее.

Другим направлением создания адаптивных систем является разработанная фирмами США система связи SELSAN, объединяющая функции сканирования и селективного вызова на основе микропроцессорного управления. Она совместима с большинством существующих и разрабатываемых радиостанций. Принцип работы заключается в послышке сигнала адресату одновременно по десяти выделенным каналам с помощью передатчика, управляемого микропроцессором. Приемник адресата принимает сигналы на всех частотах при отключенной схеме подавителя помех и в этот период автоматически выбирается рабочая частота путем сравнения качества приема сигнала. Если не удастся установить связь на основных частотах, то автоматически передача сигнала производится на десяти запасных частотах, вызов продолжается до установления связи.

## **5.2. Передающие и приемные устройства декаметровой радиосвязи**

**Передающие устройства.** Технические параметры наиболее распространенных передающих устройств магистральной связи США и Франции приведены в табл. 5.1. Характерными особенностями этих устройств являются: работа на независимой боковой полосе с синтезатором частот; высокая стабильность частоты (до  $1 \cdot 10^{-8}$ ); большое затухание по гармоникам (80...100 дБ); высокий КПД (до 70%); обеспечение автоматизации настройки и контроля за работой; высокая надежность наработки

Таблица 5.1.

## Технические характеристики передающих устройств магистральной связи

Принадлежность, технические характеристики	Устройства				перспективные	
	находящиеся в эксплуатации			Комплекс передатчиков типа 141, 142, 143, 148	АН/ФРТ-33	Комплекс передатчиков типа 214А, 216А, — В 217В, 218А—В
	RF-745	Франция Thomson — CSF 1, 2, 3, 8	США Harris 10			
Страна	США	Франция	США	США	США	США
Фирма-изготовитель	Harris	Thomson — CSF	Continental	Electronics	Electronics	Electronics
Выходная мощность, кВт	10	1, 2, 3, 8	600	1, 2; 10, 20, 50, 100, 200	1, 2; 10, 20, 50, 100, 200	2000
Диапазон частот, МГц	2...29,9999	2...30	2...30	2...30	2...29,9999	1,55...27,5
Сетка частот, Гц	Через 100	Через 100	Через 100	(4: по 2 на боковых частотах)	—	50
Стабильность частоты	1...10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup> ...10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup> ...10 <sup>-8</sup>	—	—	—
Вид работы *	A1A	A1A, A3E, R3E, B8E, B8E	A1A, A3E, R3E, B8E, B8E	B8E, H3E, J3E, F1B	N0N, A1A, A2A, B8E	A1A, F1B
Время настройки, с	A3E, F1B, F3C	H3E, J3E, F1B, F3C, F6	F6	—	—	—
Потребляемая мощность, кВт	Менее 10	20	20	—	—	—
Масса, кг	25	10	10	—	—	—
Конструктивное решение	1177	100	100	—	—	—
	—	Полностью на транзисторах	Полностью на транзисторах	Составляют унифицированный ряд от 40 до 600 кВт	Полностью твердотельный КПД-70%	Транзисторно-ламповый

\* С 1982 г. виды работы передатчиков и приемников (см. табл. 5.3) обозначаются следующим образом:

NON — несущая частота немодулированная;  
 A1A — несущая частота при работе ключом (манипуляция по амплитуде);  
 A2A — несущая частота с обеими боковыми (манипуляция током);  
 R2A — несущая частота с одной боковой полосой, частично подавленная несущая;  
 H2A — модулированная током несущая, обе боковые, не подавленная несущая;  
 J2A — модулированная током несущая, одна боковая полоса, полностью подавленная несущая;  
 A3E — амплитудная модуляция телефоном, обе боковые полосы;  
 R3E — телефонная модуляция, одна боковая полоса с уменьшенной несущей;  
 B8E — обе боковые полосы без несущей модуляции телефонным сигналом;

H3E — амплитудная модуляция телефонным сигналом, одна боковая полоса и полная несущая;  
 J3K — телефонная модуляция, одна боковая полоса с подавляемой несущей;  
 F1B — модуляция сдвигом частоты (без использования модулирующей звуковой частоты);  
 F2B — модуляция сдвигом частоты (с использованием модулирующей звуковой частоты);  
 F3E — телефония с частотной модуляцией;  
 F3C — буквопечатание;  
 R7A — одна боковая полоса, уменьшенная несущая, звуковое частотное телеграфирование;  
 B9W — две независимые боковые полосы для комбинирования телефонии и телеграфии

на один отказ (около 5000 ч); широкая унификация; твердотельное исполнение при модульной конструкции; обеспечение работы в режиме ППРЧ и с «интеллектуальными» процессорами.

Технические характеристики возбудителя: в тракте формирования сигнала применены малогабаритные кварцевые фильтры на частоте 2,5 МГц; используются две ступени преобразования частоты вместо трех; реализована отрицательная обратная связь, которая повышает устойчивость работы передатчика; потребляемая мощность 50 В · А; габаритные размеры 482 × 410 × 133 мм; масса 18 кг; предусмотрено дистанционное управление частотой, видом и режимами работы, уровнем выходной мощности; уровень подавления побочных сигналов 80 дБ, стабильность частоты  $1 \cdot 10^{-8}$  в сутки; время настройки менее 100 мс.

Подобный возбудитель обеспечивает работу со специально изготовленным транзисторным усилителем мощностью 400 Вт (габаритные размеры 660 × 660 × 660 мм; масса 110 кг). В состав усилителя входят два последовательно соединенных модуля предварительного каскада усиления и четыре параллельно соединенных модуля выходного каскада; гибридная схема сложения сигналов мощных усилителей модулей; блок фильтров; система контроля, управления и защиты; блок питания; четыре встроенных вентилятора. Усилительные модули выходного каскада выполнены по двухтактной схеме на транзисторах. Каждый модуль собран на двух транзисторах и обеспечивает при нормальной нагрузке мощность порядка 150 Вт. Усилитель — широкополосный, не требует перестройки при работе на разных частотах рабочего диапазона. Однако для подавления гармоник на 60 дБ используются 10 чебышевских фильтров, которые переключаются автоматически от сигнала управления при работе на требуемой частоте, время подключения соответствующего фильтра менее 200 мс.

В каждый передатчик входят четыре модуля-усилителя мощности, предварительный усилитель, суммирующее устройство.

Сложение мощностей передатчиков осуществляется на основе гибридной схемы, в которую входят два блока возбудителя, блок питания, блок автоматического управления, контроля и защиты. Возбудитель, модули усилителей и блок питания полностью унифицированы.

Комбинированное применение тетродов и пентодов в мощных цепях обеспечивает высокую линейность усилителя без отрицательной обратной связи; автоматическая настройка 30 с; предусмотрено дистанционное управление и контроль при необслуживаемом режиме работы.

Характерным образцом передатчика модульной конструкции в твердотельном исполнении служит передатчик типа ТТА1861 (Великобритания). Он работает в однополосном режиме с выходной мощностью 1 кВт. В состав входят унифицированный возбудитель, линейный усилитель мощности, фидерное согласующее устройство и блок линейных переключателей. Линейный широкополосный усилитель мощности передатчика состоит из двух независимых усилителей мощности по 500 Вт, у каждого из которых собственный источник питания, система охлаждения и отдельная измерительная панель.

При подобной конструкции выходной сигнал от возбудителя подается на два буферных усилителя. Каждый из них обеспечивает по четыре независимых выходных сигнала. Эти сигналы подаются на восемь модулей-усилителей мощности по 120 Вт, сложение мощностей обеспечивает суммарную выходную мощность передатчика 1 кВт.

Любой из блоков модулей может быть извлечен и заменен. Для удобства эксплуатации к блокам имеется доступ с лицевой стороны передатчика.

Технические характеристики усилителя: диапазон рабочих частот 1,5...30 Гц; выходная мощность 30 кВт; коэффициент нелинейных искажений (в среднем) 1,5...5%; потребляемая мощность 60 кВт; масса 800 кг, масса источников питания 1600 кг.

Усилители используются в радиопередающих устройствах коммерческого и военного ведомств.

В Великобритании разработан мощный усилитель типа H1140 на 10 кВт, перекрывающий диапазон 1,6...30 МГц, с автоматической настройкой. Создание такого усилителя стало возможным благодаря наличию надежных твердотельных устройств, электронных ламп с большим усилением, экономичных мощных компонентов. Данный усилитель состоит из трех линейных усилителей: предварительного каскада усиления в твердотельном исполнении, промежуточной ступени усиления (два параллельно включенных тетрода), оконечного выходного каскада (один керамический тетрод). Перестройка усилителя от одной крайней частоты диапазона до другой частоты занимает менее 5 с.

В ФРГ создан более мощный усилитель на 30 кВт, также с автоматической настройкой. Он предназначен для передатчика SV2470, который обеспечивает работу связи на континенте и трансокеанских системах связи. Усилитель состоит из четырех каскадов: трех предварительных с широкополосным усилением, не требующих настройки при переходе на новую рабочую частоту, и оконечного мощного каскада с элементами настройки (в первых двух каскадах использовано по одной лампе, предоконечный каскад построен на пяти лампах, оконечный — на одной; все лампы различных типов).

Изготовлением передатчиков магистральной связи различных мощностей за рубежом занимаются около 30 фирм развитых капиталистических стран. Основными градациями мощности подобных передатчиков являются: 1, 10, 20, 30, 40, 100, 200 кВт. Например, фирмой Technical Material Corp (США) производится семь модификаций передатчиков мощностью 1 кВт, две модификации — 2,5 кВт, шесть модификаций — 10 кВт, три модификации — 40 кВт, две модификации 200 кВт.

В 1985—1987 гг. появились передатчики магистральной связи второго поколения с градациями мощности 20, 30, 40 и 50 кВт, с мощными усилителями, аппаратурой управления комплексами, с использованием средств вычислительной техники и микропроцессоров. Управление связью и комплексом аппаратуры обеспечивается программируемым блоком дистанционного периферийного устройства, программное управление которого определяется характером задач управляемой системы связи и оборудования и меняются в зависимости от специфики систем и комплектуемого оборудования. Также выполняется ряд вспомогательных задач: управление согласованием передатчика с антенной, мультиплексирование между низкоскоростными схемами индивидуального оборудования и магистральной линией управления, вывод на управляющее устройство различного оборудования, программирование телеметрической системы.

Основные технические характеристики передатчиков второго поколения приведены в табл. 5.2.

К подобным передатчикам предъявляются следующие основные требования:

Таблица 5.2.

## Основные технические характеристики передатчиков входного поколения

Страна, фирма	Тип передатчика (усилителя)	Выходная мощность, кВт	Диапазон частот, МГц
Великобритания Marconi	H1041	1	1,6...30
	H1141	10	1,6...30
	H1241	50	2...30
США, Collins	HF1051	1	1,6...28
	HF8020	1	1,6...30
	HF8021	3	2...30
	HF8022	10	2...30
	HF8023 (транзисторный)	1	1,6...30
США, Harris	RF1130 (транзисторный)	1	1,5...29,8
	ХК859 (на полевых транзисторах)	1	1,5...29,9999
ФРГ, Rohde-schwarz			

Окончание табл. 5.2

Страна, фирма	Время перестройки, с	Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Великобритания Marconi	2—3; 5	3,8...4,45	545 × 700 × 1600	300
	5	19...29	1500 × 700 × 1600	700
	5; 10	79	1850 × 1000 × 1600	1200
США, Collins	—	7	525 × 686 × 1600	340
	6—10	3,5	483 × 653 × 267	23,6
	6—10	9,1	808 × 705 × 1753	497
	6—10	23	1237 × 705 × 1753	845
	—	2,8	572 × 260 × 483	23,6— усилитель
США, Harris	—	—	—	—
	—	—	—	—
ФРГ, Rohde-schwarz				

обеспечение управления со скоростью 110 Бод и передача данных по телетайпу. При такой скорости необходимы максимальная краткость команд и незанятость линии. Управление аппаратурой и ведение адаптивной радиосвязи осуществляются с помощью микропроцессорной системы, построенной на основе специального микропроцессора. Схемы управления конструктивно выполненные в виде однотипных съемных модулей с использованием ИС, устойчивых к шумам. При этом модуль счетчика частоты выбирает значения заданной оператором частоты и выдает команду грубой настройки усилителя; три идентичных сервомодуля подают сигналы на шаговые двигатели, приводящие в действие конденсаторы переменной емкости. Команды грубой настройки передаются в аналоговой форме, точной — в цифровой. Схема выбора диапазона управляет переключением индуктивностей

настройки и нагрузки оконечного каскада и диапазоном устройством предоконечного каскада. Последовательность автоматической настройки контролируется модулем управления настройки. Кроме модулей настройки предусмотрены модули обнаружения неисправностей, управления источниками питания, дистанционного управления, калибровки. Схемы передатчиков обеспечивают возможность комплексирования.

Передатчик типа HF8023, комплекслируемый с аппаратурой HF8020, HF8021, HF8022, обладает широкополосностью и предназначен для работы в адаптивных линиях радиосвязи. Усилитель передатчика состоит из четырех модулей, имеющих десять транзисторов, два из которых используются в предварительном каскаде усиления и восемь — в четырех оконечных каскадах.

Адаптивная работа комплекса передающих устройств управляется специальным микропроцессором, который обеспечивает: частотно-манипулированный цифровой избирательный вызов; сканирование по частоте при приеме; проверку качества канала связи; автоматическое вхождение в связь; выбор режима работы (симплексную, полудуплексную, дуплексную); программируемую предварительную настройку; возможность шумоподавления. В автоматическом режиме осуществляется сканирование десяти заранее подготовленных частот приемников. Предусмотрены режимы работы при установлении связи вручную и методом дистанционного управления с помощью стандартного кода.

Комплекс радиостанций фирмы Rohac-Schwarz (ФРГ) характеризуются высокой стабильностью синтезируемых частот, малым временем перестройки частоты, высокой степенью автоматизации за счет применения вычислительной техники и предназначен для работы в адаптивных линиях связи. Пылеводонепроницаемая конструкция передатчиков обеспечивает их устойчивую эксплуатацию на подвижных средствах. Достигнутая степень автоматизации передатчиков повышает оперативность при обеспечении связи в 5—10 раз, а надежность канала связи возрастает с 30—40 до 80—90%. Применение в оконечном каскаде полевых транзисторов обеспечивает его защиту от перегрузок и короткого замыкания, регулировку мощности передачи без опасения перегрузок.

В некоторых широкополосных передатчиках усилитель работает по схеме «банка мощности» (рис. 5.1). В этом случае обеспечиваются равномерное усиление сигнала во всем диапазоне и связь по нескольким каналам через одну антенну. Такие передатчики в первую очередь устанавливаются на кораблях. «Банк мощности» дает возможность одновременного излучения комбинаций ВЧ сигналов одной антенной при минимальном числе усилителей. Он обеспечивает переключение сигналов большой мощности на различные антенны за счет фазирования сигналов малой мощности и работу в любом стандартном режиме, использующем метод ППРЧ.

В «банке мощности» используются специальные широкополосные симметрирующие трансформаторы с перекрестными соединениями, которые могут подключать любые группы усилителей к любой комбинации антенн путем управления фазой выходных ВЧ сигналов. Число таких комбинаций зависит от требований, предъявляемых к системе связи. На рис. 5.2 приведена одна из возможных компоновок комплекса передатчиков по принципу «банка мощности».

Симметрирующий широкополосный трансформатор имеет малые потери и работает так, что при подаче на вход синфазных сигналов сложные выходные сигналы поступают на пару полюсов, а при сдвиге входных сигналов в пределах  $0...180^\circ$  мощность будет подаваться на выходные пары полюсов в отношении,

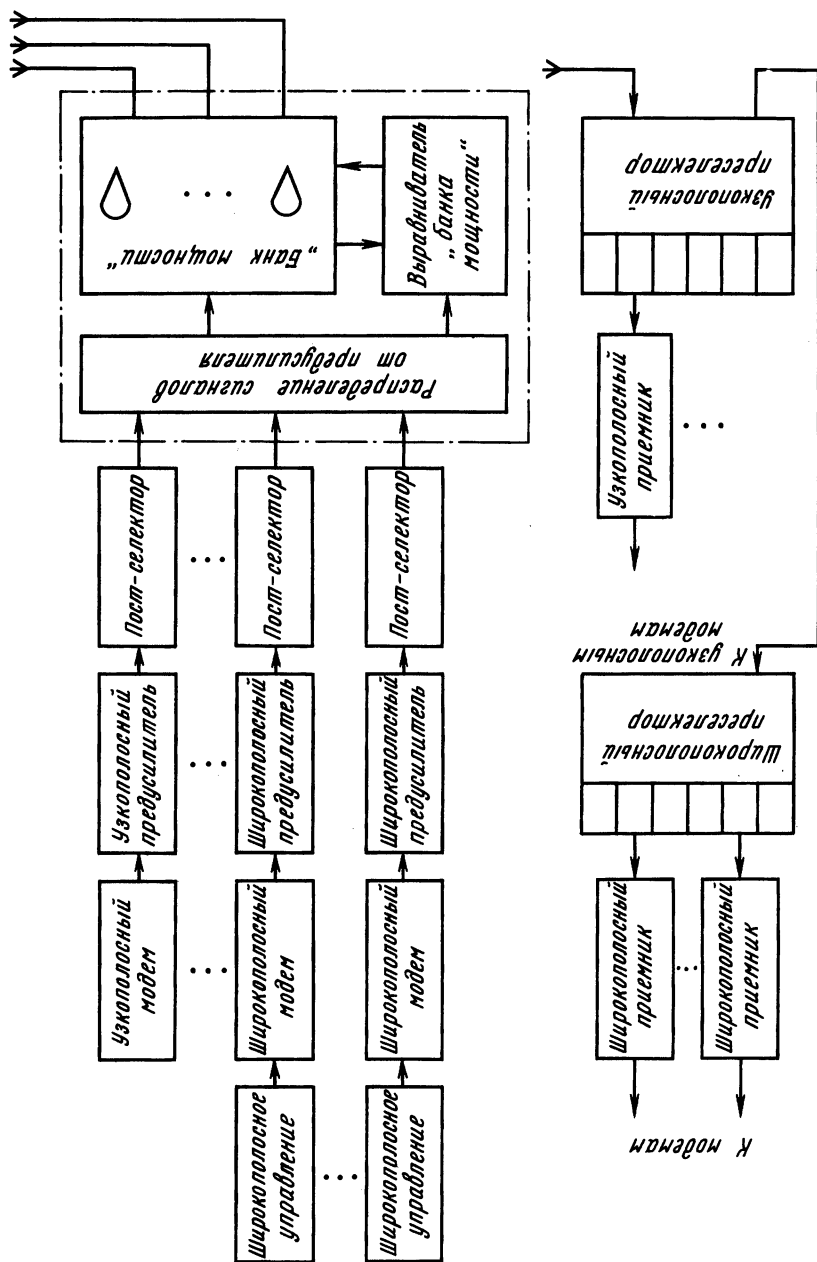


Рис. 5.1. Структурная схема «банка мощности»

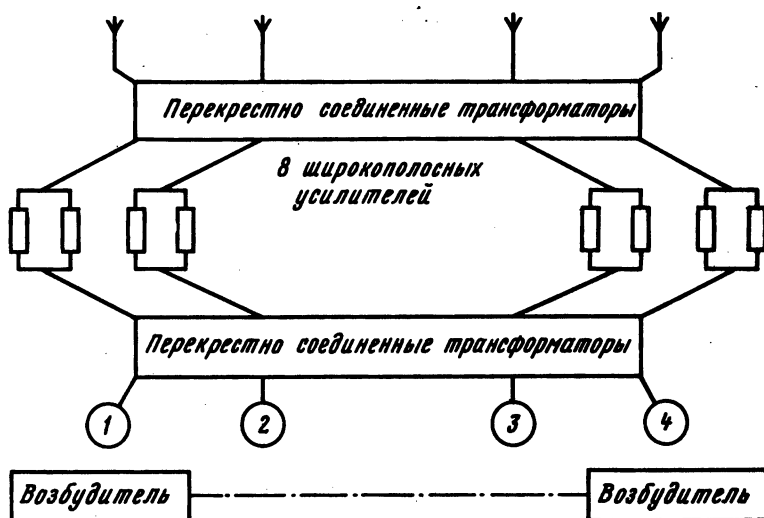


Рис. 5.2. Компоновка комплекса передатчиков по принципу «банка мощности»

зависящем от угла фазового сдвига. На этом принципе построена система «перекрестного соединения суммирующих трансформаторов». На рис. 5.3 дана усовершенствованная схема с попарно соединенными широкополосными усилителями. Мощность, поданная на любую из входных пар полюсов, обеспечивает одинаковое возбуждение усилителей либо синфазными, либо противофазными сигналами. При

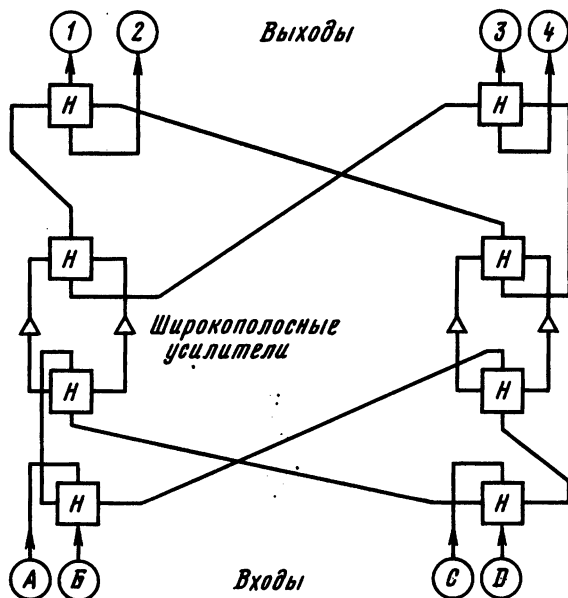


Рис. 5.3. Перекрестно соединенные симметричные трансформаторы с усилителями

параллельном включении четырех усилителей мощностью 1 кВт можно на выходе получить мощность до 4 кВт. Как правило, в «банке мощности» используется усилитель мощности 1 кВт, обладающий высокой линейностью и широкополосностью. Мгновенная полоса пропускания такого усилителя (например, Н1051) почти 28 МГц, поэтому он пригоден для одновременного усиления нескольких независимых ВЧ сигналов. Подобный усилитель может работать в режиме ППРЧ, не требует защиты при работе на несогласованную нагрузку и может работать даже на закороченную цепь.

Основные преимущества «банка мощности»: широкополосная система не требует сложных устройств настройки; обеспечивает быстрое переключение сигналов большой мощности на любое число выходов без использования антенного матричного переключателя; позволяет вести передачу на многих частотах, при этом каждый передаваемый сигнал может подаваться на различные выходы, не влияя на другие передаваемые сигналы; позволяет создавать системы с высокой степенью надежности; допустимая мощность может быть увеличена за счет непосредственного параллельного соединения усилителей.

**Приемные устройства.** Технические параметры наиболее распространенных приемных устройств основных капиталистических стран приведены в табл. 5.3.

Характерными особенностями приемных устройств являются: изготовление с расширенным рабочим диапазоном частот 10...30 МГц (например, приемники CR300, TRC-182, E401); широкое использование интегральных схем; обеспечение стабилизации частоты с дискретной перестройкой и цифровым отсчетом; функционально-модульное конструктивное исполнение; работа на одной боковой полосе; обеспечение первой промежуточной частоты выше диапазона принимаемых частот; наличие программируемого управления с помощью двоичного кода; создание приемников, обеспечивающих полностью цифровую работу (у части приемников в цифровом исполнении выпускаются синтезаторы, системы подстройки частоты и фазы, линейные и нелинейные фильтры); изготовление приемников с ППРЧ и «интеллектуальными процессорами». Основные усилия фирм-изготовителей направлены на изготовление повышенной надежности аппаратуры, повышения работы устройств быстродействия, на улучшение качества передаваемых сигналов, снижение массы, габаритных размеров и стоимости аппаратуры.

Приемные устройства обладают чувствительностью до 0,1 мкВ, отличаются высокой стабильностью частоты и подавления гармоник до 80...100 дБ.

Для обычных магистральных линий связи разрабатываются приемники в диапазоне 10 кГц...1,5 МГц, а для всех других систем радиосвязи, включая правительственные системы, от 0,5 до 30...40 МГц.

**Антенно-фидерные устройства (АФУ).** На магистральных радиоперелиниях используются различные АФУ, в том числе горизонтальный полуволновый симметричный вибратор, антенны ромбические и полуромбические,  $\lambda$ -образные, логопериодические вертикальной и горизонтальной поляризации, несимметричные вибраторы. В диапазоне частот 1,5...30 МГц широко применяются логопериодические антенны с коэффициентом усиления от 10...13 до 15...17 дБ.

Антенно-фидерные устройства постоянно совершенствуют. Так, в диапазоне 2...30 МГц создаются антенны, обеспечивающие адаптацию к помеховой обстановке, автоматическое управление диаграммой направленности в целях направления нулевого потенциала на источник помех, автоматическое управление поляризацией

антенны; многофункциональность антенно-мачтовых устройств (АМУ). В диапазоне 30...120 МГц используются вращающиеся логопериодические антенны с вертикальной и горизонтальной поляризацией, внедряются широкофункциональные процессорные устройства с использованием смещенных антенн, что позволяет уменьшить воздействие помехи на 22...32 дБ в диапазоне 30...80 МГц.

Разработка антенн продолжается в направлениях расширения диапазона частот, развития логопериодических типов антенн, совершенствования трактов приема — передачи, уменьшения демаскирующих факторов, уменьшение массо-габаритных характеристик.

### 5.3. Радиосвязь с подвижными абонентами

**Системы подвижной радиосвязи.** Используемые системы радиосвязи с подвижными абонентами можно разделить на ведомственные (или частные) подвижной связи (ВСПС); сотовые подвижной связи (ССПС); персонального радиовызова (СПРВ). Ведомственные системы обслуживают узкий круг абонентов, сотовые предназначены для обеспечения радиосвязью большого числа абонентов с выходом на стационарную телефонную сеть общего пользования, а системы персонального радиовызова с появлением автомобильных и портативных переносных приемников нашли исключительно широкое применение.

Существующая сеть подвижной радиотелефонной связи обладает 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 передать телефонные сообщения, но и организовать данные, телексную связь, факсимильную связь, доступ к международным общественным базам данных, автоответ, передачу и прием медицинских данных, определение местоположения подвижного абонента с точностью до десятка метров и т. д.

Схема передачи телексных сообщений представлена на рис. 5.4. Выход станции абонента позволяет подключаться на местную (внутри страны) и международную сети. Основными устройствами сети передачи данных являются модем и интерфейс. Модемы обеспечивают работу в диапазонах 151...174, 450...475, 928...960 МГц в полосе телефонного канала (передают данные со скоростями 300, 1200, 2400, 4800, 9600 бит/с, основная скорость 4800 бит/с).

Система подвижной радиосвязи позволяет автоматически определять и отражать на экране монитора положение автомобиля. Это необходимо при перевозке ценных грузов, угоне автомобилей, а также проведении различных операций по регулировке движения автотранспорта и определении места нужного автомобиля в реальном масштабе времени. Место нахождения автомобиля определяется с точностью до нескольких метров автоматически без участия водителя с помощью малогабаритного радиоприемника — навигационной приставки к сотовому радиотелефону специальной конструкции. Приемник имеет малые габаритные размеры и размещается на микротелефонной трубке.

Местоположение может определяться следующими способами: автоматически по указанию центральной станции управления (или ЭВМ) без участия водителя; вручную водителем или диспетчером; водителем при нажатии сигнала «Тревога». Во

# Технические параметры приемных

Принадлежность, технические характеристики	Находящиеся в эксплуатации				
	H2900	651S-1	RA1772	CR302A	
	1	2	3	4	5
Страна	Великобритания	США	Великобритания	Швеция	
Фирма-изготовитель	Marconi	Collins	Racal	SRT	
Диапазон частот, МГц	1,25...30	0,25...30	0,15...30	0,01...30	
Сетка частот, Гц	Через 1	Через 100	Через 10	Через 100	
Нестабильность частоты	$2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$ $6 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-8}$	
Вид работы	A1A, A3E, R3E, H3E, B8E, R7A, F1B	A1A, A3E, R3E, B8E, F1B, F3E,	A1A, A3E, H3E, R3E, B9W	A1A, A2A, R3E, H3E, A3E, B8E, F1B R7A	
Время настройки, с	Не более 2	—	—	0,1	
Коэффициент шума, дБ	14	14	11	10	
Потребляемая мощность	125 В·А	70 Вт	60 В·А	60 В·А	
Масса, кг	40,8	15	18	18	
Конструктивное решение	Система настройки декадная	Твердотельное исполнение, дистанционное управление	—	—	
Ориентировочная стоимость, тыс. дол.	—	—	—	6,5	

всех случаях сигнал вызова от центральной станции управления проходит к абонентской сотовой радиотелефонной станции, затем к радионавигационному приемнику, выдающему измеренные координаты, которые через сеть сотовой связи поступают в центральную станцию управления (либо к руководителю или диспетчеру).

Координаты подвижного абонента автоматически, по мере его передвижения, передаются от одной базовой станции к другой. Характерным является автоматическая регулировка мощности передатчика в целях экономии энергопотребления. Нормальным отношением сигнал-шум для сотовой связи считается 18 дБ для 90% зон связи, практически эта величина составляет 27 дБ для 50% зон. В период передачи данных при обнаружении ошибок пакет информации повторяется.

Для обеспечения работы средств подвижной связи в диапазоне 30...470 МГц освоены стандартные поддиапазоны (30...68; 68...87,5; 146...174; 350...370; 440...470 МГц) с разносом каналов 12,5; 20; 25; 30 кГц при использовании частотной модуляции. Все радиостанции полностью полупроводниковые и имеют градацию выходной мощности 0,1; 0,4; 1; 2; 3; 10; 20; 25 Вт.

## устройств магистральной связи

Устройства		Перспективные			
ICS-3		PF-550	TPS-394A	TRC-182	E401
6		7	8	9	10
Великобритания		США	Франция	США	ФРГ
Marconi 1...30		Harris 0,1...30	Thomson — CSF 0,4...30	— 0,01...30	Siemens 0,01...30
Через 1 —		Через 100 $1 \cdot 10^{-6}$	Через 10 —	Через 10 $1 \cdot 10^{-7}$	Через 100 $3 \cdot 10^{-7}$
A1A, R3E, H3E, J3E,		A1A, A3E, R3E, B8E, F1B F3E	A1A, A3E, N3E, F1B,	A1A, A2A, R3E, F1B,	A1A, A2A, A3E, H3E, B8E, J3E F1B, F3C
10 17		— 13	— —	— —	5 —
—		75 Вт	—	—	84 В·А
—		20,4 —	— —	— —	30
Дистанционное управление					
—		—	4,95	15	—

В радиостанциях, вместо применяемого ранее классического блока опорных частот, собранного на кварцах, для отдельных каналов широко используются синтезаторы частоты, управляемые микропроцессорами. Это позволило коренным образом изменить производство оборудования, упростить техническое обслуживание, существенно улучшить стандартизацию и унификацию аппаратуры.

Основные технические характеристики некоторых абонентских радиостанций приведены в табл. 5.4.

Основными особенностями возимых радиостанций являются: многоканальность; работа в диапазоне до 800 МГц; возможность использования разнесенного приема; автоматическое регулирование уровня мощности по сигналам с базовой станции; встроенный контроль работоспособности аппаратуры с отображением на дисплее; использование кодового ключа для санкционирования пользования радиостанцией; автоматическое соединение с абонентом АТС; возможность выхода в международную сеть связи.

Основой оборудования главной станции подвижной связи (ГСПС) является семейство электронных коммутаторов, представляющих собой переключатели

Таблица 5.4.

## Основные технические характеристики некоторых абонентских радиостанций

Принадлежность, технические характеристики	Дупа	Дупа Т. А. С.	The Direct. Zinc	Серия GM —4000	Combi
	США			Япония	Финляндия
	Motorola			OKU Mitsubishi	Mobira
Фирма-изготовитель	850	850	850	850	450
	45	45	—	—	10
	30	30	30	—	20, 25
	666	666	666	600	180
	Носимая	Возимая	Возимая	Возимая	Возимая
	0,6	3	3	65	15 (1,5)
	0,35	0,35	0,5	0,5	0,5
	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
	7,5	13,7	13,7	13,7	13,2
	-30... +60	-30... +60	-34... +70	—	-25... +55
Габаритные размеры, мм: приемопередатчика блока управления	0,8	4,03	5,5	3,5	3,5
	206 × 76 × 46	235 × 252 × 54	250 × 270 × 59	223 × 190 × 66	244 × 180 × 93
	—	100 × 230 × 80	—	—	185 × 44 × 70

с управлением по программе, введенной в запоминающее устройство. Соединение со стационарными телефонными сетями и базовыми радиостанциями осуществляется по цифровым каналам с помощью импульсно-кодовой модуляции. Распределенные дополнительные микропроцессорные устройства обеспечивают единство и надежность системы. Автоматическая диагностика обнаруживает неисправности и сигнализирует о них.

Оборудование коммутаторов унифицировано, имеет модульную конструкцию.

Так, коммутатор типа EMX-100 (США) содержит 384 входных устройства от базовой сети и обеспечивает организацию работы по 100 каналам связи; типа EMX-250 имеет 768 выходных устройств и обслуживает до 12 тыс. абонентов системы; типа EMX-500 содержит 1536 входных устройств и позволяет организовывать до 500 каналов связи для обслуживания 30 тыс. абонентов.

Оборудование микросоны базовой связи (МЗБС) состоит из приемопередающего радиооборудования и аппаратуры управления МЗБС, обеспечивает управление и контроль каждого сота: выделение телефонного канала, его переключение и др. Радиооборудование, как правило, восьмиканальное (предусмотрено увеличение числа каналов: передающего до 16, приемного — до 64). Выделен канал для обмена сигналами взаимодействия. Используемая антенна обеспечивает выбор направления излучения через  $60^\circ$ .

**Аппаратура наземной подвижной радиосвязи.** Технические характеристики приведены в табл. 5.5.

Большинство носимых УКВ радиостанций предназначено для симплексной связи между движущимися объектами или между движущимся объектом и базовой станцией, возможно использование и полудуплексной связи. Станции имеют малую массу и габаритные размеры, влагозащиту и ударопрочную конструкцию, а также устройства шумоподавления и индикаторы питания. Они используются в коммерческих, военных системах связи, промышленности, полиции и службах быта. Приемник и передатчик, как правило, выполнены в двух отдельных блоках и обеспечивают работу по любому из 60 каналов. Подстройка на частоту заданного канала обеспечивается автоматически. Питание осуществляется от одной никель-кадмиевой батареи, антенны смонтированы внутри корпуса приемника и передатчика. Радиостанции состоят из четырех — шести основных модулей и могут быть носимыми или устанавливаться в автомобилях, на речных судах, лодках и других движущихся объектах.

Для создания перспективных средств подвижной радиосвязи разрабатываются новые методы по обеспечению работы одной радиостанции в различных диапазонах частот, создаются единые модули аппаратуры для носимых и возимых станций, внедряются устройства автоматической синхронизации сигнала с использованием схем с двойной фазовой синхронизацией, увеличиваются мощности передатчика, снижается стоимость аппаратуры.

В комплект носимых радиостанций входят: одна из типов антенн (телескопическая, спиральная, ленточная, подвесная, встраиваемая в переносные ремни); батареи (емкостью 450, 500, 700, 800 мА·ч); зарядные устройства, обеспечивающие зарядку в течение 1...3 ч; набор сменных модулей, гарнитура.

В США разработана оригинальная носимая дуплексная радиостанция Дупа Т.А.С.8000, сочетающая в себе широкие функциональные и эксплуатационные возможности для использования в сотовых системах связи и условиях крупного города и в масштабах страны. Станция выполнена в виде микротелефонной

Таблица 5.5.

Технические характеристики наземных подвижных радиостанций

Тип радиостанции	Диапазон частот, МГц	Число каналов, режим работы	Разнос частот, кГц	Вид модуляции	Мощность, Вт	Чувствительность приемника, мкВ	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>США</i>							
RF822 возимая <sup>1</sup>	2...18	1...4 симплексная	—	AM	100	0,5	8,7; 12,9
RF220 возимая <sup>2</sup>	1...30	1...30, симплексная	—	AM	150	—	7,6; 20,2
RF201M возимая	2...24	1...60 симплексная	—	AM	150	0,5 и 1,5	7,6
RF280 возимая <sup>1</sup>	1,5...80	симплексная	0,1	AM/ЧМ	25 и 100	0,5	31,3
ST 1525 (RF 1525) <sup>3</sup>	148...174	785 000	—	—	25	0,85	8,15
ST 1550 возимая <sup>3</sup>	148...174	12, симплексная	—	—	25 и 100	0,35	6,34
RF 2800 носимая	146...174	1...6, симплексная	1000	ЧМ	5	0,35	0,8
RF 440 на судах <sup>4</sup>	156...162	симплексная 24 + 2 только прием	25	ЧМ	25 и 10	0,4 и 0,5	11,3
RF 448 на судах	156...162	80 прием 54 передача	25	ЧМ	25	0,4	12,3
RF 457B на судах	156...162	12	25	ЧМ	25	0,4 и 0,5	3,1
RF 2814 носимая	25...54, 450...470	1...6, симплексная	—	—	5	—	—
RF 2832 носимая	146...174	То же	1000	ЧМ	5	0,35	0,8
RF 2842 носимая	146...174	»	1000	ЧМ	5	»	0,8
MH-70 носимая	150,8...174	4	25/30	ЧМ	5/2	»	0,9
PT-300 носимая	30...54, 132...174	8	20/40	ЧМ	5	0,5	2,8
MX-300 носимая	146...175, 407...512	—	—	ЧМ	6	0,5	—
MH-10 носимая	30...50, 150...174	4	20/30	ЧМ	1,5	0,35	0,9
HT-220 носимая	67...68, 406...512	1...2	—	ЧМ	2/5	0,25 (0,35)	0,8
CD-100 носимая	66...88, 450...470	9	12,5/25	ЧМ	15	0,35	0,5
Tactec носимая	146...175, 407...512	1...2	—	—	5	0,5	0,510
Дупа Т. А. С.8000 носимая	825...889	666, дуплексная	30	—	0,6	0,35	0,8

Тип радиостанции	Диапазон частот, МГц	Число каналов, режим работы	Разнос частот, кГц	Вид модуляции	Мощность, Вт	Чувствительность приемника, мкВ	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8

*Великобритания*

Еуропа возимая	68...98, 192...174	3...6, симплексная	—	ЧМ	8/25	0,5	3
Olympic возимая	148...174, 440...470	1...12 симплексная	12,5/25	ЧМ	15	0,5	2,45
Rocketfone носимая	440...470	60 симплексная	25	ЧМ	0,3	0,5	0,34
TRA 971 носимая <sup>1</sup>	40...55, 70...88	2 симплексная	25	ЧМ	1	3	1,2
PRM 4060 носимая	40...55	6 симплексная	25	ЧМ	0,25	1	0,6
TPA965 ранцевая <sup>1</sup>	38...70	323 симплексная	25	ЧМ	1	0,5	3,1
TPA967/3 всех видов	38...76	1520	25	ЧМ	3	10	3,5
GR 670 на судах	156...165	28 симплексная	25	ЧМ	20	—	—
GR 674 на судах	156...165	28 симплексная	25	ЧМ	20	—	—
GR 470B	156...163,1	100 симплексная	25	ЧМ	20	—	—

*ФРГ*

FuG 10/FuB 13 носимая	68...87,5; 146...174	10	20/25	ЧМ, ФМ	2,5	—	0,7
Teleport носимая	455...470	10	20/25	ЧМ, ФМ	1	—	1,1
Telesat TC возимая	455...470	10	20/50	ЧМ	6/10	—	2,4
Teledix возимая	455...470	60	20/50	ЧМ	6/25	—	7,5
RF2FMH носимая	455...470	3	20/25	ЧМ	1	0,3	0,79
PF2UH носимая	440...470	3 симплексная	20	ЧМ	0,5	0,6	0,76

Продолжение табл. 5.5

Тип радиостанции	Диапазон частот, МГц	Число каналов, режим работы	Разнос частот, кГц	Вид модуляции	Мощность, Вт	Чувствительность приемника, мкВ	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Швейцария</i>							
SE 72 носимая	138...174	1...8 симплексная	20/25	ЧМ	2	0,35	0,7
Radiogox-55 возимая	68...87,5, 400...470	1...6 симплексная	12,5/25	ЧМ	6/15	0,35	2,4
SE 125 носимая	77,5...87,5	8 симплексная	25	ЧМ	0,8	0,4	2,4
SE 18 возимая	68...87,5; 148...174	1...6 симплексная	25/20	ЧМ	6/15	0,5	5,5
Tigfone возимая	30...50; 450...470	5 симплексная	—	ЧМ	6—35	0,5	—
SH503MG носимая <sup>5</sup>	132...174	6 симплексная	20/25	ЧМ	1—3	0,35	0,95
SC530EG 530, 525, 510, возимая <sup>6</sup>	142...154; 192...174	3 симплексная	20/25	ЧМ	10—30	0,35	2,5
PA-81 носимая	68...88	6 симплексная	—	ЧМ	1	0,3	1,1
MA-81 возимая	68—88	12 симплексная	—	ЧМ	25	0,2	3,5
FA-81 стационарная	68...88	12 симплексная	—	ЧМ	25/50	0,2	3,5
возимая	144...146	12	—	ЧМ	15	0,3	2,0
на судах	156...162	12	—	ЧМ	25	0,5	3,0
FA-100 носимая	150...174, 450...512	1—12	25/30	ЧМ	6/2	0,35	0,68
<i>Швеция</i>							
P102 носимая	68...88	—	10 МГц	—	2,5	0,89	—
P104 носимая	146...174	—	1,2 МГц	—	2,5	0,89	—
P105 носимая	450...470	—	3,0 МГц	—	1,0	0,89	—

Тип радиостанции	Диапазон частот, МГц	Число каналов, режим работы	Разнос частот, кГц	Вид модуляции	Мощность, Вт	Чувствительность приемника, мкВ	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
R114 носимая	151...174	—	5,5 МГц	—	5,0	1,0	—
R115 носимая	450...470	—	5,5 МГц	—	5,0	1,0	—
R82 носимая	68...88	6	25/20 кГц	—	1,0	0,25	625
R84 носимая	146...174	6	12,5 кГц	—	0,8	0,35	470
R85 носимая	420...470	6	25 кГц	—	0,5	0,45	570
<i>Канада</i>							
DP-13 носимая	450...470	6	30	ЧМ	4	0,35	0,6
DP-16 носимая	132...174	5	30	ЧМ	4	0,35	0,64
DT-56 возимая	138...174	6, симплексная	30	ЧМ	30	0,35	3,5
DT-57 возимая	138...174	16, симплексная	30	ЧМ	15	0,35	3,63
Сиррет VII на судах	146...174	—	25	ЧМ	25	0,5	5
<i>Япония</i>							
EMM-1010 носимая	142...162	—	—	ЧМ	10/5	3	4
FUM-0119T носимая	364...470	—	—	ЧМ	1	6	0,75
EMU-2002 возимая	406...420	4	25	ЧМ	20	0,35	5,1
FM-27A, 10/25 возимая	146...174	1...8	20/25	ЧМ	10/25	0,4	1,8/2,1
FM-31A 10/25 возимая	142...174	—	20/25	ЧМ	10/25	3	1,9
FM-31D 05/10, возимая	333,5...470	1...4, симплексная	20/25	ЧМ	5/10	3	1,9

1 Для военных и промышленных систем

2 Для судов

3 Для наземных служб

4 Бортовые станции

5 Используется полицейскими, пожарными, строителями

6 Используется полицейскими

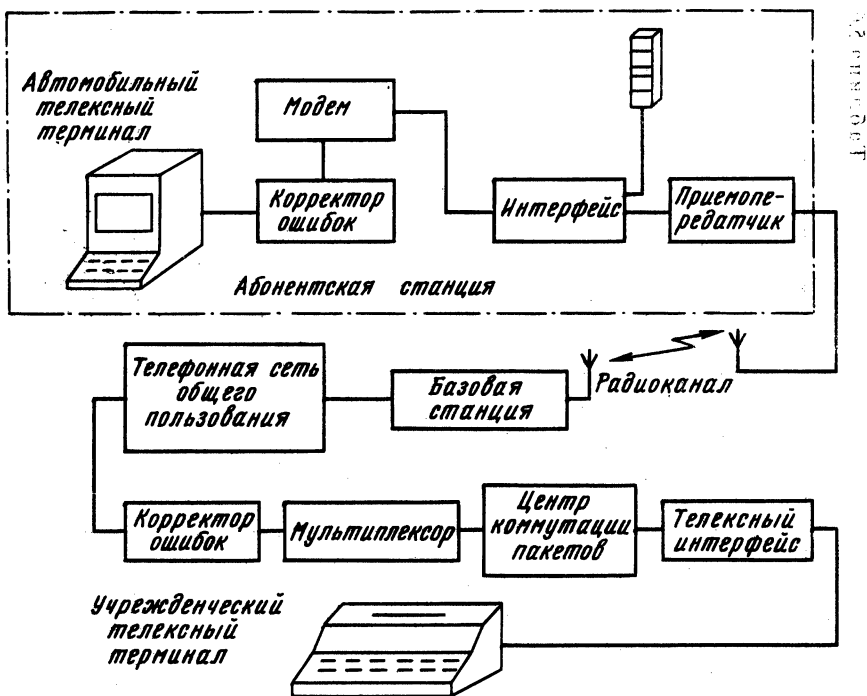


Рис. 5.4. Схема передачи телексных сообщений

трубки с клавишной тастатурой. В ее состав входят встроенные телефон, микрофон и антенна, имеющая постоянную длину, но можно подключать и к внешней антенне. Специальные батареи обеспечивают непрерывность связи в течение 8 ч, из них время передачи составляет 30 мин. В радиостанциях обеспечивается: отображение на экране дисплея 7-, 8-, 9-, 14- и 16-значных номеров телефона и визуальное подтверждение правильности набора номера абонента до начала передачи в эфир; предварительный ввод в запоминающее устройство 10, 15, 20, 30, 35 или 99 номеров телефонов, что обеспечивает сокращение вызова абонентов; возможность выхода на международную связь, обеспечение «мгновенной записи» телефонного номера и другие сервисные услуги.

**Сотовые системы подвижной связи.** Сотовые системы получили широкое развитие в середине 80-х годов в США, Японии, Великобритании, ФРГ, Скандинавских странах.

Схема построения сотовых систем приведена на рис. 5.5.

В США сотовые системы связи внедрены в большинстве городов и широко развиваются в сельской местности. К 1993 г. в США число абонентов достигнет 3,8 млн (1,73 на 100 жителей).

Частоты, выделенные для сотовых систем связи в США, как правило, находятся в двух полосах шириной по 20 МГц каждая: одна — для сигналов, передаваемых

Таблица 5.6.

Технические характеристики основных сотовых систем радиосвязи

Технические характеристики	Системы			
	США	Японии	Скандинавских стран	Великобритании
Диапазон частот передачи станций, МГц: базовых подвижных	870 ... 890 825 ... 845	870 ... 885 925 ... 940	463 ... 467,5 453 ... 457,5	935 ... 950
Дуплексный разнос, МГц	45	55	10	45
Разнос между соседними каналами, кГц	30	25	20	25
Общее число дуплексных каналов	666	600 (ожидается до 2000)	180	600
Мощность центральных станций, Вт	100	100 (ожидается до 20)	50	50
Номинальная мощность передатчика подвижных станций, Вт	3	1 ... 5	15	7
Типичный радиус сота, км	2 ... 20	5 (город) 10 (пригород)	1,8 ... 40	2 ... 20
Речевые сигналы: тип модуляции	±12	±5	Фазовая ±5	±9,5
максимальная девиация, кГц				
Сигналы управления:				
тип модуляции				
максимальная девиация, кГц	±8	±4,5	Импульсно-кодовая ±3,5	±6,4
скорость передачи, кбит/с	10	0,3	1,2	8
эффективная скорость передачи информации, кбит/с	0,27 ... 1,2	0,12 ... 0,18	0,46	0,22 ... 0,96
Код защиты от ошибок	Укороченный	Укороченный	—	Укороченный
Защита сообщения	Повторение передачи сигнала управления	Повторение передачи сигнала управления	Адаптивное построение сообщения в случае ошибок	Повторение передачи сигнала управления

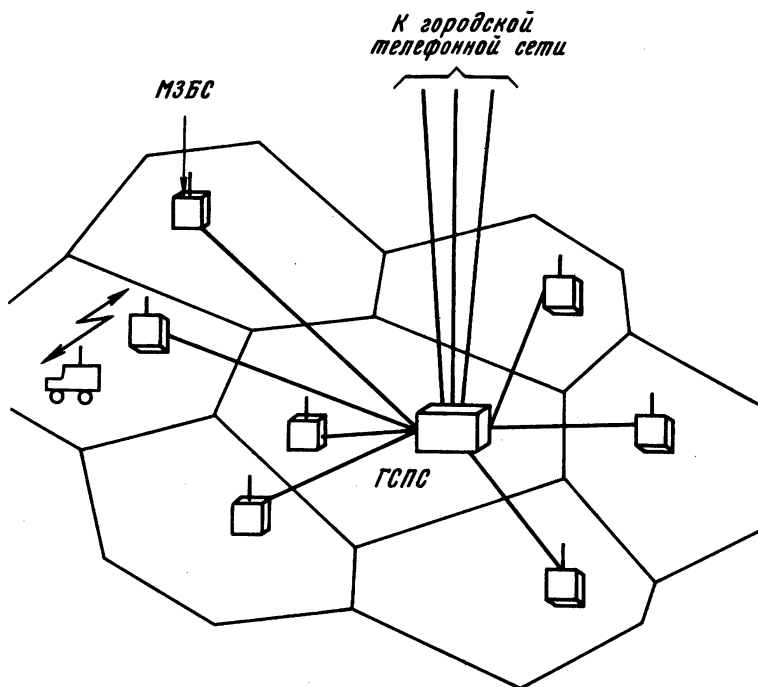


Рис. 5.5. Схема построения сотовых систем

с подвижных объектов на базовую станцию (825, 02—844, 98 МГц), другая — для сигналов, передаваемых с базовой станции на подвижные объекты (870, 03...889, 98 МГц). В этих полосах можно обеспечить 666 дуплексных каналов шириной 30 кГц каждый.

В Великобритании за короткий срок в обращении появилось более 300 тыс. мобильных и 85 тыс. портативных радиостанций в системе ведомственной связи, около 500 тыс. малогабаритных (карманных) радиоприемников персонального вызова для местных связей, более 300 тыс. радиоприемников для связи в пределах территории страны. Ожидается, что к началу 90-х годов 90% населения будет иметь возможность выхода на основную систему подвижной связи.

При использовании сотовой системы в Лондоне связь обеспечивается в радиусе 2 км, а в пригородах и сельской местности радиус ячейки около 10 км. Быстрый рост сотовых систем связи отмечается в Норвегии (1,2 на 100 жителей), в Швеции (к 2000 г. число радиостанций сотовой связи возрастает до 1 млн.).

Типовые эксплуатационные характеристики сотовых систем связи: число вызовов, приходящихся на одного абонента в день, 2,5; число вызовов в час наибольшей нагрузки 2500; среднее время разговора по местным линиям 2 мин; по международным линиям 4 мин; время переключения абонента 0,33 с; подвижные абоненты вызывают стационарных примерно около 80% случаев, а стационарные подвижных около 19; переговоры подвижных объектов между собой 1%.

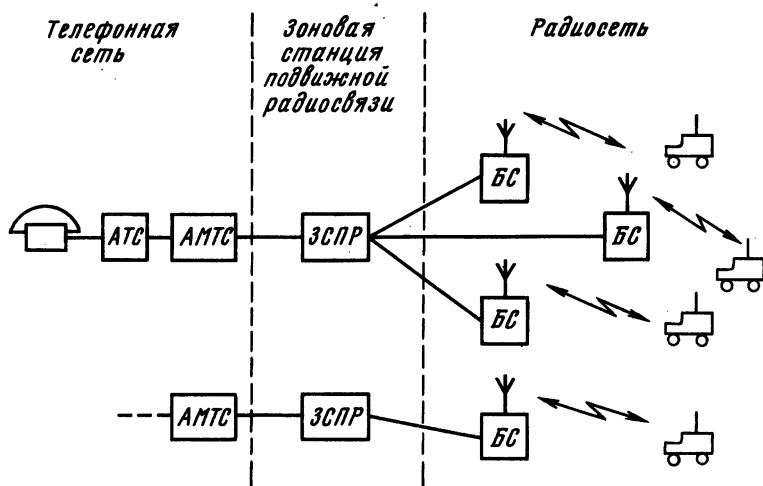


Рис. 5.6. Зоны обеспечения радиотелефонной связью

Основным недостатком сотовых систем является низкая вероятность обеспечения переговоров в период пиковой нагрузки (не более 50—70% всех желающих). Повторные вызовы в целях получения канала приводят к ухудшению работы сети.

Технические характеристики основных сотовых систем подвижной связи приведены в табл. 5.6.

**Система радиотелефонной связи NMT (Скандинавские страны).** На территории Швеции, Норвегии, Финляндии, Дании создана единая сеть подвижной службы автоматической радиотелефонной связи NMT.

Территория этих стран условно разделена на зоны обслуживания (рис. 5.6), в каждой из которых расположена зонавая станция подвижной радиосвязи (ЗСПР), соединенная телефонными линиями с несколькими многоканальными базовыми радиостанциями (БС), национальной телефонной сетью и соседней ЗСПР.

Основными функциями зоновой станции подвижной радиосвязи являются: выбор канала; управление передатчиками; измерение контрольного сигнала; осуществление общего контроля. Каждая ЗСПР управляет работой нескольких базовых станций, при этом используются управляющая ЭВМ и система микропроцессоров. Станция имеет также специальные следящие и запоминающие устройства для установления местонахождения каждого подвижного абонента.

В состав базовой станции входят передатчики и приемники, а также блок управления для связи с зоновой станцией. Каждая БС имеет определенное число каналов, один из которых используется как вызывной. Все подвижные станции, не участвующие в переговорах, синхронизируются по этому каналу.

Подвижный абонент располагает дуплексным приемепередатчиком с синтезатором частоты, модемом со скоростью передачи 1200 Бод и одним или несколькими микропроцессорами, обеспечивающими необходимое управление и сигнализацию.

Связь между подвижными абонентами и абонентом телефонной сети устанавливается в течение нескольких секунд путем набора номера выхода на сеть ЗСПР

и номера подвижного радиотелефона. Вызов же подвижной станции в обслуживаемой зоне осуществляется или одновременно всеми БС данной зоны или передается в ту зону, в которую переместился абонент. Местоположение абонента определяется по уровню сигнала, излучаемого подвижной радиостанцией. Если же подвижный абонент перемещается из одной страны в другую, переключается селектор страны.

Основными характеристиками системы NMT являются: диапазон частот при передаче от подвижной станции к базовой 453...457 МГц, от базовой станции к подвижной 463...467 МГц; разнос каналов 25 кГц; дуплексный разнос 10 МГц; общее число каналов системы 180, мощности передатчиков базовой радиостанции 50 Вт, подвижного радиотелефона 15 Вт.

В Швеции системы передачи данных подвижным абонентам построены по сетевому принципу, что позволяет улучшать использование частотного спектра в 2—7 раз. Система обеспечивает речевую передачу и передачу данных. При этом в ней осуществляется автоматический поиск абонента. В настоящее время в состав системы сотовой связи фирмы Mobitex входят 20 центральных, 60 узловых и 120 базовых станций. В ближайшие годы число базовых станций предполагается увеличить до 200. Передача данных осуществляется в режиме коммутации пакетов, длина пакета 512 байт. Особое внимание уделено передаче сигналов бедствия.

Система Mobitex обеспечивает работу в диапазоне 80 МГц. Используются дуплексные телефонные каналы с шириной полосы в эфире 25 кГц и разносом между дуплексными каналами 5 МГц. При передаче данных используются однопакетные сообщения со скоростью передачи от 2,4 до 64 кбит/с, что зависит от типа используемой аппаратуры и условий распространения радиоволн. Доступ к радиоканалу в системе осуществляется по принципу, когда не работают другие радиостанции, соблюдается приоритет связи, наивысший приоритет обеспечивается при передаче сигналов бедствия.

**Системы радиотелефонной подвижной связи Японии.** Системы представляют собой ячеистую структуру с широким применением ЭВМ и микропроцессоров, цифровых методов передачи сигналов управления и вызова. Системы характеризуются большой емкостью, быстродействием, повышенной надежностью связи, автоматизацией процессов установления соединения и ведения переговоров, простотой эксплуатации. Различают системы большой, средней и малой мощности.

Системы большой емкости обеспечивают связью до 35...50 тыс. абонентов и обслуживают более десяти наиболее густонаселенных городов Японии. Высокая пропускная способность систем получена за счет эффективного использования частотного спектра: сети построены между ячеек (малых зон), что дает возможность на сравнительно небольших территориях многократно использовать один и тот же канал. Применение в абонентской радиостанции синтезатора частоты позволяет выбирать для установления соединения любой из 600 радиоканалов, используемых в системе. Подключение к телефонной сети общего пользования осуществляется автоматически набором 10-значного номера подвижного абонента.

Системы имеют многоступенчатое управление подключением подвижного абонента к телефонной сети: АТС—коммутационный центр—станция управления—базовая станция—подвижный абонент. Структурная схема типовой сети представлена на рис. 5.7.

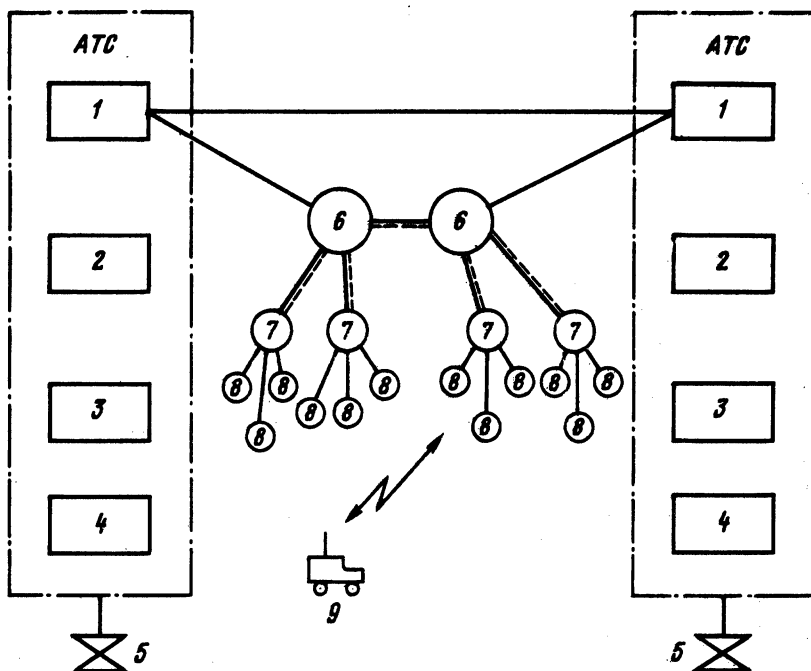


Рис. 5.7. Структурная схема типовой подвижной сети Японии:

1, 2, 3, 4—коммутационные центры; 5—соединение с соседней АТС; 6—станция управления; 7—базовая станция; 8, 9—подвижные абоненты

Автоматический поиск свободного радиоканала осуществляется с помощью выделенных каналов управления, которые являются общими для всех ячеек, входящих в состав одной зоны управления. Для передачи сигналов управления вызовом используются линии передачи данных: коммутационный центр—станция управления; станция управления—базовая станция—подвижный абонент. Скорость передачи 1200 бит/с.

На станции имеются устройства управления и контроля, которые обеспечивают оптимальную эксплуатацию радиоканалов и периодические измерения основных параметров каналов связи. После поднятия трубки радиотелефона сигнал вызова поступает на ближайшую базовую станцию, затем станция управления сравнивает уровни принятых сигналов от каждой базовой станции, определяет наиболее пригодную БС для подключения разговорного канала. Через коммутационный центр БС соединяется с АТС. При перемещении абонента из одной зоны в другую в процессе разговора (при ухудшении слышимости) станция управления проверяет каналы всех базовых станций, выбирает с наилучшим отношением сигнал-шум и через коммутационный центр переводит абонента на новый канал.

На коммутационном центре имеется специальная коммутационная система, оснащенная запоминающим устройством большой емкости. Основными функциями коммутационного центра являются: получение от подвижных абонентских станций сигналов набора номера, передача станции управления вызова от телефонной

сети, коммутация телефонных каналов, начисление стоимости за телефонные разговоры, запоминание местоположения подвижных абонентских станций (регистрация местоположения), переключение абонентской информации, передаваемой подвижными абонентскими станциями. Один коммутационный центр обслуживает около 50 тыс. подвижных абонентских станций.

Базовая станция содержит приемопередатчики, антенные устройства управления работой станции, устройства контроля качества и управления радиоканалами. Абонентская радиостанция состоит из приемопередатчика, микротелефона с тактильным набором, антенны и блока управления.

Основными характеристиками системы большой емкости являются: диапазон рабочих частот 860 ... 885, 915 ... 940 МГц; число радиоканалов 600; разнос каналов по частоте 25 кГц; разнос между каналами передачи и приема 55 МГц; мощность базового передатчика 25 Вт, мощность передатчика подвижной станции 5 Вт; радиус обеспечения связи в городе 5 км, в пригороде 10 км; на один коммутационный центр приходится 6 станций управления; на одну станцию управления 32 базовые станции; на одну базовую станцию 128 радиоканалов; обслуживаемых подвижных абонентов около 1,6 млн.

Система средней емкости используется в тех районах, где число абонентов не более 10 тыс., как правило, одна на префектуру (единица административного деления в Японии). Эта система имеет ячеистую (сотовую) структуру и отличается от системы большой емкости в основном меньшей масштабностью. По этому принципу построены и системы малой емкости.

В Японии создана цифровая подвижная радиосистема абонентской связи типа 26SS-D1, работающая в диапазоне 26 ГГц.

Радиус действия системы около 7 км с излучением на 360°. Для этого система снабжена четырьмя 90-градусными антеннами, расположенными перпендикулярно. Радиоаппаратура устанавливается в помещении (или вне его) с ориентацией на центральную станцию. Каждой 90-градусной радиозоне выделяются три несущие частоты, что обеспечивает общую максимальную пропускную способность системы около 172 Мбит/с. Технические данные системы следующие:

Полоса частот, ГГц .....	25,5 ... 27,0
Схема доступа .....	МДВР с закрепленными каналами
Модуляция .....	ЧМ
Частота синхронизации .....	16,384
Вероятность ошибок .....	$< 1 \cdot 10^{-8}$
Выходная мощность, дБм .....	20 или 22
Коэффициент шума, дБ .....	8 или 10
Скорость передачи, кбит/с .....	64; 192; 384; 768; 1,536; 6,144

**Системы радиотелефонной подвижной связи ФРГ.** Цифровая система сотовой связи типа CD900 введена в эксплуатацию в 1987 г. Она обеспечивает работу в диапазоне 900 МГц. Для повышения помехоустойчивости применяется многопозиционное кодирование и шумоподобные сигналы (ШПС). Система входит в состав интегральной цифровой сети связи страны.

К системе предъявлены следующие требования: высокая пропускная способность для обслуживания большого числа подвижных абонентов (порядка  $10^6$  на сеть); частотная эффективность использования отведенного диапазона частот; выполнение

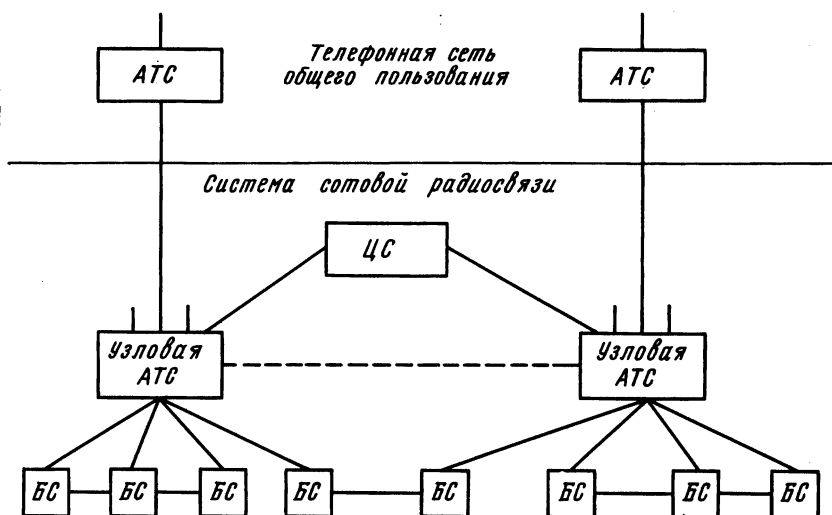


Рис. 5.8. Принцип построения сотовой радиосвязи системы СД900

нормативов по качеству передачи информации; двустороннее обслуживание; автоматический перевод абонентов с одной базовой станции на другую; автоматический поиск абонентов на всей территории обслуживания; обеспечение мер защиты информации и предотвращение постороннего доступа в систему; обеспечение дополнительного сервиса, в том числе передача сигналов бедствия, персональный радиовывоз.

Система CD900 является полностью цифровой и отвечает требованиям перспективных систем по качеству передачи информации, использованию цифровой коммутации и цифровой обработки сигналов. Телефонные, телекодовые и факсимильные сообщения передаются со скоростью 64 кбит/с. Переход к широкополосной цифровой радиосвязи позволяет применять многостанционный доступ с временным разделением каналов.

В аппаратуре системы применены СБИС и микропроцессоры.

Базовая станция располагается в центре каждой ячейки шестиугольной формы и обслуживает три сектора. Из 63 каналов 60 — информационные, а три для управления системой. При равномерном распределении трафика каждой из трех антенн базовой станции последовательно выделяется временной интервал, содержащий 20 информационных каналов и один канал сигнализации для функций управления. Каждый временной (канальный) интервал делится на четыре части: синхросигнал (проверяющий); стартовый сигнал (определяющий начало передачи); информационная часть (504 бит); защитный интервал.

Принцип построения сотовой системы радиосвязи CD900 показан на рис. 5.8. Мощность передатчика базовой станции 25 Вт, мощность мобильной станции 4 Вт, портативный 0,1 Вт. Приемник имеет три блока обработки: согласованный фильтр, многоканальный коррелятор, решающее устройство.

Принцип построения, методы модуляции и кодирования, применяемые в системе CD900, положены в основу разработки локальной сотовой организации радиосвязи

между базовыми станциями, размещенными на подвижных объектах. Параметры локальной сотовой сети: частота 60 ГГц; мощность передатчика 1 Вт; усиление антенн передатчика и приемника 10 дБ; шум-фактор 12 дБ; полоса УПЧ (64 дуплексных канала, 16 кбит/с) 3 МГц; отношение сигнал/шум в полосе УПЧ 9; вероятность ошибки 0,18; допуск замирания и затенение 8 дБ; общее усиление 138 дБ.

Кроме системы CD900 в ФРГ находятся в эксплуатации автоматизированные сети радиотелефонной сотовой связи «Сеть В», «Сеть С» и сеть Autotel. Мелкоячеистая сеть Autotel обеспечивает большую абонентскую емкость в цифровом режиме. Территория страны полностью обеспечивается услугами вышеперечисленных систем, и сетей сотовой связи с предоставлением доступа на международную сеть других стран, в частности Австрии, Люксембурга, Нидерландов.

**Система радиотелефонной связи TACS (Великобритания).** В системе TACS каждый автомобиль с радиотелефоном регистрируется в узловой (региональной) АТС. Абоненту выдается телефонный номер данной АТС. Узловая АТС хранит информацию через центральную АТС о всех передвижениях автомобиля и при вызове этого автомобиля определяет его местоположение и направляет ему вызов через ближайшую базовую станцию.

В системе TACS две группы по 21 каналу используются для сигнализации, 958 каналов являются информационными (речевыми). В речевых каналах применяется ЧМ, в каналах сигнализации — двоичная частотная манипуляция.

Сигналы сигнализации служат для организации дуплексного канала связи между базовой и абонентской станциями. Для сигнализации используются частоты 5970, 6000, 6030 Гц, а для ответа абонента 800 Гц.

Используются антенны ненаправленные. Коэффициент повторения частот 7. Предусмотрена автоматическая регулировка мощности: для автомобильного приемника на 32 дБ, для портативного на 20 дБ.

Абонентам системы TACS предоставляется возможность автоматического соединения с любым телефонным аппаратом национальной сети телефонной связи, а также доступ по сети международной автоматической телефонной связи Великобритании в 125 стран мира.

В центральной территории страны, кроме системы TACS, функционирует система радиотелефонной связи LABS.

**Особенности и сравнительные характеристики сотовых систем связи.** Основные характеристики сотовых систем связи различных государств приведены в табл. 5.7. Для большинства подобных систем характерными являются: сотовая (зональная) структура построения сетей; управление сетей с помощью ЭВМ и микропроцессоров; наличие системы автоматического определения местонахождения подвижной станции; автоматическое обеспечение непрерывности связи при пересечении подвижным абонентом границы зоны; передача сигналов управления системой в дискретной форме; использование большого числа каналов для увеличения пропускной способности; предоставление связи с любым телефонным абонентом на территории действия системы и предоставления выхода на систему междугородной связи.

Современные сотовые системы требуют больших начальных капиталовложений. В целях снижения капитальных затрат фирмы Японии поставили их в пропорциональную зависимость от развития системы, т. е. стоимость всей системы пропорциональна числу каналов, что обеспечивает самоокупаемость.

Рассмотренные системы связи позволяют обеспечивать переход от локальных систем с большими зонами обслуживания (радиус до 30 км) к системам сплошного обеспечения связью с микроканальным построением сетей с радиусом одной микрозоны 12 км.

Массовое развитие сотовых систем в настоящее время сдерживается высокой стоимостью аппаратуры и абонентской платой: средняя стоимость абонентской радиостанции составляет около 2000 дол., а абонентская плата в месяц 100...150 дол.

С переходом на цифровые методы передачи и коммутации и удешевлением аппаратуры, по мнению зарубежных специалистов, системы сотовой связи станут едиными широкоразветвленными национальными системами государств.

**Системы персонального вызова.** В целях обеспечения возможности эффективного использования системы персонального вызова территория страны разделяется на условные зоны. Так, в Великобритании имеется 340 зон радиовызова. Подобная структура принята и в других странах. Наибольшим спросом пользуются малогабаритные приемники, например портативные приемники фирмы NEC (Япония) с дисплеями и бегущей строкой, работающие с использованием цифровой и буквенной информации (табл. 5.8).

Активно решается проблема задействования в системах персонального вызова спутников связи. Планируется для организации международной системы персонального вызова задействовать как геостационарные спутники, так и спутники, расположенные на любых других орбитах. Такие работы активно проводятся в США в диапазоне 800...900 МГц, и в Японии — 20/30 ГГц.

Системы персонального вызова в зарубежных странах 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 радиоцентра и 6-значного номера вызова приемника вызываемого абонента. Любой приемник имеет один или четыре номера вызова, которые отличаются только последней цифрой. Каждому номеру вызова соответствует определенная комбинация НЧ импульсов в диапазоне 470,8...979,8 Гц. В приемнике при поступлении сигнала вызова включается зуммер и зажигается одна из четырех сигнальных лампочек, каждой из которых соответствует определенное сообщение, например «Вызов учреждения», «Вернитесь в главную контору фирмы» и т. д. Особенностью приемника является способность автоматически контролировать напряженность поля сигнала. Когда уровень входного сигнала падает ниже установленного предела, приемник посылает аварийный сигнал.

Одной из проблем при создании масштабных систем персонального вызова (более 100—150 тыс. абонентов) была необходимость стандартизации сигнальной системы и формата кода для обеспечения совместимости приемников, изготовленных различными фирмами.

Для устойчивой работы в каждой зоне системы установлены 8—10 одноканальных передатчиков, управляемых ЭВМ. Пропускная способность системы около 14 тыс. выз./ч. Если не хватает емкости (занят передатчик), принятый номер вызова приемника автоматически ставится на очередь.

На центральном радиоузле все входящие в течение 2 мин сигналы тонального вызова записываются в ЗУ ЭВМ, затем преобразуются в ВЧ импульсы и передаются

## Основные характеристики

Параметры	Название системы				
	NMT (Скандинавские страны)	МТТ большой емкости (Япония)	МТТ средней емкости (Япония)	AMPS США	
1	2	3	4	5	
Диапазон частот, МГц	450	860...885 915...940	870, 0,25... 925...940	825...845 870...890	
Число радиоканалов	180	600 (1000)	600	666	
Радиус ячейки, км	5...40	5...10	5...30	1,6...15	
Разнос каналов, кГц	25	25	25	30	
Разнесение между частотами передачи и приема, кГц	10	55	—	45	
Мощность базовой радиостанции, Вт	50	25	25; 50; 100	—	
Мощность подвижной радиостанции, Вт	15	5	25; 10	12	
Число абонентов в системе	100 тыс	До 1 млн	20 000	1,5 млн	
Время перевода от одной к другой базовой станции, мс	500	800	—	250	
Минимум отношения сигнал-шум, дБ	15	15	—	10	
Число вызовов на ячейку в часы «пик»	657...937	655...933	—	1208	
Начало эксплуатации, год	1981	1979	1984	1979	

Таблица 5.8.

### Технические характеристики некоторых приемников персонального вызова Японии

Параметры	Приемник		
	R1D4-3A	R3D4-3A	R5D4-3A
Диапазон частот, МГц	30...50	138...174	928...932
Чувствительность приемника, мкВ/м	5	5	7
Подавление ложных откликов, дБ	55	60	40
Вид модуляции	Двоичная частотная модуляция		
Девияция частот, кГц	(1-5)...(0+5)		
Скорость передачи, бит/с	512		
Емкость внутренней памяти	12 сообщений, 416 знаков		
Минимальная длина сообщения, зн	312		
Масса, г	100		

в эфир импульсами длительностью 10 с. Перед передачей сигналов вызовов излучается предварительный сигнал длительностью 1 с, который включает все индивидуальные приемники системы персонального вызова данной зоны. После этого сигнала приемники остаются включенными в течение 9 с. Благодаря такому

## СОТОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

и страны					
	Aurroga (Канада)	CD900 (ФРГ)	«Сеть С» (ФРГ)	TACS (Великобритания)	MFS (Австралия)
	6	7	8	9	10
	408...411	900	450	820...960	500
	419...422	—	—	—	—
	120 (240)	63	222	1000	120
	—	2...10	25...30	2...30	—
	25 (12,5)	—	20	25	25
	—	—	10	—	10
	—	—	25	—	25
	—	—	5	—	10
	50 000	—	1 млн	—	—
	—	—	—	280	—
	—	—	—	10	—
	—	—	—	1208	—
	1982	1987	1985	1983	1981

режиму работы обеспечивается экономичное использование источников питания приемников.

#### 5.4. Использование радиосвязи в войсках

При разработке средств военной связи основное внимание уделяется повышению их живучести, мобильности, скрытности, надежности работы и улучшению условий эксплуатации. Средства военной связи разнообразны по конструкции, мощности, типам используемой аппаратуры и антенных устройств (табл. 5.9, 5.10).

В системе стратегической связи стран-участниц НАТО используются мощные передатчики (1000...5000 кВт). Они являются одним из основных средств связи с надводными кораблями и подводными лодками всех классов. В командной системе связи групп армий, полевых армий и армейских корпусов используются стационарные радиостанции (центры) гектаметрового и декаметрового диапазонов частот мощностью 10...50 кВт. В полевых системах связи применяются подвижные автомобильные, переносные и портативные радиостанции, обеспечивающие работу в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн.

В радиостанциях применяются широкополосное усиление и электронная автоматическая настройка антенн, что обеспечивает бесперерывную и бесподстроечную связь во всех поддиапазонах рабочих частот. Частотообразование в УКВ диапазоне

## Технические характеристики существующих

Основные характеристики	Стационарные радиостанции	
	1985 г.	1995 г.
Диапазон, МГц	2...30	2...30
Мощность передатчика, Вт	1; 3; 10;	1; 3; 10;
кВт	40; 200	40...600
КПД, %	50; 60	50; 60
Наработка на отказ, ч	800...1500	1000...8500
Масса, кг	70...2400	60...2000
Удельный вес источников электропитания, %	20...30	15...20
Наиболее характерные меры помехозащиты	Переход на запасные частоты, адаптация по частоте, одновременная работа в различных диапазонах частот, многократное повторение текста	

производит синтезатор на 460 тыс. частот вместо традиционных 920. Они обеспечивают засекреченную телефонную, телеграфную связь и передачу данных в системах военной связи всех звеньев управления.

Разработка перспективных военных радиостанций проводится в следующих направлениях: широкое применение транзисторов интегральных схем; создание универсальных радиостанций для использования в трех родах войск; совершенствование широкодиапазонных радиостанций для увеличения дальности связи; совершенствование синтезаторов частот, увеличивающих число рабочих каналов до десятков и сотен тысяч; использование одних типов радиостанций для военных и коммерческих ведомств; внедрение радиостанций с ППРЧ.

При составлении вариантов станции модули не требуют подстройки. Радиостанции благодаря высокому технологическому исполнению, обеспечивают экономию радиочастот (разнос каналов сокращен с 50 до 1 кГц, а режим работы позволяет уплотнять каналы), цифровую передачу речи и данных с помощью ЭВМ со скоростью 16 кбит/с. Предусмотрены меры борьбы с радиопротиводействием.

Английская перспективная радиостанция помехоустойчивой связи Jaguar-V, работающая в диапазоне 30...88 МГц, в целях защиты от радиопомех снабжена специальным устройством, обеспечивающим ППРЧ. Станция работает с последовательностью импульсов, изменяющихся по псевдо- или квазипроизвольной программе, задаваемой оператором, порядок последовательности работы изменяется оператором через 24 ч. Изменения происходят одновременно на передающем и приемном устройствах. Для синхронизации передается специальный информационный сигнал одновременно на нескольких частотах, при этом форма сигнала аналогична сигналам полезной информации. Скорость передачи цифровой информации до 16 кбит/с. Скорости ППРЧ: медленная 10...15 раз/с, быстрая 500...1000 раз/с. Практически наибольшее применение нашла средняя скорость 100 раз/с.

## Перспективных военных радиостанций

Возимые радиостанции		Носямые радиостанции	
1985 г.	1995 г.	1985 г.	1995 г.
2...30	2...30	2...30	2...30
30...80	30...88	30...80	30...88
50; 100;	50; 100;	2; 4; 10;	2; 10;
400	400	20	20
10	10	---	---
50	60	20...40	20...40
1000...5000	2500...5000	2000...5000	10 000...15 000
(20...35)...100	(15...25)...80	1,5...8	0,5...6
20...25	10...15	10	8...10
Адаптация по частоте, с 1985 г. использование метода ППРЧ, с 1988 г. использование микропроцессоров при выборе частот, мощности и антенн		Переход на запасные частоты, адаптация по мощности и направлению радиосвязи, с 1985 г. использование метода ППРЧ	

Используемый способ ППРЧ значительно затрудняет создание помехи радиоприему, так как в этом случае может воздействовать только заградительная помеха на полосу частот в 5 МГц, а значит, мощность подавления составит 1/200 мощности воздействия. Радиопеленгация также затруднена из-за кратности появления сигнала.

Подобные радиостанции изготавливаются в трех вариантах: носимые, возимые и бортовые. Диапазон частот 30...80 и 30...88 МГц, мощность 3...80 Вт. Для расширения функциональных возможностей систем военной радиосвязи и повышения их живучести внедрены радиостанции, обеспечивающие работу в диапазонах 30...40 и 54...58 ГГц.

При разработке радиостанций диапазона ММВ особое внимание было уделено возможности создания широкополосной радиостанции для обеспечения многоканальной связи минимум пяти радиочастотных каналов в диапазонах 36,0...38,6 и 54...58 ГГц. Такие радиостанции должны обеспечить замену участков кабеля, помехо- и разведзащищенную радиосвязь на поле боя, связь «корабль—корабль», в танках и на других подвижных средствах. Мощность передатчика радиостанций ММВ в среднем около 100 мВт, уровень шума 10 дБ на одной боковой полосе, коэффициент усиления 34 дБ.

Характерными особенностями работы станции диапазона ММВ являются: адаптация по мощности (в период выпадения осадков мощность увеличивается), обеспечение работы в режиме видеосвязи или служебной связи автономно без дополнительных блоков.

В радиостанциях используется рупорная линзовая антенна диаметром 15...30 см с низким уровнем боковых лепестков и разрешающей способностью приема и передачи. При передвижении антенна укладывается на корпус радиостанции, обладает достаточной прочностью. Коэффициент усиления антенны 34...36 дБ.

Новые модификации станций диапазона ММВ имеют помехозащитные устройства и обеспечивают полное сопряжение с системой оперативного управления и связи.

# Технические характеристики военных подвижных

39

Страна	Тип аппаратуры	Диапазон частот, МГц	Число фиксированных волн	Разнос частот, кГц
1	2	3	4	5
США	AN/VRC-12; -43, -49, возимые	30...75,95	920	50
	AN/VRC-78, возимая, ранцевая	30...80	2000	—
	AN/PRC-70, возимая, носимая	2...76	460 000, 740 000	—
	PF-280 возимая	1,5...80	785PPP	0,1
	719-2, ранцевая 3200, ранцевая	2...29,9999	280 000	—
	AN/VRC-88, ранцевая	2...10	8000	1
	HF-850	2...12	9999	1
	AN/PRC-319	1,5...30	99 заранее настроенных	50
Великобритания	PRC-320, возимая, ранцевая	1,5...40	—	—
	TPA931, ранцевая	2...29,9999	280 000	0,1
	643/CJP, морская	1,6...30	28 400	1
	PRC-319	1,5...30	Синтезатор частоты	0,1
	Jaguar	1,5...40	—	—
Франция	TPC-382, возимая	30...88	256	25
		2...18	Синтезатор частот	0,1

Группа радиостанций, установленных на трех-пяти военных автомобилях, образуют своеобразный подвижный радиоцентр, обеспечивающий скрытую передачу одновременно по 12 телефонным каналам, а также передачу данных со скоростью 20 Мбит/с и факсимильную связь. Работа производится с ненаправленными антеннами. Связь обеспечивается на дальность видимости всех заинтересованных абонентов (подразделений).

Особенное значение за рубежом придается использованию сверхдлинных волн (СДВ) для управления подводными лодками. С этой целью строятся мощные береговые (сверхдлинноволновые передающие радиоцентры (СДВ ПДРЦ) с громоздкими антенными устройствами протяженностью до 50 км и более (табл. 5.11). По СДВ системам связи также передаются сигналы боевого управления войсками, правительственные приказы, в том числе на использование оружия массового поражения, а также другие важные сообщения.

Проводятся исследования возможности использования особо низких частот (40...80 Гц) и установки передающих устройств на специальные самолеты (ТАСА-МО), а также создания новых более чувствительных приемников, мощных передающих устройств до 5000 кВт. По заключению специалистов, особо низкие частоты,

Таблица 5.10.

## радиостанций, находящихся в эксплуатации

Вид модуляции	Мощность, Вт	Масса, кг	Примечания
6	7	8	9
ЧМ	35	53, 72	Базовая станция, наработка на отказ — 10 тыс. час. Для связи в движении и на поле боя в звене «взвод—рота» Устанавливается на военных автомобилях и патрульных судах
—	2	4,5	
—	30, 40	7	
ОБП, АМ, ЧМ	25, 100	31,3	Базовая станция Имеет ЗУ, работает на двух боковых полосах Имеет дистанционное управление ППРЧ, блок памяти на 20 частот
ОБП, ТЛГ	20	4,31	
ОБП, ТЛГ	10	4,7	
ОБП, АМ	20, 5, 10	5,63	Является базовой станцией
ОБП, АМ, ТЛГ	100, 400, 1000		
ОБП, АМ, ТЛГ	50	2,1; 4,5	
ОБП, АМ	30	5	Носимый и возимый вариант, обеспечивает ППРЧ Перспективная базовая радиостанция Виды работы: телеграф тональный, телеграф незатухающий
ОБП, АМ	20	11	
ОБП, АМ	100	—	
—	50	4,5	
—	3—80		
ОБП, ЧМ	100	15	

Таблица 5.11.

## Тактико-технические характеристики некоторых СДВ передающих центров

Наименование СДВ ЦДРЦ	Страна	Местонахождение	Мощность передатчика, кВт	Частота, кГц
Аннаполис	США	Район Вашингтона	500...1000	15, 19
Сан-Франциско	США	Район Сан-Франциско	500...1000	15...24
Джим-Крик	США	Район Сизтла	1000	14...35
Бальбао	США	Панама	500...1000	18...54
Сан-Диего	США	Район Сандiego	500...1000	17...54
Катлер	США	П-ов Катлер (штат Мэн)	2000	14...30
Регби	Великобритания	Юго-восточная часть Великобритании	350	16, 17
Криггтон	Великобритания	То же	250...500	15, 18
Мальта	Великобритания	О-в Мальта	500	—
Токио	Япония	Район Токио	400	15, 17
Сент-Ассис	Франция	Район Парижа	500...800	16, 18
Верберг	Швеция	Район Верберга	200	17, 18

## Технические характеристики

Страна	Тип	Диапазон частот, МГц	Число каналов	Мощность, Вт
США	AN/ARC-154	2...76	—	40
	AN/ARC-186	30...88	—	—
	VHF-261	118...135,9	720	10
	AN/ARC-190	2...30	280000	400
	618M	118...135,9	—	25
	AN/ARC-164	225...399	7000	10
	AVC-110A	118...136	—	20
Великобритания	718V-9	2,0...30,0	280 000	100
	AN/ARC-98	2,0...30,0	—	200, 400
	RTR-377	222...400,	7000	—
	AD-190	30...76	—	1,10
Франция	RTR-1370	2...30	—	30
	4600E	11,8...143,9	1040	20
ФРГ	4652A	118...143,9	1040	20
	ERA 8200	225...400	—	25
	AR-2009	118...136	—	8
	AR-2008/25	118...136	—	2—3

## Технические характеристики радиостанций

Тип радиостанции	Фирмы США	Год начала поставок	Диапазон частот, МГц
<i>KB радио</i>			
KHF-950	King Radio Corp.	1982	2...30
HF-200	Collins Avionics Div.	1978	2...23
HF-200	То же	1980	2...23
718V-5M	«	1975	2...30
618T-3B	«	1975	2...30
ASB-500	Sunair Electronics	1975	2...18
ASB-850	То же	1975	2...30
<i>УКВ радио</i>			
КТР108	King Radio Corp.	1981	118...135,975
PT-661T	Aire Sciences Inc.	1978	118...135,975
VHF-253	Collins Avionics Div.	1982	118...135,975
618M-3	То же	1979	118...135,975
Alpha-720	General Aviation Eletion.	1981	118...135,975
Com 810/811	Narco Avinics	1982	118...135,975

могут распространяться на расстояние до 10 тыс. км и способны проникать на сотни метров в толщу морской воды.

Существующие авиационные средства радиосвязи вооруженных сил США и стран

## ки бортовых радиостанций

Максимальная высота, м	Наработка на один отказ, ч	Масса, кг	Назначение
—	1200	12,2	Самолеты технической авиации
—	—	1,5	Легкие самолеты
21 000	1200	34	Самолеты любого типа и ведомства
16 500	4000	4,53	Самолеты гражданской авиации
21 350	1000	4,2	Самолеты технической авиации
13500	—	2,27	—
—	1500	16, 45	Связь «воздух — воздух, Земля — воздух», «Земля — Земля»
—	1000	—	Самолеты, корабли, автомобили
—	—	—	Самолеты, вертолеты
6 000	—	8,4	Тактическая авиация
—	—	—	Самолеты
—	—	3,5	—
—	—	4,0	—
—	—	—	—
—	—	1,3	Навигационная аппаратура
13 500	—	1,3	Легкие самолеты

Таблица 5.13.

## ний авиации США общего назначения

Число каналов	Мощ- ность, Вт	Чувствитель- ность прием- ника, мкВ	Число заранее програм- мируемых частот	Максимальная высотность, м	Масса, кг	Стоимость на 01.08.81 г., тыс. дол.
<i>станции</i>						
$280 \cdot 10^3$	150	—	99	18 200	8,8	9,995
—	100	—	20	11 600	11	8,995
$210 \cdot 10^3$	100	—	16	11 600	11,3	11,561
$280 \cdot 10^3$	100	3,5 (AM)	9	10 000	15,3	34,252
$28 \cdot 10^3$	400	3 (AM)	0	10 000	23,1	31,899
$32 \cdot 10^3$	100	—	0	10 000	15,1	8,550
$280 \cdot 10^3$	100	3 (AM)	0	1000	17,6	11,850
<i>станции</i>						
720	25	2	—	—	1,9	5,25
720	6	2	—	—	1,2	1,36
720	10	2	—	—	1,2	2,2
720	25	2	—	—	4,6	4,2
720	16	2	—	—	1,8	1,2
720	8	2	—	—	1,6	1,8

НАТО обеспечивают телефонную связь и передачу данных между самолетами и наземными, корабельными и воздушными пунктами управления. Все самолеты независимо от их принадлежности оборудованы несколькими радиостанциями с раз-

личными диапазонами частот. Военные самолеты тактической авиации ВВС и ВМС США оборудованы, по меньшей мере, одной радиостанцией дециметрового диапазона (225...400 МГц), самолеты непосредственной воздушной поддержки — радиостанцией декаметрового диапазона (30...38 МГц), самолеты стратегической авиации — радиостанциями дециметрового (ближняя связь) и декаметрового (дальняя связь) диапазонов.

Авиационные бортовые радиостанции декаметрового и ультракоротковолнового (УКВ) диапазонов изготавливаются в США и Великобритании. Франция производит только бортовые УКВ радиостанции, остальные страны капиталистического мира закупают их в США или изготавливают по американским лицензиям.

Аппаратура бортовых радиостанций имеет модульную конструкцию со стандартными и взаимозаменяемыми блоками. Обеспечивается высокая степень унификации и стандартизации; технологичность исполнения деталей, сборки и регулировки; простота обслуживания. Технические характеристики бортовых радиостанций приведены в табл. 5.12, а авиации США общего назначения в табл. 5.13.

Радиостанции используют проволочные антенны длиной до 3 м, имеют автоматическую настройку посредством микропроцессоров на БИС. Парк аппаратуры радиостанций диапазона ММВ за короткий срок обновился в среднем на 50%.

Наземная сеть станций связи США с самолетами содержит более 26 земных станций, объединенных главным вычислительным центром, расположенным в Чикаго.

## 5.5. Метеорно-ионосферная связь

Метеорная связь может обеспечиваться на большие расстояния (до 2000 км) в одном интервале. Она осуществляется за счет отражения радиосигналов от ионизированных слоев, которые образуются при вхождении небольших метеоров в верхние слои атмосферы. Эти слои расположены над поверхностью земли на высоте 85...115 км приблизительно между слоем Д (60...90 км) и слоем Е (100...125 км).

Время существования метеорных следов — от десятых долей секунды до десятков секунд, поэтому режим работы линий метеорной связи — прерывистый. Принцип действия этой системы заключается в предварительном накоплении информации в специальных запоминающих устройствах с последующей ее передачей в период возникновения метеорных вспышек. Для обнаружения вспышек передатчики непрерывно излучают несущую, а приемники находятся в режиме приема.

Действующий комплекс метеорной связи включает одну головную станцию и несколько периферийных (может быть несколько головных и любое число периферийных). Работа радиолинии оценивается коэффициентом использования, т. е. отношением суммарного времени, в течение которого возможна работа, к общему времени работы. В утренние часы он равен 16%, в вечерние 2—3%. Ширина полосы пропускания около 15 кГц. Наибольшее применение получили телеграфные линии связи.

Положительными свойствами метеорной связи являются, устойчивость работы в период ионосферных возмущений, магнитных бурь; применение магнитных устройств средней мощности (порядка 1 кВт) без применения остронаправленных антенн; снижение возможностей радиоперехвата, устойчивость к активным помехам; возможность обеспечения связи на расстоянии от прямой видимости до 2000 км; с установкой ретрансляторов дальность можно увеличить. Эффективность пропускной способности зависит от правильности выбора рабочей частоты, мощности

Использование метеорной радиосвязи в военных системах связи

Вид системы связи	Рабочая частота, МГц	Скорость передачи данных, кбит/с	Излучаемая мощность, Вт		Дальность связи, км
			дневное время	ночное время	
Между подвижными объектами	40	10	10	150	770...1280
Между подвижными и стационарными объектами	40	10	300	47	770...1280
Боевого оповещения и сбора данных	70	32	5	80	770 ... 1280
	40	10	30	50	770...1280
Циркулярное оповещение	40	32	0,1	—	770...1280

передатчика, коэффициента направленности антенн, пороговой чувствительности приемника, требуемой скорости передачи.

Недостатком метеорной связи является прерывистость в работе, что не обеспечивает радиосвязь в реальном масштабе времени.

В США интенсивные исследования по использованию метеорно-ионосферной связи проводятся в направлениях использования ее в военных системах в случаях чрезвычайного положения, для сбора гидрометеорологических данных, передачи важных сообщений в министерстве энергетики и др. Так, система метеорно-ионосферной связи Ambcs используется в труднодоступных и малонаселенных районах Аляски, для правительственной и коммерческой связи. Система Snofel обеспечивает телеметрическую службу на территории страны. В нее входят две головные и более 500 периферийных станций. Широкое развитие получила система SRM-500, работающая в диапазоне 30...100 МГц со скоростью 2...4,8 кбит/с. Мощность передатчиков на главных станциях 1 кВт с антенной типа «волновой канал» с пятью вибраторами, на периферийных — около 300 Вт. Возможности использования метеорно-ионосферной связи в войсках приведены в табл. 5.14.

В сетях радиовещания (оповещения) одна и та же информация повторяется для корреспондентов несколько раз. При этом выбираются короткие сообщения, чтобы за период существования одного «хвоста» метеора передать весь текст. При скорости передачи данных 2000 бит/с (средняя скорость передачи при использовании метеорной связи) объем сообщения 1900 бит (около 270 знаков).

В США успешно проведены исследования по передаче данных, факсимильной связи и приему телевизионных передач по каналам метеорной связи на расстоянии 1000...1800 км. Прием телевизионных передач осуществлялся по каналам с шириной полосы излучения 4 МГц на частоте 40 МГц.

В ближайшем будущем наиболее эффективно метеорная связь будет применяться при телетайпной передаче между мобильными станциями с низкой вероятностью перехвата, при сборе всевозможных данных с помощью необслуживаемых многочисленных станций, расположенных в труднодоступных районах земного шара, при факсимильной передаче на большие расстояния, а в перспективе — при трансляции телевизионных программ.

Существование в ионосфере локальных неоднородностей преимущественно турбулентного происхождения приводит к рассеянию радиоволн метрового диапазона

(5...10 м, частота — 60...30 МГц). Механизм рассеяния в некоторой степени аналогичен механизму дальнего тропосферного распространения, но имеет свои особенности. Рассеивающий объем, образованный пересечением пространственных диаграмм направленности передающей и приемной антенн, находится в высоких областях Д днем и Е ночью (высоты 70...100 км), что определяет дальность связи в 2000...2300 км. Оптимальными, т. е. без потерь, являются расстояния 1100...11800 км. При расстояниях менее 800 км ионосферная связь практически невозможна, так как энергия волн, направленных в сторону приемной антенны, ничтожно мала.

Рассеяние радиоволн на ионосферных неоднородностях имеет частотную зависимость, поэтому используемый диапазон ограничивается 70 МГц.

Рассеянию волн на неоднородностях ионосферы всегда сопутствует отражение их от ионизирующих следов метеоров. Обусловленный этим отражением сигнал прерывистого характера накладывается на непрерывный сигнал, рассеянный неоднородностями ионосферы, улучшая работу линий ионосферной связи.

При передаче дискретных сигналов рекомендуется частотное телеграфирование, имеющее достаточно высокую помехоустойчивость (при скорости передачи 60 Бод, вероятность ошибок  $10^{-2}$ ... $10^{-3}$ ).

Несмотря на слабость приходящего сигнала (единицы — десятки микровольт), линии ионосферной связи работают с достаточно высокой надежностью, которая обеспечивается передатчиками большой мощности (30...50 кВт), остронаправленными антеннами (коэффициент усиления 20...30 дБ), приемниками высокой чувствительности.

Положительные свойства ионосферной связи: мало подвержены влиянию ионосферных возмущений и высотных ядерных взрывов; позволяет работать на одной и той же частоте независимо от времени суток, сезона года и всего цикла солнечной активности. Недостатки: передатчики большой мощности, сложные антенные устройства.

## **6. Волоконно-оптическая связь**

### **6.1. Общие положения**

Изобретение лазера в 1958 г. возбудило интерес к оптическим системам связи. Уже в 60-х годах проводились исследования лазерных структур, а также распространения волн оптического диапазона в свободном пространстве и по направляющим системам. В 1966 г. английские ученые сделали вывод о возможности использования стеклянных волокон из хорошо очищенного материала для дальней связи. При этом они планировали получение волокон с затуханием около 20 дБ/км.

В 1970 г. фирмой Corning Glass Works (США) были изготовлены такие волокна, а фирмой Bell. Laboratories впервые созданы полупроводниковые лазеры, работающие в непрерывном режиме при комнатной температуре.

К активным экспериментам по использованию волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) приступили в 1974—1976 гг., а в 1979—1980 гг. уже началась их эксплуатация. Дальнейшее строительство и использование ВОЛС и волоконно-оптических систем связи (ВОСС) продолжалось бурными темпами. Таким образом, к концу 70-х годов в США был освоен новый вид электросвязи — волоконно-оптическая связь.

Интенсивное развитие волоконно-оптических линий связи определяется рядом преимуществ их по сравнению с существующими металлическими кабелями,

Технические характеристики металлических и волоконно-оптических кабелей

Технические характеристики	Металлические	Волоконно-оптические
Уровень потерь	Высокий	Низкий
Расстояние между ретрансляторами, км	25—30	До 100 км
Помехоустойчивость	Низкая	Высокая
Влияние повышения температуры на затухание	Затухание возрастает	Не влияет
Заземление	Необходимо	Не требуется
Утечка информации	Возможна	Сильно затруднена
Влияние коррозии	Подвержены	Не подвержены
Влияние ЭМИ	Подвержены	Не подвержены
Масса	Большая	Малая
Тенденция и снижение стоимости	Не ожидается	Прогрессирует (например, в США ежегодно снижается на 20...25%)

основными из которых являются: высокая пропускная способность (в эксплуатируемых системах до 500 Мбит/с, а в экспериментальных условиях — до 8 Гбит/с), малые потери при передаче (до 0,2...0,3 дБ/км), высокая помехоустойчивость. Кроме того, в ВОЛС значительно меньшее влияние на состояние связи при изменениях температуры; отсутствие влияния электромагнитных импульсов и перекрестных помех; простота обеспечения электромагнитной совместимости; высокая помехоустойчивость; между отдельными волокнами значительно меньшие масса и габаритные размеры; постоянно снижающаяся стоимость компонентов. Технические характеристики металлических и волоконно-оптических кабелей приведены в табл. 6.1.

К концу 1981 г. по данным МККТТ было проложено более 100 волоконно-оптических кабелей связи (ВОКС), при этом 65% проложенных кабелей имели длину до 10 км, 10% — до 20 км и более, остальные — менее 5 км. В проложенных кабелях применялось в основном многомодовое оптическое волокно (ОВ) с градиентным изменением показателя преломления. Емкость кабелей составляла: 78% — 10 ОВ, 12% — более 20 ОВ, остальные 4...6 ОВ.

Конструкции проложенных ВОКС аналогичны конструкциям кабелей с медными жилами, оптические волокна, защищенные специальным покрытием, располагаются концентрически вокруг центрального элемента, обеспечивающего повышенную разрывную прочность кабеля. Кабели больших емкостей состоят из специальных модулей, содержащих несколько ОВ. В качестве центрального элемента чаще всего используются стальные армирующие элементы (тросики), в некоторых случаях применяется специальный высокопрочный на разрыв материал — кевлар.

В структуру некоторых ВОКС были включены медные проводники для дистанционного питания промежуточных регенераторов, цепей дистанционного контроля и т. п. В дальнейшем медные проводники исключили, промежуточные регенераторы получали питание либо от местных источников, либо дистанционно, посредством специального силового кабеля.

Большинство ВОКС прокладывалось в существующих трубах телефонной канализации, иногда совместно с имеющимися кабелями. При протяжке в трубы ограничивались длиной до 1 км, впоследствии с помощью специальных механизмов длину ВОКС увеличивали до 2 км. Оптические кабели соединялись методом сварки или

посредством механических соединителей, а в некоторых случаях — склейкой оптических волокон.

Первые ВОЛС использовали скорость передачи: 8, 34; 45 Мбит/с (около 70%), испытывались и на скоростях до 140 Мбит/с (около 10%).

В качестве источников излучения применялись полупроводниковые лазеры (70%) и светоизлучающие диоды (СД) (30%). В 90% построенных ВОЛС в качестве фотодетекторов использовались лавинные фотодиоды, а в низкоскоростных (1,5—2,0 Мбит/с) ВОЛС в 50% использовались *p-i-n*-фотодиоды.

Первая ВОЛС в США для междугородной связи начала действовать 10 февраля 1983 г. между Нью-Йорком и Вашингтоном, затем она была продолжена к другим городам и имела общую протяженность 1250 км (содержит около 80 тыс. км волокон). Были построены и другие аналогичные линии, уплотненные аппаратурой типа ФТЗС или ФТХ-180. Последняя обеспечивает работу по одномодовому и многомодовому волокнам, в диапазоне 1,3 мкм со скоростью 1800 Мбит/с на расстояние между ретрансляторами до 15...25 км.

Волоконно-оптические линии широко используются для межстоечных соединений в цифровых коммутаторах и новых АТС, подключения периферийного оборудования ЭВМ, а также в качестве соединительных линий между АТС. Это определяется их высокой пропускной способностью, большой протяженностью ретрансляционных участков и малым диаметром кабеля, облегчающим его прокладку в условиях города.

С появлением в 1983 г. специальных систем уплотнения стало возможным получить 96 каналов по четырем волокнам (два рабочих и два для сигнализации), а через год емкость ВОЛС была доведена до 672 каналов (абонентов) при суммарной скорости передачи 45 Мбит/с. В этих линиях, как правило, используются в качестве источников излучения светоизлучающие диоды на длине волны 1,3 мкм и многомодовое волокно, а в ряде случаев и одномодовое.

С 1983 г. передача в ВОЛС обеспечивается со скоростями 90 Мбит/с, они сопрягаются с цифровыми линиями низших ступеней иерархии, принятой в США: 1,544; 3,152; 6,312 и 44,736 Мбит/с по соответствующим точкам трактов.

Первоначально в подобных системах использовались лазеры на 8,25 мкм и многомодовое волокно с расстоянием между ретрансляторами 7 км (на электрических кабелях до 2 км). В настоящее время системы работают на длине 1,3 мкм с многомодовым волокном (длина ретрансляционного участка 25 км) и одномодовым (длина участка 40 км). Они использовались в США в 1984 г. в Лос-Анджелесе во время летних Олимпийских игр для обеспечения телефонной связи и телевидения.

В ряде абонентских ВОЛС применяется спектральное уплотнение сигналов, передаваемых по одному ОВ, поэтому в них задействованы линейки из нескольких, аналогичных по параметрам полупроводниковых лазеров, работающих на различных частотах в диапазонах 1,2...1,3 мкм и 0,81...0,89 мкм.

В основном ВОЛС характеризуются тремя параметрами: длиной волны (короткая 0,8 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. Значительные успехи по снижению затухания были достигнуты за счет использования волокон нового состава с меньшим содержанием воды. В настоящее время

Таблица 6.2.

## Производство волоконно-оптических компонентов в США, млн дол (%)

Компоненты	1980	1985	1990
Волоконно-оптические кабели связи	32,5 (55)	228,5 (56)	661,2 (57)
Оконечные устройства и промежуточное усилительное оборудование	22,5 (38)	138,5 (34)	359,6 (31)
Соединительные устройства, контрольно-измерительная аппаратура и аппаратура преобразования	4,1 (7)	40,8 (10)	139,2 (12)
Всего	59,1 (100)	408 (100)	1160 (100)

в кварцевых волокнах достигнуты затухания 0,35 дБ/км на длине волны 1,3 мкм и 0,2 дБ/км на 1,55 мкм, что примерно соответствует теоретическим расчетам.

Рядом зарубежных фирм производится выпуск ВОКС, обеспечивающих работу на длине волны 1,3 мкм, имеющих затухание не более 0,7...1,3 дБ/км для градиентных волокон и 0,5...1,0 дБ/км для одномодовых. Возможность использования длины волны 1,3 мкм позволила в 2,5 раза увеличить протяженность ретрансляционных участков ВОЛС. Эти ВОЛС обычно относят к линиям второго поколения.

Работы, ведущиеся по созданию ВОЛС третьего поколения, с рабочей длиной волны 1,55 мкм, позволят получить дополнительное увеличение протяженности ретрансляционных участков. На экспериментальных участках ВОЛС в США и Японии достигнуты протяженности между ретрансляторами 120...204 км при скорости 420 Мбит/с.

Переход от волн 0,8... 0,9 мкм к более длинным (1,3, а затем и 1,55 мкм) является одним из основных направлений современного этапа развития ВОЛС.

Вторым, не менее важным направлением является внедрение одномодовых волокон. Их использование обеспечивает дополнительное уменьшение затухания, а значит, увеличение протяженности ретрансляционных участков и скорости передачи.

Использование на некоторых участках ВОЛС для повышения пропускной способности спектрального (частотного) уплотнения, обеспечивающего одновременную работу нескольких передач на разнесенных длинах волн, является третьим направлением.

Четвертое направление — применение на ВОЛС цифровых систем передачи.

Пятое — изыскание инженерно-технических путей обеспечения гетеродинного приема в оптическом диапазоне частот. Это позволит повысить перекрываемое затухание до 15 дБ. Для достижения этой цели необходимо создать одночастотный или (квазиодночастотный) полупроводниковый лазер.

Для дальнейшего совершенствования волоконно-оптической связи активно проводятся научно-исследовательские работы с целью повышения надежности средств волоконно-оптической связи создаются гетеродинные оптические приемники, осваиваются новые материалы для оптических волокон. Предполагается, что могут существовать материалы с затуханием 0,1...0,001 дБ/км в диапазоне длин волн 3...15 мкм. Интенсивность производства и внедрения средств волоконно-оптической связи за рубежом можно проследить по табл. 6.2—6.4.

Область применения волоконно-оптической связи обширна: от обеспечения связи во всех сферах деятельности человека до промышленных и медицинских

Таблица 6.3.

**Распределение мирового производства волоконно-оптического оборудования, %**

Страны	1980 г.	1990 г.
США и Канада	69	62
Япония	9	16
Страны Западной Европы	22	22
Всего	100	100

Таблица 6.4.

**Распределение производства ВОСС по назначению, %**

Назначение	1980	1985	1990
Система связи правительственного и военного назначения	37	29	20
Общественные сети связи	21	32	43
Экспериментальные и испытательные	24	15	15
Промышленность	5	6	6
Электронно-вычислительные системы	4	6	7
Кабельное телевидение	3	3	2
Измерительные системы	3	4	2
Наземные станции спутниковой связи	2	1	2
Учрежденческие линии связи	2	1	2
Прочие	—	2	2
Всего	100	100	100

учреждений, а использование в телефонной связи решает ряд проблем, присущих проводным системам, в частности, устраняются эхосигналы и перекрестные искажения при передаче звуковых сигналов. Даже при наличии сильных внешних шумов удается избежать помех и наведенных ошибок в линии.

Мировой рынок ВОСС в 1987 г. составил 1,5 млрд дол., в 1989 г. — 8,3 млрд дол., в 1990 г. 10 млн дол. в год.

В настоящее время 90% мирового рынка ОВ приходится на США, Японию, Канаду и Западную Европу.

При производстве ОВ в исключительно больших масштабах фирмы США планируют снижение их стоимости на 10...50%.

Ежегодный прирост рынка техники ВОСС составляет 33%, а к 1995 г. ожидается увеличение до 40...50%.

Постоянно расширяется круг стран, ведущих работы по ВОСС: наряду с США, Японией, Канадой, Великобританией, Францией, ФРГ, Голландией, развернуты работы в Швеции, Финляндии, Италии, Испании, Китае, Бразилии, Аргентине, Австралии.

Быстрое развитие и широкое внедрение ВОСС в эксплуатацию вызвали необходимость стандартизации основных параметров ОВ как в национальных, внутригосударственных масштабах, так и в международных.

## 6.2. Компоненты ВОСС

**Волоконно-оптические кабели связи.** Первое оптическое волокно с относительно низким затуханием было одномодовым, затем оно усовершенствовалось и одновременно разрабатывалось многомодовое. К середине 80-х годов многомодовые ОВ получили широкое распространение в ВОСС. Получено ОВ, затухание которого достигло теоретического предела, определяемого молекулярным рассеянием Рэлея, особенно на волне около 1,38 мкм.

При изготовлении ОВ используются стекла с высоким содержанием  $\text{SiO}_2$ , многокомпонентные стекла, пластики. Лучшими характеристиками для получения необходимой разности показателей преломлений сердечника и оболочки обладают волокна, изготовленные из двуокиси кремния, с добавлением других окислов металлов и компонентов (например,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; F;  $\text{GeO}_2$ ). Многокомпонентные стекла и пластики нашли ограниченное применение в электросвязи, так как их характеристики значительно уступают характеристикам ОВ, изготовленным из кварцевого стекла.

Для получения высококачественного ОВ 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 кварцевого стекла.

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

Затухание одномодовых волокон ниже затухания (в результате меньшего числа легирующих примесей одномодового волокна, однако из-за малого диаметра сердцевины (около 8 мкм вместо 50 мкм у многомодового) трудно ввести в нее излучение источника и еще труднее срastить и соединить такие волокна. С помощью специального пластикового биконического соединителя за одну операцию удается срastить 12 волокон.

Основным преимуществом одномодового волокна является обеспечение более высокой скорости передачи вследствие незначительной модовой дисперсии (различные моды имеют разную скорость распространения), поэтому распространение зависит от длины волны. Наиболее благоприятные условия распространения на длине волны 1,3 мкм. На других длинах волн, в частности 1,55 мкм, для уменьшения затухания применяют и смещение дисперсии волокон и одночастотные лазеры.

Учитывая, что стоимость ВОКС составляет значительную часть стоимости ВОСС, его изготовлению уделяется особое внимание.

Анализ длительной эксплуатации ВОСС показал, что для абонентских систем связи достаточно иметь кабель с оптическими волокнами, обеспечивающими передачу сигналов со скоростью 100 Мбит/с на расстояние 7 км. Обеспечить указанные требования к ВОКС можно путем применения в абонентских кабелях однотипных ОВ, например многомодовых. Планируется задействовать в кабеле большинство типовых ОВ, имеющих не очень высокие электрические параметры, но относительно дешевые при массовом производстве.

Для удаленных абонентов применяются специальные ОВ с лучшими электрическими характеристиками. Эти ОВ должны иметь: потери около 1,3...1,5 дБ/км,

коэффициент широкополосности 150...200 и 300...500 МГц км (по уровню 6 дБ). Кроме того, 90% волокон должны иметь различные характеристики с более высокими показателями. Считается, что наличие в кабеле ОВ с различными параметрами позволит более широко его использовать, при этом число ОВ должно доходить до 100, 200 и 600. Как правило, в абонентских сетях предполагается применять градиентные многомодовые ОВ, содержащие по 4...6 волокон, имеющие первичное и вторичное защитные покрытия. Кабели монтируются в плоских пластмассовых лентах. Указанные ленточные конструкции собираются в оптические модули, содержащие по 4—6 лент, и эти модули монтируются в кабель. По мере удаления от телефонной станции подобные ВОКС разделяются на более мелкие, с меньшим числом ОВ, и до абонентов доходят двух- или одноволоконные кабели. Созданы устройства для одновременного сваривания пяти волокон, принадлежащих одному ленточному элементу.

Для магистральных сетей связи, как правило, используются ВОКС, содержащие в среднем от 4...6 до нескольких десятков ОВ. Наиболее перспективным является использование одномодовых световодов с широкой полосой пропускания. Кабели, предназначенные для укладки в грунт, имеют повышенные механические характеристики из-за увеличения силовых элементов, защитных и броневых покрытий, они содержатся под избыточным газовым давлением, для чего в конструкции ВОК предусматриваются полые пластмассовые трубки.

Монтаж ВОКС в настоящее время мало механизирован и требует много ручного труда, а качество сращений ОВ во многом зависит от подготовки обслуживающего персонала.

Волоконно-оптические кабели по своему назначению могут быть классифицированы на четыре группы: междугородные, городские, объектовые и подводные. Кроме того, существуют специальные монтажные оптические кабели.

Полоса пропускания оптического кабеля зависит от типа волокна: до 30 МГц — для модового, 100...150 МГц — градиентного и 500 МГц — одномодового.

Различают три типа конструкции оптических кабелей: концентрической повивной скрутки, с фигурным сердечником, плоские ленточного типа. Наружные оболочки, как правило, имеют два слоя: демпфирующий (мягкий пористый материал) и защитный (оболочка из полиэтилена).

К конструкциям и характеристикам подводных оптических кабелей связи предъявляются особые требования: обеспечение большой разрывной прочности, пригодность для прокладки на больших глубинах, малое затухание в целях уменьшения числа регенераторов, наличие в конструкции медных проводников для электропитания регенераторов и др.

Оптический кабель в городе прокладывается в кабельной канализации, в полевых условиях — непосредственно в земле на глубину 1,2 м, практикуется воздушная подвеска. Международной эксплуатационной комиссией предложен следующий ряд стандартизованных диаметров ВОКС: 90/125; 100/200; 100/250; 125/200; 200/300; 200/250; 250/375 мкм, рекомендованы следующие стандартные параметры ОВ: допуск на диаметр: для сердцевины кабеля  $\pm 6\%$ , для оболочки кабеля  $\pm 2\%$ ; эксцентриситет сердцевины (оболочки)  $6\%$ ; числовая апертура 0,15...0,25; затухание 10; 6; 4,5; 3 дБ/км; дисперсия — 400, 600, 1000 МГц км.

Разработаны стандарты на методы измерения параметров ОВ.

**Источники излучения.** В 60-х годах в качестве источников излучения в ВОСС применялись лазеры и световоды, представляющие собой полупроводниковый диод с одинарной гетероструктурой, построенной на основе GaAs. Пороговая плотность тока больше  $50 \text{ кА/см}^2$  обеспечивала работу при комнатной температуре только в импульсном режиме с большой скважностью импульсов. В 1970 г. были разработаны полупроводниковые лазеры (ПЛ) с двойной гетероструктурой, которые обеспечили пороговую плотность тока порядка  $4 \text{ кА/см}^2$ . Совместное применение ПЛ с двойной гетероструктурой и полосковой геометрией позволило создать простые, надежные и эффективные лазеры для ВОСС.

В разработанных конструкциях ПЛ с полосковой геометрией, полученной путем протонной бомбардировки или изоляции окисла, пороговые токи равны  $100 \text{ мА}$  и меньше. Дальнейшее снижение может быть получено для ПЛ более сложных структур, таких, как поглощенная гетероструктура или трансверсальная слоистая полостная.

Значения порогового тока и его плотности зависят не только от структуры ПЛ, но и от технологии ее изготовления. Наиболее широко используемая технология изготовления *p-n* переходов — эпитаксия из каждой фазы. Применяются и другие способы, например эпитаксия из газовой фазы, молекулярно-лучевая эпитаксия, органометаллическое химическое газовое осаждение. При эпитаксии из газовой фазы получены значения порогового тока  $4,5 \text{ мА}$  и плотности  $475 \text{ кА/см}^2$  при органометаллическом газовом осаждении соответственно  $135 \text{ мА}$  и  $1140 \text{ кА/см}^2$ ; при эпитаксии из газовой фазы  $120 \text{ мА}$  и  $560 \text{ кА/см}^2$  при лучевой эпитаксии  $80 \text{ мА}$  и  $700 \text{ кА/см}^2$ .

Мощность, излучаемая GaAs лазерами, находится в пределах до  $10 \text{ МВт}$ . Для получения более высоких значений ( $20 \dots 100 \text{ МВт}$ ) разрабатываются сложные структуры одномодовых ПЛ.

При применении оптических волокон  $50/125 \text{ мкм}$ , рекомендуемых МККТТ, получены коэффициенты эффективности ввода излучения порядка  $30 \dots 50\%$ , повышенные значения могут быть достигнуты при использовании специальных линз, призм и т. п.

Спектральная ширина полосы частот излучения многомодовых лазеров  $2 \dots 5 \text{ нм}$  в одномодовых ПЛ, и она может быть сужена до  $10^{-4} \text{ нм}$  (т. е. меньше, чем  $100 \text{ МГц}$ ).

Характеристики ПЛ зависят от изменения температуры окружающей среды. Например, для GaAlAs температура обычно находится в пределах  $120 \dots 190 \text{ К}$ , разработаны ПЛ, у которых  $T = 300 \text{ К}$ .

При использовании полупроводникового лазера расстояние между регенераторами около  $22 \text{ км}$  для скоростей передачи  $1,5 \dots 2,0 \text{ Мбит/с}$  (ограниченное затухание) и  $7 \text{ км}$  при скорости  $565 \text{ Мбит/с}$  (ограниченная полоса частот).

В качестве источников излучения используются также светоизлучающие диоды. Некоторые технические характеристики СД уступают аналогичным характеристикам ПЛ, и прежде всего по максимально допустимой частоте модуляции и мощности излучения непосредственно в ОВ. Вместе с тем СД широко применяются в низкоскоростных ВОСП благодаря высокой надежности и стабильности в широком диапазоне температур окружающей среды, относительно простым схемным решениям, низкой стоимости.

В настоящее время СД выпускаются с двойной гетероструктурой, излучают непосредственно в ОВ  $50 \dots 100 \text{ мВт}$  и могут модулироваться последовательностью

импульсов, следующих со скоростью до 45 Мбит/с, имеют широкий спектр излучения 30...200 нм, что не позволяет их применять в высокоскоростных ВОЛС. Срок службы СД порядка  $10^6$ ... $10^8$  ч. При применении светодиодов расстояние между регенераторами находится в пределах 8,5 (при скорости 34 Мбит/с)...15 км (1,5...2,0 Мбит/с).

Для ПЛ и СД характерна прямая модуляция интенсивности излучения посредством изменения тока накачки. При скоростях передачи до 140 Мбит/с прямая модуляция осуществляется с помощью дифференциального усилителя или эмиттерного повторителя. При скорости 565 кбит/с и выше накачка ПЛ производится посредством усилителя напряжения с выходным сопротивлением 50 Ом.

Лазерные диоды (ЛД) вводят большую мощность излучения, чем светодиоды, и обладают узким спектром излучения. Это дает возможность перекрывать при использовании ЛД с одномодовыми волокнами большие расстояния и достигать больших скоростей передачи, чем при использовании СД с многомодовыми волокнами.

В Японии на магистральных линиях связи наиболее широко применяются полупроводниковые лазерные диоды с резонатором Фабри—Перо. Этот источник излучения имеет: рабочий диапазон  $1,3 \pm 0,02$  мкм, ширину спектра излучения 4 нм, максимальную выходную оптическую мощность 7 дБ, динамический диапазон 15 дБ, потери на ввод в одномодовый волоконный световод 6 дБ.

Для высокоскоростных систем используются одномодовые полупроводниковые лазерные диоды с распределенной обратной связью и длинами волн 1,3 и 1,5 мкм.

**Фотодетекторы.** Это основные элементы приемных устройств ВОСС—требования к фотодетекторам: высокая чувствительность на рабочей длине волны, большое быстродействие, стабильность к внешним температурным изменениям и высокая надежность. Квантовая эффективность фотодетектора представляет собой относительное число падающих фотонов, высвобождающих электроны в фотодетекторе. Селективные фотоприемники позволяют увеличивать объем передачи информации на нескольких близких несущих частотах.

Для создания чувствительных и быстродействующих фотодетекторов рекомендуется использовать внешний и внутренний фотоэффекты.

Различают фотодетекторы—лавинные и *p-i-n*-фотодиоды. Лавинные фотодиоды (ЛФД) обладают следующими характеристиками: темповый ток порядка 10 нА; коэффициент усиления около 100; рабочее напряжение порядка 200 В. Уровень вносимых шумов вследствие лавинного эффекта выражается через коэффициент вносимого шума  $F \approx 2(1-k) + KG$ , где  $K = \beta/\alpha$ —коэффициенты ионизации для дырок и электронов соответственно;  $G$ —коэффициент лавинного усиления. В идеальном случае (при отсутствии шумов лавинного эффекта),  $F = 2$ . Для кремниевых ЛФД при  $K = 0,02$ ... $0,04$  и  $G = 100$   $F = 4$ ... $6$ , что вполне удовлетворяет значению сигнал/шум на выходе ЛФД. Нарботка на отказ кремниевых ЛФД  $10^8$  ч.

Лавинные фотодиоды широко применяются в ВОСП, несмотря на то, что требуют источника высокого напряжения (для получения необходимого напряжения смещения), а также устройств автоматической регулировки для стабилизации величины лавинного усиления и устранения влияния температуры.

*P-i-n*—фотодиоды имеют в диапазоне 0,8...0,9 мкм характеристики несколько хуже, чем ЛФД, но они относительно дешевы, у них сравнительно низкое рабочее

напряжение, хорошая стабильность. Эти фотодиоды применяются в низкоскоростных (до 8 Мбит/с) ВОСП, работающих в этом диапазоне.

**Пассивные компоненты ВОСП.** Это устройства ввода и вывода излучения, устройства соединения оптических волокон, направленные ответвители, фильтры, устройства спектрального объединения и соединения сигналов.

Устройства ввода и вывода предназначены для соединения световодов, источников излучения, фотодетекторов, фильтров, ответвителей, устройств спектрального объединения и соединения сигналов, измерительной аппаратуры. Соединение может быть разъемным и неразъемным. Все типы соединений должны быть достаточно простыми в эксплуатации, надежными, вносить малые потери и искажения передаваемых сигналов. Разработана технология изготовления бесконтактных соединителей, средняя величина вносимых потерь которых 0,29 дБ. В Великобритании созданы соединители, потери которых на длине волны 1,3 мкм не превышают 0,1 дБ.

Различают два типа ответвителей, звездно- и Т-образный. В системах с большим числом абонентов используются звездообразные ответвители.

Полосовые и разделительные фильтры применяются для ВОСС с частотным разделением каналов («спектральное уплотнение»). Модулированные сигналами световые волны разных длин должны объединяться для передачи по одному каналу. Функцию объединения осуществляют сумматоры (мультиплексоры). На выходном конце линейного тракта до усиления и регенерации сигнала разделительные фильтры должны разделить оптические несущие по приемным схемам. Частотно-избирательные и разделительные фильтры выполняют функции демультиплексоров. Полосовые фильтры ограничивают полосу частот канала. С их помощью удастся повысить чувствительность и подавить помехи. Интегрально-световодные фильтры работают по принципу интерференции.

Для разделения более чем двух каналов в ВОЛС разработаны два класса спектральных делителей — с последовательным или параллельным разнесением оптических несущих. Последовательное разделение применяется при небольшом числе каналов.

**Устройства со спектральным объединением и разделением сигналов.** Большое внимание уделяется разработке компонентов со спектральным объединением и разделением сигналов с использованием несущих около 1,3 мкм. Устройство объединения сигналов четырех лазерных диодов состоит из трех последовательно соединенных двухканальных устройств, а каждое из них — из пары линз с соответствующим фильтром между ними. Для одной из несущих фильтр работает на пропускание, для других — на отражение. Затухание, вносимое четырехканальным устройством, 2...3 дБ.

В устройстве разделения использована дифракционная решетка с линзами. Вносимое устройством затухание в каждом из трактов не превышает 2 дБ, а переходное затухание — не менее 22 дБ. Уровень сигнала, вводимого в волокно от лазерного диода, 1 дБ, чувствительность фотоприемника 38 дБм. Таким образом, при двух разъемных соединителях (с потерями 1 дБ в каждом) и коэффициенте потерь в кабеле 0,6 дБ/км длина участка регенерации около 50 км.

Разработана цифровая система передачи с четырьмя цифровыми потоками (ЦСП) со спектральным объединением и разделением оптических сигналов, суммарный объем информации которой по одномодовому волокну эквивалентен

передаваемому ЦСП со скоростью 1,4 Гбит/с. При этом сигналы двух ЦСП со скоростью 565 Мбит/с в каждой передаются на несущих длинах волн 1,285 и 1,355 мкм. Сигналы двух других ЦСП со скоростями 140 Мбит/с передаются на несущих 1,48 и 1,56 мкм. В системе использовано стандартное оконечное оборудование с линейным кодом типа 586 В. Ограничивающий фактор на длине волны около 1,5 мкм — дисперсия использована четверичная система иерархии ЦСП. В фотоприемниках на длинах волн около 1,3 мкм применены германиевые ЛФД, а на длинах волн около 1,5 мкм — *pin*-диоды. Чувствительность фотоприемников соответственно: –35 дБм и –41 дБм при вероятностях ошибок  $10^{-10}$ . Технические параметры этой ЦСП следующие:

	Скорость передачи 565 Мбит/с	Скорость передачи 140 Мбит/с
Длина волны, мкм .....	1,285; 1,355	1,48; 1,56
Наибольшая дисперсия, пс/нм/км .....	3,5; 5,5	14; 18
Ширина линии излучения, нм .....	1,5	3
Чувствительность приемника, дБм .....	–35	–41
Потери, вносимые при объединении и разделении сигналов, дБ .....	3	2
Системный запас, дБ .....	6	6
Энергетический проигрыш из-за дисперсии, дБ .....	1	2
Коэффициент затухания, дБ/км .....	0,64	0,88
Длина регенерационного участка, км .....	25	25

К новым видам технологии в ВОСС в первую очередь относятся: интегрально-оптические системы; более совершенные лазеры; новые материалы для изготовления волокон; оптические усилители; бистабильные оптические устройства.

При создании интегрально-оптических устройств особое внимание уделяется вопросам электрооптического стыка и их физической реализации с учетом совместимости материалов электрических и оптических микросхем.

Предполагается, что мощность излучения лазеров  $\text{JnGaAsP}$  с нулевого уровня в настоящее время увеличится к началу 90-х годов до 10 дБм. При этом полоса излучения уменьшится до 0,001 нм. Планируется увеличить срок службы за счет повышения чистоты материалов, наносимых с помощью молекулярной эпитаксии.

**Компоненты когерентных ВОСС.** За рубежом большое внимание уделяется когерентным ВОСС. С появлением одномодовых волоконных светодов с малыми потерями и развитием технологии одномодовых инжекционных лазеров (ИЛ) стали возможны высокоскоростные передачи оптических сигналов на большие расстояния. Когерентные ВОСС по сравнению со схемами прямого детектирования повышают чувствительность; обеспечивают использование частотных и фазовых методов модуляции; возможность введения в ВОСС полупроводниковых оптических усилителей вместо ретрансляторов, что увеличивает общую протяженность линий связи до 10 тыс. км с расстоянием между оптическими усилителями до 40...60 км.

Основные требования к компонентам когерентных ВОСС: узкая (не более 1 МГц) ширина спектральной полосы ИЛ (как передающего, так и гетеродинного); стабильность инжекционного тока и температуры активного слоя ИЛ; одномодовость (с потерями менее 1 дБ/км) с сохранением поляризации излучения; имеет усиление до 20...40 дБ при минимальном уровне вносимых в канал шумов.

Технические характеристики оптических усилителей

Усилитель	Коэффициент усиления ненасыщенного сигнала, дБ	Выходная мощность насыщения, дБм	Полоса пропускания, ГГц	Коэффициент шума, дБ	Основные недостатки
Полупроводниковый лазерный резонансного типа	25...35	-10	1...3	3	Малая мощность насыщения
типа бегущей волны	20	0	1000	3	Широкая полоса пропускания, необходимость использования узкополосного фильтра
с инжекционной синхронизацией	20...30	10	0,5...1	3	Необходимость стабилизации частоты
с цепью фазовой синхронизации	50...60	10	100	0	Необходимость оптимизации петли фазовой синхронизации
Рамановский (используется эффект Рамана в световоде)	20...30	20	1000	3	Широкая полоса пропускания, необходимость стабильного оптического источника накачки с высокой выходной мощностью в диапазоне 1,5 мкм

В качестве источников излучения используются газовые (He—Ne), твердотельные (на натрий-алюминиевом гранате) и полупроводниковые (InGaAsP) лазеры. Последние более долговечны в эксплуатации и требуют меньше затрат при изготовлении. Их недостаток — большая ширина спектра излучения (1...100 МГц при работе в диапазоне 1,5 мкм), связанная с неодномодовым режимом генерации, нестабильностями инжекционного тока и температуры, малым размером активной зоны (требуемая ширина спектра не должна превышать  $10^{-3}$ ... $10^{-4}$  скорости передачи кодов).

Для устранения недостатков ИЛ, связанных с малым размером активной зоны, увеличивают добротность резонатора лазера за счет увеличения его длины, подключения внешних резонаторов с дифракционными решетками и отражающими зеркалами. Чтобы обеспечить тонкую селекцию поперечной моды, применяют инжекцию излучения от внешнего узкополосного лазера, являющегося эталонным. Для таких ИЛ характерны спектральная линия около 1 кГц и возможность изменения частотного диапазона в пределах 1,475...1,525 мкм.

При использовании в когерентных ВОСС обычных одномодовых волокон необходима подстройка поляризации излучения гетеродинного ИЛ в приемнике, есть и другие методы.

Одним из основных достоинств когерентных ВОСС является возможность применения оптических усилителей вместо дорогостоящих регенерирующих ретрансляторов. Наиболее распространенными оптическими усилителями являются: резонансного типа; бегущей волны; с инжекционной синхронизацией (табл. 6.5).

Таблица 6.6.

## Экспериментальные когерентные ВОСС

Страна	Длина волны, мкм	Источник излучения	Направление усовершенствования	Детектирование	Среда передачи	Дальность, км
США	3,39	He-Ne лазер	Прямая ЧМ, модернизация за счет изменения длины резонатора, девиация частоты 50 кГц	Гетеродинное частотное	Воздух	0,15
США	1,52	He-Ne лазер	Фазовая манипуляция с помощью фазового модулятора (скорость 140 Мбит/с)	Гетеродинное синхронное	Одномодовое волокну	109
Япония	0,83	AlGaAs лазер	Прямая частотная манипуляция за счет изменения величины инжекционного тока (скорость 100 Мбит/с)	Гетеродинное частотное	Воздух	—
Япония	1,57	InGaAsP лазер с распределенной обратной связью	Фазовая манипуляция за счет изменения величины инжекционного тока (скорость 100 Мбит/с)	Гетеродинное с использованием простого фильтра	Одномодовое волокну	105

Таблица 6.7.

### Цифровые ВОСС

Страна	Тип кабеля, число ОВ	Длина волны, мкм	Система передачи		Затухание, дБ/км	Источник излучения	Приемник	Длина регенерационного участка, км
			число каналов	скорость Мбит/с				
Япония	Повивная скрутка 6...18 ОВ	1,32	ИКМ-480	34	0,5	Лазер	ЛФД	50
США	Плоский ленточного типа; 48...144 ОВ	0,82; 1,3	ИКМ-24, ИКМ-672	1,54; 44,7	2...5	Лазер	ЛФД	10...20
Франция	Унифицированный модуль, 10 ОВ	0,82; 1,3	ИКМ-480, ИКМ-1920	34 140	1...7	Лазер	ЛФД	6...40
Великобритания	Повивная скрутка 6 ОВ	0,85; 1,3	ИКМ-120, ИКМ-1920	8,5 140	4,2	Лазер СД	ЛФД	10
ФРГ	Концентрический, 6...10 ОВ	0,82; 1,3; 1,5	ИКМ-1140	80	1...5	Лазер СД	ФД	10...20

Экспериментальные работы в целях усовершенствования когерентных ВОСС продолжаются (табл. 6.6).

### 6.3. Волоконно-оптические системы связи

**Особенности ВОСС.** В оптических системах передачи применяются те же принципы образования многоканальной связи, что и в обычных системах передачи по электрическим кабелям, а именно частотного и временного разделения каналов. В первом случае сигналы различаются по частоте и имеют аналоговую форму, во втором сигналы различаются по времени, а импульсы имеют дискретный вид (цифровая передача с ИКМ). При оптической передаче электрический сигнал, создаваемый частотным или временным методом, модулирует оптическую несущую и затем передается по оптическому кабелю.

Оптические системы связи, как правило, цифровые (табл. 6.7). Это обусловлено тем, что передача аналоговых сигналов требует высокой степени линейности промежуточных усилителей, которую трудно обеспечить в ВОСП. При этом двусторонняя связь осуществляется по двум волоконным световодам на одной и той же оптической несущей. Таким образом, структуру связи по оптическим кабелям по аналогии с металлическими кабелями можно назвать однополосной, четырехпроводной, одноканальной.

Аналоговые системы применяются в тех случаях, когда требуется организация широкополосных каналов (телевидение, видеотелефонирование и др.). К концу 80-х годов в США более 50% введенных в эксплуатацию ВОСС были цифровыми.

С целью сохранения работоспособного аналогового оборудования в США разработана аналоговая система передачи по волоконно-оптическому типу TR1302, которая рассматривается как промежуточное техническое решение при реализации плана перевода АТС на цифровое оборудование.

В системе TR1302 используется метод ЧРК-ЧМ для объединения сложных сигналов: групповых частот, цифровых и видеосигналов в станционном оборудовании. Далее эти сигналы подаются на модулируемый по интенсивности источник излучения на лазерном диоде. Оптический сигнал на рабочей длине волны 1,3 мкм

передается по обычному одномодовому волокну на соответствующее приемное устройство, где производится обратное преобразование и восстановление первоначальных сигналов. Специалисты подсчитали, что расходы на установку аппаратуры TR1302 составляют одну пятую часть расходов на цифровую аппаратуру.

Система широко используется на соединительных линиях протяженностью 48 км, между АМТС и АТС, а также между пунктами обслуживания пользователей и станциями.

Освоение технологии вытяжки многомодовых и одномодовых оптических волокон за рубежом позволила приступить к активному внедрению диапазонов длин волн 1,3 и 1,5 мкм; осуществить передачу оптического сигнала со скоростью 2 Гбит/с на расстояние до 130 км и обеспечить суммарные потери линии 28 дБ, дисперсию 19 пс/нм/км на волне 1,54 мкм, вероятность ошибки не более значения  $8 \cdot 10^{-10}$ , а также провести эксперимент по модуляции излучения лазера цифровым сигналом со скоростью 4 Гбит/с. Для работы использовался JnGaAsP лазер с оптическим сигналом на выходе мощностью 3 мВт при управляющем токе 30 мА.

Для ВОСС указанных диапазонов в ФРГ разработаны высокоскоростной модулятор, имеющий четыре цифровых входа и один выход и обеспечивающий скорость работы 2,24 Гбит/с, оконечное оборудование ЦСП со скоростью передачи 565 Мбит/с по одномодовому волокну (в системе четыре потока по 140 Мбит/с СМТ-сигнала объединяются в поток 565 Мбит/с АМТ-сигнала). Для системы автоматического контроля предусмотрен пилот-сигнал. Оптический приемник разработан в двух вариантах: на основе германиевого лавинного фотодиода и на основе фотодиода.

В Великобритании разработана ЦСП по одномодовому волокну на волнах 1,3 и 1,528 мкм со скоростью передачи 1,2 Гбит/с с длинами регенерационных участков 113,7 км (длина волны 1,528 мкм) и 30,5 мкм (1,3 мкм). Проведен эксперимент по передаче аналогового сигнала по одномодовому волокну на волне 1,3 мкм с использованием светодиода в качестве источника излучения. При защищенности от шума 53 дБ энергетический потенциал системы равен 16 дБ, чувствительность приемника с германиевым ЛФД 50 дБм. Средний уровень излучения, вводимого в волокно, 38 дБм. В результате на выходе отрезка оптического кабеля длиной 12 км был получен сигнал с уровнем 42,5 дБм.

Системы, работающие в диапазоне волн 0,8...0,9 мкм, широко используются на местных сетях электросвязи. Наименьшие значения затухания в данном диапазоне имеет ОВ, сердечник которого составлен из  $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-GeO}_2$ . Так, на волне 0,85 мкм получены затухание 1,8 дБ/км для одномодового и 2,2 дБ/км для многомодового ОВ. Как правило, ширина полосы частот многомодовых ОВ находится в пределах до 1 ГГц/км, а лучшие образцы ОВ имеют полосы частот до 6,5 ГГц/км.

Применение одномодовых ОВ в диапазоне 0,8...0,9 мкм признано нецелесообразным, поскольку высокая хроматическая дисперсия, характерная для этого диапазона, не позволяет реализовывать одно из основных преимуществ одномодовых ОВ — возможность получения довольно широкой полосы пропускания.

Основными параметрами ОВ, рекомендованными МККТТ для диапазона 0,8...0,9 мкм, являются: диаметр сердечника 50 мкм ( $\pm 6\%$ ), оболочка 425 мкм ( $\pm 2,4\%$ ); профиль показателя в преломлении — близко к параболическому; числовая апертура 0,15...0,25 ( $\pm 0,02\%$ ).

**ВОСС Японии.** Наиболее успешно ВОСС разрабатываются и используются в Японии. К 1984 г. общая протяженность ВОСС составляла 100 000 км. Технические характеристики магистральных ВОСС приведены в табл. 6.8.

Технические характеристики магистральных ВОЛС Японии

Технические характеристики	F-6M	F-32M	F-100M	F-400M	F-1,66
Тип линейного кода	CM1	CM1	8B1c	10B1c	10B1c
Скорость передачи сигнала, Мбит/с	6,312	32,064	97,728	397,200	397,2 × 4
Скорость передачи информации в линейном тракте Мбит/с	12,624	64,128	111,689	445,837	1820,90
Число телефонных каналов	96	480	1440	5760	23040
Длина волны, мкм	1,2; 1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Длина регенерационного участка, км	20	10	10	40	40
Вероятность ошибки на один регенерационный участок	10 <sup>-10</sup>	—	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup>
Тип ОВ	Многомодовое, 50/125 мкм		Одномодовое 10/12 мкм		
Источник излучения	InGaAsP — лазерный диод				
Фотоприемник	Ge — лавинный фотодиод				

Проведенный анализ долголетней эксплуатации ВОСС показал, что они экономичнее аналоговых систем, работающих по коаксиальному кабелю на 20...40%.

В 1985 г. в Японии вступила в эксплуатацию ВОСС (3400 км), соединившая города Ассасикава (о. Хоккайдо) и Кагасима (о. Кюсю), названная «Японской меридиональной магистралью». В системе используется ВОКС, содержащий шесть оптических волокон, расстояние между ретрансляторами около 25 км. За счет использования ОВ с меньшими потерями и увеличения мощности источников излучения дальность между ретрансляторами может быть увеличена до 40 км.

Магистральные ВОКС в Японии либо укладываются в грунт, либо подвешиваются.

В зависимости от видов передаваемой информации, характеристик оконечных устройств и их числа, полосы передаваемых частот и местных условий различают два основных направления развития абонентских систем связи: объединение видов связи, согласующихся по параметрам (например, кабельное телевидение, проводное вещание и др.), и предоставление разнообразных услуг с использованием одной многофункциональной системы. Краткая характеристика эксплуатирующихся в Японии абонентских ВОСС приведена в табл. 6.9.

В указанных системах, как правило, двусторонняя цифровая телефонная связь обеспечивается по каналу со скоростью 64 кбит/с на длине волны 1,2 мкм, факсимильная двусторонняя связь по каналу 64 кбит/с на длине волны 1,3 мкм, односторонний прием одной телевизионной программы по одному каналу на длине волны 0,81 мкм, двусторонняя цветная факсимильная связь — по одному каналу на длине волны 0,89 мкм, а двусторонняя высокоскоростная связь — по одному каналу на длине волны 0,89 мкм.

При дальности связи в системах около 5 км источниками излучения служат лазерные диоды, фотоприемники — лавинные фотодиоды, спектральный мультиплексор — диэлектрические тонкопленочные фильтры.

В Японии ведутся разработки ВОСС для передачи информации на скорости более 1,6 Гбит/с и 400 Мбит/с на расстояние 20 км в диапазоне 1,5 мкм, а также

Технические данные	BRANCH 4780	SOLAPNET
Вид топологии	Древовидная	Звездообразная
Скорость передачи, Мбит/с	10	32
Максимальная зона обслуживания, км	1	1
Максимальная длина, км	—	—
Максимальное число точек разветвления линейного тракта	1100	100

100 Мбит/с на 58 км, 2 Гбит/с на 51,5 км без промежуточной ретрансляции. Кроме того, создаются системы, способные обеспечить передачу 23 тыс. эквивалентных телефонных каналов. В дальнейшем планируется создать когерентные ВОСС со спектральным уплотнением сигналов и со сверхскоростной модуляцией излучения одномодового лазера.

Для снижения себестоимости разрабатываются более совершенные и дешевые технологии изготовления компонентов ВОСС, шире внедряются в системы связи сверхбольшие ИС, гибридные компоненты, обрабатывающие электрические и оптические сигналы одновременно. Учитывая, что основную часть стоимости ВОСС составляют линейно-кабельные сооружения, сосредоточено внимание на удешевление их компонентов. По данным японских фирм, к 1995 г. стоимость магистральных ВОСС уменьшится в 30 раз, абонентских — в 15 раз, а к 2000 г. — в 300 и 20 раз соответственно.

Японские фирмы поставляют компоненты ВОСС во многие страны мира и производят строительство разветвленных систем на их территориях.

**ВОСС США.** Первые ВОСС были сданы в эксплуатацию в 1976 г. Их дальность составляла 2...7 км, а скорость передачи сигналов 44,7 Мбит/с. В начале 80-х годов были построены системы ВОСС для междугородной и местной связи. Магистральная ВОСС протяженностью около 1000 км (стоимость 79 млн дол.) объединила 19 цифровых электронных АТС в Бостоне, Нью-Йорке, Филадельфии и Вашингтоне. Система выполнена на БИС цифровой приемопередающей аппаратуры и обеспечивает передачу информации со скоростью 44,7 и 90 Мбит/с по волоконно-оптическому кабелю ленточной конструкции диаметром 12,7 мм с градиентными волокнами. По кабелю, содержащему 144 волокна, организовано около 40 тыс. телефонных каналов. Потери в таком кабеле 5 дБ/км на длине волны 0,825 мкм, что требует установки ретрансляторов на интервале 6,5 км.

В ВОСС внедряются ОВ среднего ИК диапазона от 2 до 11 мкм. В этом диапазоне некоторые материалы для ВОСС имеют оптические потери  $10^{-2}$  и  $10^{-3}$  дБ/км. Волоконно-оптические системы средней и малой емкости (скорость передачи 6...140 Мбит/с) на многомодовом ОВ внедрены в общие системы государственной и военной связи, кабельном телевидении.

При построении сетей и систем широко используется метод спектрального уплотнения, что позволяет значительно увеличивать информационную емкость каналов связи. Внедрено многомодовое ОВ с потерями 0,37 дБ/км, работающее на длине волны 1,3 мкм, и с потерями 0,2 дБ/км на длине волны 1,55 мкм. Применение усовершенствованных методов сращивания световодов позволило снизить потери энергии светового излучения в местах сращивания до 0,18 дБ на длине волны 1,3 мкм

Таблица 6.9.

## ВОСС Японских фирм NEC, NTT, Toshiba

FACOM 2883	SZGMA	MELNET R32	TOTAL-LAN	OPAL-NET-11
Кольцевая				
33	31	32	100	100
9	2	2	4	1
576	256	128	100	10
64	128	64	64	100

и до 0,12 дБ/км на длине волны 1,55 мкм. Использование оптических элементов в диапазоне длин волн 1,3...1,6 мкм обеспечило возможность создания ВОСС с высокой пропускной способностью и большими расстояниями между регенераторами.

Фирма Bell System производит ВОКС с параметрами: скорость передачи информации 90 Мбит/с, обеспечение работы на участке 119 км без регенерации (длина волны 1,55 мкм, скорость передачи 420 Мбит/с) и 58 км со спектральным уплотнением на длинах волн 1,3 и 1,5 мкм; возможность сращивания ВОКС за 20 мин специальным клеем; прокладки под водой; передача информации по 1344 ТФ каналам на расстояние между регенераторами — 24 км.

Размещение ВОСС на территории США приведено на рис. 6.1 и 6.2.

Ассигнования на научные исследования, опытно-конструкторские работы и производство ВОСС с 16 млн дол. в 1985 г. возросли до 45 млн дол. в 1989 г.

**ВОСС Франции.** К 1985 г. почти на половине территории страны внедрены ВОСС: подключены свыше 1 млн абонентов к системе связи, обеспечивается трансляция 12 зарубежных программ телевидения и 12 радиовещательных программ по 50 каналам каждая. К 1990 г. будет подключено 12 млн абонентов. Взят курс на полный перевод системы электросвязи на ВОСС. В этих целях только в период 1983—1985 гг. было израсходовано более 7 млрд фр., из них 0,8 млрд фр. на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Сданы в эксплуатацию одномодовые системы с дальностью действия более 1400 км и заканчивается строительство системы на 6800 км вдоль железнодорожных магистралей.

Наибольших успехов в производстве ВОСС достигла фирма Thomson—CSF.

**ВОСС Великобритании.** Внедрение ВОСС началось с 1977 г., когда вступили в эксплуатацию две локальные линии (9 и 13 км) с участками регенерации протяженностью 3 км и скоростью передачи 140 Мбит/с, а к середине 80-х годов общая протяженность волоконно-оптических кабелей составила более 26 тыс. км. На участке Лондон — Бирменгем (205 км) построена ВОСС с использованием многомодового волокна, установлено 24 ретранслятора (8 из них находятся на поверхности земли); скорость передачи 140 Мбит/с (первоначально 34 Мбит/с). К концу 80-х годов применение нашли одномодовые ОВ с длинами волн 1,3 и 1,5 мкм, что позволило создать ВОСС без регенерации на 102 км со скоростью передачи 140 Мбит/с; а также протяженностью 31,6 км со скоростями передачи 140, 280 и 565 Мбит/с. Дальнейшие исследования позволили создать ВОСС со скоростью передачи 140 Мбит/с и протяженностью регенерационного участка более 200 км на длине волны 1,5 мкм).

К 1984 г. услугами ВОСС было обеспечено более 20 тыс. абонентов, к началу 90-х годов будут введены в эксплуатацию десятки тысяч ВОСС, обеспечивающие

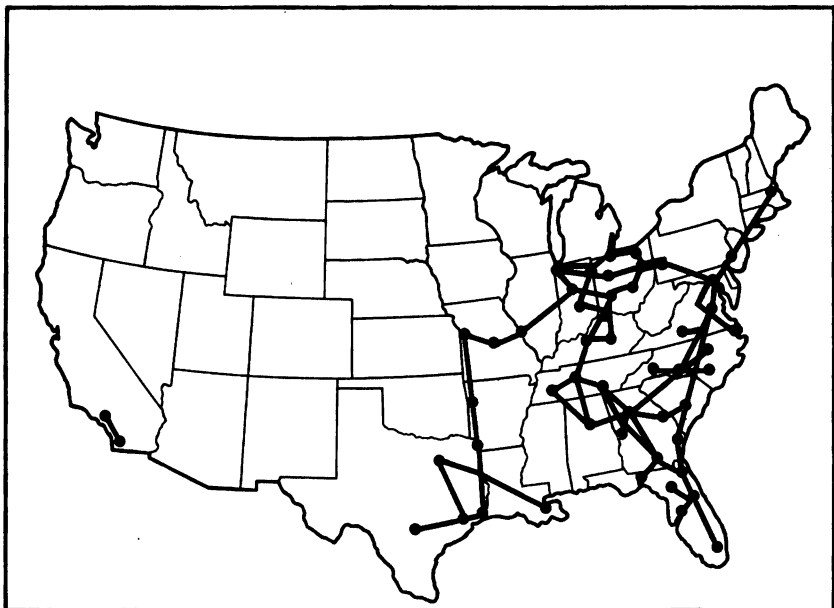


Рис. 6.1. Проект построения региональной ВОЛС в США

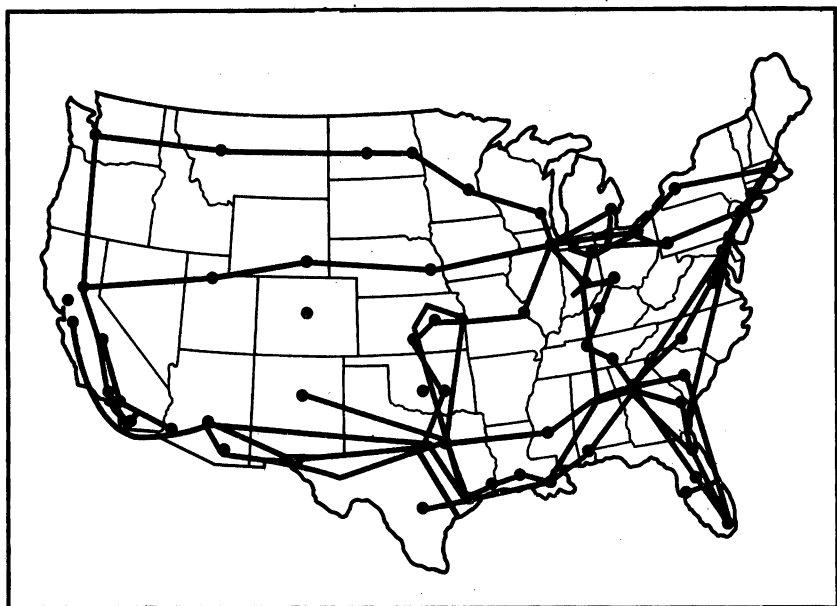


Рис. 6.2. Проект построения национальной ВОЛС в США

## Технические характеристики подводных ВОСС различных стран

Параметры	Велико- британия	США	Франция	Япония
1	2	3	4	5
Длина ВОСС, км	7500	8000	10 000	1000...10 000
Глубина погружения, м	7500	7500	6500	8000
Скорость передачи, Мбит/с	140...280	274	140...280	260...400
Длина волны, мкм	1,3	1,3	1,3	1,3
Число цифровых линий	1—5	3	1—4	2—3
Источники питания по току, А	1,2	1	1	1
Срок службы, лет (на один отказ)	10	8	15	10
Интервал регенерации, км		2,5...50		
Потребляемая мощность, Вт	3...5	4	5	3...5
Схема	Монолитные		—	Монолитные
Контроль	Петля обратной связи			
Коэффициент затухания (оптические потери), дБ/км	1	1	1	1
Срок ввода в эксплуатацию	1988	1988	1985...1990	1985...1990

системы телевидения, радиовещания и системы связи всех ведомств, в том числе и военные.

В 1989 г. закончена прокладка волоконно-оптического кабеля через Ла-Манш протяженностью 140 км с обеспечением скорости передачи 140 Мбит/с на одно волокно без усилителей. К 1995 г. планируется довести скорость передачи на всех подводных ВОСС до 1...2 Гбит/с с использованием новых типов мультиплексоров, когерентных источников света, оптических усилителей с интегральной оптикой.

Значительное развитие за рубежом, кроме Японии, США, Великобритании, Франции, ВОСС получили в Канаде, ФРГ и некоторых других странах. Так, в Канаде работает коммерческая ВОСС на 3200 км, связавшая около 350 существующих АТС; в ФРГ взят курс на полную замену существующей системы электросвязи на ВОСС, производство компонентов которой обеспечивают фирмы SEZ, AEG-Telefunken, Siemens и др.

#### 6.4. Подводные ВОСС

Подводные ВОСС (табл. 6.10) обеспечивают работу на одномодовых ОВ с длинами волн 1,3 и 1,55 мкм и потерями соответственно 0,7 и 0,5 дБ/км. Основным ограничением использования таких ВОСС является: хроматическая дисперсия, не позволяющая превышать скорость передачи 280 Мбит/с; сравнительно небольшой срок службы лазерных диодов (на  $\text{JnGaAsP}$ ); потребность двух-трехкратного резервирования ЛД в передающих устройствах.

Из-за большой трудоемкости и высокой стоимости ремонтных работ аппаратуры подводных ВОСС должна иметь среднее время наработки на отказ не менее 8 лет и оптимальный срок службы 24 года.

В некоторых странах в подводных ВОСС используются одномодовые ОВ с коэффициентом затухания 0,5 дБ/км на длине волны 1,3 мкм и 0,2 дБ/км — на длине

волны 1,5 мкм. Дисперсия ОВ из кварцевого стекла на длине волны 1,3 мкм оказывается близкой к нулю. Это позволяет выпускать подводные ВОСС с пропускной способностью 300...400 Мбит/с при расстоянии между ретрансляторами 30...50 км на длине волны 1,3 мкм и 100 км — на длине волны 1,5 мкм.

Источником света служит компактный полупроводниковый лазерный диод, потребляющий небольшую мощность.

В качестве приемника светового сигнала обычно используются лавинный фотодиод (АРК) или *p-i-n*, которые изготавливаются из GaInAs/InP. Приемник работает в диапазоне волн 1,2...1,6 мкм и характеризуется низким уровнем шума, малой массой, обладает малой емкостью и незначительными потоками утечки, работает при напряжении 7...8 В.

Максимальная протяженность ВОЛС определяется потерями в оптическом волокне, мощностью лазера, чувствительностью приемника.

На длине волны 1,55 мкм предельный коэффициент затухания в 2 раза меньше, чем на длине волны 1,3 мкм, что приводит к удвоению регенерационного участка. Однако увеличивается хроматическая дисперсия. Этот недостаток может быть преодолен применением лазеров с распределенной обратной связью и созданием оптических волокон со смещенной волновой дисперсией. В результате на длине волны 1,55 мкм хроматическая дисперсия может быть сведена к нулю. Для обычных волокон и лазера с широким спектром волн длина линии, работающей со скоростью передачи 140 Мбит/с на длине волны 1,55 мкм, составит 30 км, а для волокон со смешанной дисперсией (с треугольным профилем показателя преломления) длина линии будет определяться коэффициентом затухания. Потери в этих волокнах несколько больше, чем в волокнах со ступенчатым профилем показателя преломления, на стойкость к микроизгибам выше.

В линии с использованием волокна со ступенчатым профилем показателя преломления на длине волны 1,55 мкм при скорости передачи 34 Мбит/с была достигнута протяженность линии 175 км. Потери от дисперсии импульса составили 4...5 дБ. Применение волокна со смещенной дисперсией при скорости 140 Мбит/с позволило увеличить протяженность линии до 220 км, а DFB-лазера с обычным оптическим волокном — достичь 223 км. В двух последних случаях хроматическая дисперсия была практически сведена к нулю.

Увеличение скорости передачи до 1 Гбит/с при использовании DFB-лазера и волокна со ступенчатым профилем показателя преломления уменьшило длину участка до 120 км при увеличении дисперсии до 2 дБ. При скорости передачи 1,3 Гбит/с, а также использовании широкополосного лазера и волокна со смешанной дисперсией длина участка 107 км.

Для поддержания работы подводной ВОСС в нормальном режиме проводится постоянный контроль за работой ее элементов, в результате которого в короткий срок определяется местонахождение неисправного регенератора. При контроле многоканальных линий применяется либо непосредственно оптическое волокно, либо проводник, влитенный в пучок ОВ. В свою очередь, каждый регенератор содержит специальное устройство, позволяющее выделять последовательность тестовых сигналов с адресацией данного регенератора и проверяющее работоспособность фотодетекторов, лазерных диодов и других элементов оборудования ВОСС.

Для увеличения длин регенерационных участков подводной ВОСС до 1000 км необходимо: получить спектрально чистые одномодовые источники на длине волны

1,5 мкм (что увеличит длину регенерационного участка до 100...200 км); разработать методы когерентного детектирования, позволяющие повышать чувствительность на 20 дБ (что увеличит протяженность регенерационного участка до 300 км); эффективно использовать оптические усилители с усилением 20...30 дБ на каждые 50 км (применение 150 таких усилителей позволит реализовать оптическую линию связи протяженностью 8500 км со скоростью передачи до 1 Гбит/с на длине волны 1,55 мкм); применять аппаратуру, обеспечивающую работу на длине волны 2...10 мкм.

В 1985 г. проложена подводная ВОЛС через Ла-Манш на участке г. Портсмут (Великобритания) и о. Уайт, а в ближайшие годы планируется прокладка ВОЛС на участках Великобритании — Бельгия и Бельгия — Нидерланды — ФРГ.

Во Франции подводная ВОЛС протяженностью 20 км без регенераторов была построена в 1982 г. на глубине более 1000 м. В Японии проложены подводные ВОСС вдоль побережья островов Кюсю, Окинава (всего около 2000 км) и трансатлантическая магистраль — 6000 км.

К 1995 г. за рубежом планируется путем использования новых типов мультимплексоров, когерентных источников света, оптических усилителей и интегральной оптики увеличить скорость передачи до 1...2 Гбит/с. К 2000 г. в США планируется проложить трансатлантические ВОСС, не содержащие усилителей. С этой целью оптические волокна будут изготавливаться из тетрафторида циркония (теоретический коэффициент затухания 0,01 дБ/км на длине волны 2,5 мкм, для кварца — 0,15 дБ/км), фтория бериллия (0,005 дБ/км на длине волны 2,1 мкм). Таким образом, при планируемом уровне потерь в кабеле 0,005 дБ/км, а в месте соединения волокон — 0,003 дБ/км общие потери составят 0,013 дБ/км.

## **6.5. Использование ВОСС в войсках**

Волоконно-оптические устройства широко применяются в системах военной связи, управления оружием и в автоматизированных системах управления войсками. Они используются для замены кабельных линий связи в полевых условиях в тактическом звене управления и локальных сетях, а также в сетях и системах порайонной связи, для передачи данных в бортовых и корабельных системах, наземных подвижных комплексах, на командных пунктах всех уровней, в системах наведения наземных ракет и морских торпед, в различных датчиках управления всех видов систем радиосвязи и привязки их к командным пунктам. Волоконно-оптические системы связи обеспечивают повышение оперативности действий войск за счет значительного уменьшения массы и габаритных размеров устройств, играющих исключительно важную роль для воздушных объектов, ракет, кораблей, а также для частей и соединений, развертывающихся в полевых условиях. Эти системы не чувствительны к воздействию ЭМИ, упрощенно позволяют решать задачи электромагнитной совместимости, обеспечивают скрытность связи. Кроме того, они позволяют передавать большой объем информации на высокой скорости, что в кризисных ситуациях необходимо для оперативного управления войсками.

Намечается создание на военных самолетах, корабельных и тактических системах управления и связи компактных внутриобъектовых сетей передачи данных с использованием ВОСС.

В настоящее время ВОСС применяются для наведения всех типов ракет из укрытий. Наведение на цель производится по телевизионному изображению,

передаваемому с ракеты по ВОЛС на пункт управления. Дуплексная линия обеспечивает передачу от ракеты, кроме телевизионного сигнала, также сигналов телеметрии и датчиков наведения, а в сторону ракеты — сигналов управления. Подобная система планируется для управления торпедами и системой СОИ. Системы работают на длинах волн 1,3 и 1,55 мкм, что обеспечивает дальность до 20 км, а в следующем десятилетии планируется до 100 км.

В наземных тактических системах связи и управления протяженность линий составляет 15 км без ретрансляторов на длине волны 1,3 мкм со скоростями передачи до 100 Мбит/с. При этом предусматривается возможность прокладки ВОКС с вертолета через труднодоступные или зараженные участки местности при скорости до 145 км/с. Большая пропускная, способность этих линий обеспечивает в интересах войск передачу телевизионных изображений, дистанционное управление аппаратурой и оружием, ускорение получения данных о разведке.

С 1984 г. в частях сухопутных войск США эксплуатируется аналоговая ВОСС типа VBITS (Video Based Information Transmission System). Она применяется как в стационарных, так и в полевых системах управления войсками для подвижной видео- и телефонной конференц-связи, что значительно повышает оперативность в решении задач.

При эксплуатации система VBITS обеспечивает один дуплексный канал цветного телевидения, четыре дуплексных телефонных канала в реальном масштабе времени с возможностью конференц-связи и адресации по схеме кольцевой или звездообразной конфигурации, содержащей до 18 оконечных абонентов на расстоянии до 6 км между станциями (абонентами).

Данная система связи успешно применялась на корпусных учениях НАТО и самостоятельно, без других средств связи полностью информировала о состоянии войск, позициях противника, погодных условиях и о материально-техническом обеспечении путем выдачи речевых сообщений, карт, графических и телевизионных изображений. Все элементы системы связаны между собой четырехканальными линиями внутренней связи и работают либо в режиме прямой (коммутируемой) связи, либо циркулярной связи.

Система имеет модульную конструкцию, проста в эксплуатации, ремонт осуществляется заменой неисправных плат исправными, а сращивание кабеля возможно в полевых условиях.

По заключению военных специалистов НАТО, система VBITS обеспечивает повышенные скрытность и гибкость связи от тактического звена управления до стратегического (противник может перехватить информацию только после вскрытия кабеля и удаления защитных оболочек); защищенность от электромагнитного импульса и радиочастотных влияний; быстроту развертывания в полевых условиях; занимает небольшие транспортные средства грузоподъемностью 2 ... 2,5 т.

Волоконно-оптические кабели данной системы не имеют внешних электромагнитных полей, содержат по два волокна стандартных размеров (диаметр сердцевины 50 мкм), обладают достаточной механической прочностью и используются при многократных развертываниях и свертываниях линий в полевых условиях. (Подобный кабель протяженностью 2 км вместе с катушкой весит всего 77,3 кг, в то время как сравнимая длина стандартного электрического 26-парного экранированного кабеля весит 908 кг и имеет большую стоимость и меньшую прочность при его частых развертываниях и свертываниях в полевых условиях.)

В США введена в эксплуатацию система SFOCS для связи в тактическом звене и управления авиацией. В системе задействован кабель из шести одномодовых волокон диаметром 50/125 мкм каждый. Волокно окружено шестью нитями из кевлара и имеет прочность на разрыв 673 Н. Сердечник кабеля заключен в полиуретановую оболочку; на концах кабеля монтируются соединители с затуханием в рабочем состоянии 1,5 дБ. Затухание кабеля 0,94 дБ/км на волне 1,3 мкм и 1,36 дБ/км на волне 1,5 мкм. Работа на двух длинах волн используется для дуплексной передачи. Оконечное оборудование системы SFOCS благодаря специальным процессорам осуществляет синхронизацию с удаленным концом.

Самой крупной из многомодовых ВОСС в ВВС США является система на военно-воздушной базе в Вендерберге (штат Калифорния) со 147-километровым кабелем в качестве основной линии связи. Система используется для запуска крылатых ракет, управления пусковых установок на расстоянии 300 м, а также для связи передовых постов наведения авиации со штабом, располагающимся позади переднего края обороны.

В войсках активно проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы совершенствования ВОСС в направлениях: повышения скрытности работы систем; возможности использования их в навигационных системах «Лоран»; в системе СОИ; для управления полетом беспилотных аппаратов; связи с подводными объектами и платформами; а также по совершенствованию способов сращивания кабелей в полевых условиях и повышения засекречивания информации.

Финансирование этих работ и производство ВОСС за последние годы возросло в 3 раза.

## 6.6. Перспективы развития ВОСС

В 90-х годах начнется исключительно масштабное использование ВОСС, в том числе и в цифровых сетях связи с интеграцией служб (ЦСИС), которые становятся крупнейшим достижением в областях информатики и управления.

На современном этапе основой для успешного перехода к ЦСИС является освоение последних достижений науки и техники. Широкополосные ЦСИС 90-х годов будут базироваться на новых разработках в области микроэлектроники, волоконно-оптических компонентов и оптических интегральных подсистем, таких, как одночастотные одномодовые полупроводниковые лазеры с повышенной долговечностью (больше  $10^5$  ч) и эффективностью, высокочувствительные фотоприемники, эффективные методы соединений и сращиваний волокон, сверхбыстродействующие БИС, видеокабели, монолитные оптические ИС, оптические ретрансляторы и усилители, оптические волокна с широким использованием диапазона длин волн 1,55 мкм, на которых потери в кварцевом волокне достигнут почти теоретического предела 0,16 дБ/км, а во фторидном — менее  $10^{-3}$  дБ/км.

Для уменьшения затрат на создание глобальной ВОСС во всем мире в соответствии с заданными скоростями передачи (до 5—7 Гбит/с) необходим исключительно научный подход к подбору оптических волокон, источников измерения, методов передачи сигналов. По заключению зарубежных специалистов, дискретные и интегральные волоконно-оптические компоненты для широкополосных ЦСИС должны представлять собой законченный комплекс.

Одномодовое оптическое волокно в диапазоне волн 1,3...1,5 мкм главным образом будет применяться на магистральных линиях ЦСИС, и, поскольку потери при передаче незначительны (0,5...1 дБ/км при длине волны 1,3 мкм и 0,3...0,6 дБ/км при 1,5 мкм), сверхскоростная передача (100 Мбит/с) на этом волокне может осуществляться на расстояние 40...50 км без ретрансляторов, а при средних и низких скоростях передачи и без ретрансляторов до 100 км (запланировано в широкополосных ЦСИС фирмы NEC, Япония). Большое значение в создании подобных ЦСИС приобретут поляризованные ОВ, по которым могут передаваться линейно поляризованные волны без искажений на большие расстояния.

Значительных успехов в разработке кварцевого одномодового волокна достигли фирмы США, которые с 1985 г. начали массовое производство одномодового ОВ с потерями 0,2 дБ/км с пропускной способностью свыше 1 Гбитс при разnose ретрансляторов на 150 км. При дальнейшем снижении потерь в волокне появится возможность работы в длинноволновом диапазоне 2...4 мкм с потерями в ОВ менее  $10^{-3}$  дБ/км. В этом случае перспективы ОВ на основе фторидных стекол галогенных соединений, содержащих смесь фтора и хлора с цирконием, барий, алюминий, гадолиний, окислы с добавлением смеси германия и сурьмы, фторцидконатных, халькогенитных, германатных стекол. Оптические волокна из этих материалов в 10—100 раз прозрачнее двуокиси кремния, что позволит увеличить их пропускную способность.

Для локальных линий ЦСИС предпочтение будет отдаваться *многомодовым* ОВ, поскольку они обеспечивают простоту соединений и широкополосность передачи, важную для уплотнения каналов. Передача видео- и высокоскоростных цифровых сигналов может быть выполнена через такие волокна с применением волнового уплотнения каналов.

Основные технические характеристики волоконно-оптических элементов для применения широкополосных ЦСИС приведены в табл. 6.11.

Таблица 6.11.

**Технические характеристики волоконно-оптических элементов для широкополосных ЦСИС**

Метод модуляции	Цифровые системы с модуляцией интенсивности				
	непосредственной	импульсно-частотной	импульсно-кодовой		
Источники излучения	СД	ЛД		ЛД	
Длина волны, мкм	0,8; 1,2; 1,3	0,8; 1,2	1,3	0,8	1,3
Оптическое волокно		Многомодовое	Одномодовое	Многомодовое	Одномодовое
Расстояние между ретрансляторами, км	5...10	25	35	10...15	35

**Активные компоненты ЦСИС.** При создании аппаратуры для широкополосных ЦСИС могут применяться такие оптоэлектронные компоненты, как ЛД, СД, *p-i-n*-ФД, ЛФД, а в дальнейшем и оптоэлектронные интегральные схемы (ОЭИС). Перспективные материалы для изготовления излучателей и ОЭИС, приведены в табл. 6.12.

Оптические интерфейсы терминальной аппаратуры в ВОСС при скоростях 6,3 и 45 Мбит/с приведены соответственно в табл. 6.13 и 6.14.

Таблица 6.12.

**Материалы, применяемые для изготовления излучателей в ОЭИС**

Материалы для активных слоев и областей	Материалы для подложек	Диапазоны длин волн, мкм
GaJnAsP	JnP	0,93...1,7
GaAlAs	GaAs	0,64...0,87
GaJnSbP	GaAs	0,61...0,87
GaJnSbAs	JnP	0,93...1,14
	GaAs	1,8...2,25
	JnAs	1,77...3,54
	GaSb	1,8...4,28
AlGaSbAs	GaSb	1,24...1,8
JnSbAsP	JnAs	1,59...3,54
AlSnSbAs	JnAs	0,77...3,54

Таблица 6.13.

**Оптические интерфейсы (6,3 Мбит/с) терминальной аппаратуры в ВОСС**

Параметры	Оптический источник					
	СДФД	ЛД	ЛД	СДФД	ЛД	СД
Режим передачи	Одномодовый			Многомодовый		
Длина волны, мкм	1,28...1,33	1,29...1,33		1,28...1,32		0,83...0,87
Выходная мощность, дБм	-33	-0,5	-0,5	-17	-1,5	-16
Чувствительность приемника, дБм	-49,5	-44,5	-49,5	-49	-44,5	-55
Допустимые потери в кабеле, дБ	8	36,5	41,5	22,5	39	27

Таблица 6.14.

**Оптические интерфейсы (45 Мбит/с) терминальной аппаратуры в ВОСС**

Параметры	Оптический источник					
	ЛД	СД	ЛД	ЛД	ЛД	СД
Режим передачи	Многомодовый			Одномодовый		
Длина волны, мкм	0,83...0,87	1,28...1,32		1,29...1,33		
Выходная мощность, дБм	-4,5	-20	-1,5	-3,5	-3,5	-36
Чувствительность приемника, дБм	-52	-45	-43	-43	-46	-46
Допустимые потери в кабеле, дБ	39,5	14	33,5	32	35	3,5
Требуемая ширина полосы, МГц	45	70	45	—	—	—
Расстояние между ретрансляторами, км	13	14	33,5	45	50	5
Потери в ОВ, дБ/км	3	1	1	0,7	0,7	0,7

Примеры перспективных разработок излучателей

Страна, фирма	Тип прибора	Характеристики
США, Bell Labs	Лазер $C^3$ (на связанных резонаторах со сколотыми гранями) Лавинный диод с малым пороговым током	InGaAsP, длина волны 1,3...1,7 мкм, пороговый ток 15...30 мА InGaAs, длина волны 1,3...1,5 мкм, выходная мощность 2,5 мВт, срок службы до $10^6$ ч
США, RCA	Светоизлучающий диод	GaAs, длина волны 1,3 мкм, выходная мощность 7 мВт, пороговый ток 300 мА, прямое напряжение 2 В
Япония, NEC	Лавинный диод одноомовый с углубленной гетероструктурой	Длина волны 1,3 мкм, выходная мощность: в импульсном режиме до 160 мВт, в непрерывном до 70 мВт; коэффициенты отражения от переднего и заднего зеркал 0,1 и 0,3 соответственно
Япония, Fujitsu	Лавинный диод на гетероструктуре	AlGaAs/GaAs, длина волны 1,5...1,7 мкм, пороговый ток 20 мА GaAlAs, длина волны 0,3 мкм, выходная мощность 0,2 мВт, прямой ток 150 мА, срок службы $10^7$ ч

При подборе излучателей для создания аппаратуры ЦСИС акцентируется внимание на обеспечении стабильности характеристик приборов, увеличении выходной мощности, снижении порогового тока, повышении надежности. Примеры перспективных разработок излучателей приведены в табл. 6.15.

Наиболее перспективной при создании лазеров является углубленная гетероструктура, обеспечивающая стабильную генерацию поперечных мод, и ее разновидности.

Основное внимание при разработке фотодетекторов для широкополосных ЦСИС уделяется повышению их чувствительности, быстродействию и снижению шумовых характеристик.

Фотодетекторы выполняются из кремния, германия и соединений индия и галлия. Перспективными материалами для их создания будут материалы группы GaJnAs, JnGaAsP и др. Кремниевые фотодетекторы наиболее чувствительны в коротковолновой области (0,9 мкм). Детекторы из германия или соединений JnGaAs чувствительны в длинноволновой области. Фотодиоды с *p-i-n*-структурой диапазона 1,1...1,6 мкм предпочтительнее ЛФД для абонентской сети ЦСИС как более экономичные. Они могут работать при низких напряжениях в схеме приема. Фотодиоды на JnGaAs диапазона 1,2...1,55 мкм будут основными для создания фотодетекторов, так как удовлетворяют требованиям, предъявляемым к аппаратуре по таким параметрам, как темновой ток, квантовая эффективность, чувствительность. В коротковолновой области наиболее предпочтительны ЛФД с широким динамическим диапазоном.

Оптоэлектронные интегральные схемы, по-видимому, станут ключевыми компонентами в аппаратуре ЦСИС. Эти схемы реализуются на основе технологических методов микроэлектроники, объединяя активные и пассивные оптические элементы и электронные ИС.

*Метод передачи оптического сигнала с использованием спектрального уплотнения (разуплотнения) будет наиболее перспективен для ЦСИС. В спектральном уплотнителе (разуплотнителе) в качестве фильтра для выделения излучения определенной длины волны используются интерференционные фильтры (ИФ) или дифракционные решетки (ДР). Примером спектрального уплотнителя (разуплотнителя) на ИФ является разработка японских фирм: вносимые потери такого прибора 1,5 дБ, а перекрестные помехи между сигналами двух длин волн 50 дБ/мин. Основная проблема заключается в оптической aberrации линз ИФ при изготовлении уплотнителя.*

Примером спектрального уплотнителя (разуплотнителя) на ДР является разработка японского университета г. Осака на длине волн 0,633 и 0,83 мкм с шириной полосы пропускания 0,005 и 0,08 мкм. На одной подложке этого прибора монолитно интегрированы дифракционные решетки и фотодиоды. Основным достоинством уплотнителя управляемого от ЭВМ является возможность его изготовления без aberrации на произвольной длине волны.

Как известно, в настоящее время успешное развитие ВОСС позволило обеспечить передачу сигналов на расстоянии 203 км без ретрансляторов. Предполагается, что в дальнейшем применение некремниевых волокон, наряду с повышением мощности излучения лазеров и чувствительности фотодетекторов, позволит увеличить протяженность между соседними ретрансляторами.

## Список литературы

### Глава 1

1. Токхеим Р. Основы цифровой электроники: Пер. с англ./Под ред. Е. К. Масловского.— М.: Мир, 1988.— 384 с.
2. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем: Пер. с англ./Под ред. В. М. Савинкова.— М: Финансы и статистика, 1984.— 196 с.
3. Bellanger Maurice G. New Applications of Digital Signal Processing in Communications. // IEE ASSP Mag.— 1983.— Vol. 3, N 3.— P. 6—11.
4. An ISDN Switching System With Advanced Service Capabilities. N. Bada, N. Morita, M. Tashiro, J. Matsumoto, K. Vamazaki. // Int. Switch Symp. Proc.: Innov. Switch. Technol., Phoenix, Ariz., March 15—20, 1987.— New York, N. Y.,— 1987.— Vol. 2.
5. Dix ans D'Electronique. // Inter Electronique,— 1981.— N 322.— P. 20—32.
6. Stallings W. The Integrated Services Digital Network. // Datamation.— 1984.— Vol. 30, N 20.— P. 68, 70, 72, 74, 79—80.

### Глава 2

1. Матве М. Радиорелейные системы передачи. Пер. с англ. под ред. В. В. Маркова.— М.: Радио и связь, 1982.— 280 с.
2. Silvano, P., Larry G. Digital Radio Performance when the Transmitter Spectral Shaping Follows the Power Amplifier. // IEEE Trans.— 1987.— Vol. 35, N 3.— P. 261—266.
3. Steinkamp J. A. Neue Impulse für den Richtfunk. // Telcom. Rept.— 1988.— Bd. 11, N 3.— P. 82—84.
4. Denk A. 2 GHz Analogue-Digital Microwave Radio Relay System. // Budavox Telecommun.-Rev.— 1987.— N 3.— P. 16—22.
5. Maurice A. Digital Microwave Systems for Long Links. // ECRR: Eur. Conf. Radio-Relay Syst. München, Nov. 4—7, 1986.— Berlin, 1986.— P. 291—298.

6. Vicini P., Macchi R. A new Answer to Cost and Performance Problems for Low and Medium Capacity Digital Radio. // Proc. MELECON' 87: Mediterranean Electrotechn. Conf. and 34 th Congr. Electron., Rome, March, 1987.— New York, 1987.— P. 121—124.
7. Hygh W. Modulation Schemes aid Digital Radio Growth. // Microwaves and RF.— 1987.— Vol. 26, N 2.— P. 75—76, 78, 80, 82, 84.
8. Gawron N. Richtfunk im Fernmeldenetz der Deutschen Bundespost // NTZ: Nachrichtentechn. Z.— 1987.— Bd. 40, N 6.— S. 406—408, 410—411.
9. Kirby R. Richtfunksysteme in der Internationalen Telecommunication. // NTZ: Nachrichtentechn. Z.— 1987.— Bd. 40, N 6.— S. 422—424, 426—428, 430—431.

## Глава 3

1. Яковлев Л. И., Дедукин Г. В., Каграманов Э. С. Тропосферная связь.— М.: Воениздат, 1984.— 256 с.
2. **Digital troposcatter military tactical communications.** // «Communication and Broadcasting».— 1981.— Vol. 6, N 3.— p. 3—8.
3. Jane's Military Communications. Washingtons.— 1985—1989.
4. **Just I.** Some features of the troposcatter communications line at the 5 GHz. // «Electronic and Telecommunication Engineer».— 1984.— Vol. 30, N 2.— p. 36—39.
5. **Rogers I. D., Stears M. H.** The radioequipment for the digital military tactical communications. // «Communication and Broadcasting».— 1981.— Vol. 7, N 1, p. 61—71.
6. **P. Monsen.** Fading channel communications. // «IEEE Communications Magazine».— January, 1980.— Vol. IT—18, p. 16—25.

## Глава 4

1. Аскинази Г. Б., Быков В. Л. и др. Справочник по спутниковой связи и вещанию.— М.: Радио и связь, 1983.— 280 с.
2. Тепляков И. М., Рошин Б. В. и др. Радиосистемы передачи информации.— М.: Радио и связь, 1982.— 264 с.
3. Jane's Military Communications.— Washington.— 1988.— P. 346—378.
4. ТИИЭР— 1984.— Т. 72, № 11.— С. 12—237 с.
5. Приложение к циркуляру МКРЧ, № 1561 от 22.3.1983.
6. Кантор Л. Я., Тимофеев В. В. Спутниковая связь и проблемы геостационарной орбиты.— М.: Радио и связь, 1988.— 168 с.
7. Crompton E. K. Inmarsat II—Marconi Proposal for the Second Generation Satellite. // A Marconi' 84 Technical Paper.— 1984.— P. 1—22.
8. Гафуров А. Локтев А. А. Некоторые перспективы разработки систем спутниковой связи. // Зарубежная радиоэлектроника.— 1986.— № 4.— с. 36—55.
9. Гафуров А. Локтев А. А. Некоторые вопросы построения национальных и региональных систем спутниковой связи. // Зарубежная радиоэлектроника.— 1985.— 8.— С. 9—25.
10. International Satellite Directory. // Flight International.— 1985.— 12 January.— P. 29—61.
11. Rosner R. D. An Integrated Distributed Control Structure for Global Communications. // IEEE Ttans.— 1980.— Vol. C-28, N 9.— P. 1505—1515.
12. Седлецкий В. Б., Соколов В. П., Лившиц И. И. Прямопередающая аппаратура спутниковой связи. // Зарубежная радиоэлектроника.— 1982.— № 9.— С. 70—94.
13. Labanca D. L. Tactical Satellite Communication. Present and Future. // Signal.— 1985.— Vol. 40, N 3, November.— P. 43.43.
14. Bruce A. S. Orbital Survivability of Milstar, Navstar. // Aviation Week Space Technology.— 1983.— N 14, March.— P. 94—97.
15. Brandon W. T. Evolution of the Defence Satellite Communication System. // Milcom—85.— 1985.— P. 418—422.
16. Чижов А. Космические средства связи тактического звена армии США. // Зарубежное военное обозрение.— 1986.— №3.— С. 25—31.
17. UK military satellite communications. // Special Electronics.— 1984.— N 1.— P. 87—92.

## Глава 5

1. Ли Уильям К. Техника подвижных систем связи. Пер. с англ./Под ред. И. М. Пышкина.— М.: Радио и связь, 1985.— 391 с.
2. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ. Пер. с англ. под ред. У. Н. Джейкса.— М.: Связь, 1979.— 520 с.
3. Эрунас Дж., Слекуз, Арал Р.— Сборник докладов на IV Всемирном форуме по вопросам телекоммуникации.— Женева, 1983.
4. Fabbri F. Fuel Tests on High Capacity Digital Radio Systems. // Alta Frequenza.— 1984.— Vol. 53, N 1.— P. 7—15.
5. Hofman C. B., Baron A. R. Widelband ESM receiving systems. // Microwave J.— N 9.— P. 24—31.
6. Harmon I. Smart HF puts an end to quesswork. // Special Electronics — 1984.— N 1.— 79, 80.

## Глава 6

1. Lynch J. F. Friends in Fiber Optics // Signal.— 1985.— Vol. 39, N 10.— P. 33—36, 41—44.
2. Holzgrebe H. Die Evolution in der Vermittlungstechnikoptische Vermittlungstechnik. // Fernmelde Praxis.— 1983.— Vol. 60, N 23.— P. 903—912.
3. Monsen P. Fading channel communications. // IEEE Comm. Magazine.— 1980.— Vol. 18.— P. 16—25.
4. Paul D. K. Fiber Optic Communications System: Year 2000. // Proc. IEEE Conf.— 1986.— P. 813—819.
5. Зарубежная техника связи. Сер. Телефония, телеграфия, передача данных: экспресс-информация.— М.: ЦНТИ, Информсвязь, 1985—1989.— Вып. 1—12.
6. Зарубежная техника связи: Экспресс-информация.— М.: ЦНТИ, Информсвязь, 1985—1989.— Вып. 1—24.

# Содержание

Предисловие .....	3
<b>1. Организация и использование электросвязи .....</b>	<b>5</b>
1.1. Общие положения .....	5
1.2. Виды услуг электросвязи .....	11
1.3. Интеграция цифровых сетей .....	18
<b>2. Радиорелейные системы связи .....</b>	<b>23</b>
2.1. Общие положения .....	23
2.2. Аналого-цифровая радиорелейная связь .....	31
2.3. Цифровая радиорелейная связь .....	34
2.4. Использование радиорелейной связи в войсках .....	41
2.5. Создание перспективных средств радиорелейной связи .....	43
<b>3. Тропосферные системы связи .....</b>	<b>54</b>
3.1. Общие положения .....	54
3.2. Аналоговые тропосферные системы и средства связи .....	56
3.3. Цифровые тропосферные системы и средства связи .....	70
<b>4. Спутниковые системы связи .....</b>	<b>82</b>
4.1. Создание систем спутниковой связи .....	82
4.2. Международные коммерческие системы спутниковой связи .....	90
4.3. Национальные и региональные системы спутниковой связи .....	115
4.4. Военные системы спутниковой связи .....	152
<b>5. Системы радиосвязи .....</b>	<b>179</b>
5.1. Общие положения .....	179
5.2. Передающие и приемные устройства декаметровей радиосвязи .....	183
5.3. Радиосвязь с подвижными абонентами .....	193
5.4. Использование радиосвязи в войсках .....	213
5.5. Метеорно-ионосферная связь .....	220
<b>6. Волоконно-оптическая связь .....</b>	<b>222</b>
6.1. Общие положения .....	222
6.2. Компоненты ВОСС .....	227
6.3. Волоконно-оптические системы связи .....	235
6.4. Подводные ВОСС .....	241
6.5. Использование ВОСС в войсках .....	243
6.6. Перспективы развития ВОСС .....	245
Список литературы .....	249

# РЕКЛАМА

## «МОДУЛЬ» — ЭТО НЕ ТОЛЬКО НАЗВАНИЕ ФИРМЫ

«Модуль» — это не только название фирмы, это также один из технологических принципов построения узлов и систем, реализуемых в Специальном конструкторско-технологическом бюро «Модуль» в г. Виннице. «Модуль» является электронной фирмой, специализирующейся по разработке и изготовлению малых партий изделий в области высокоточных систем сбора, преобразования, цифровой обработки и регистрации сигналов, поступающих от физических датчиков систем контроля, измерения и управления. Обладая динамичной опытно-производственной базой, СКТБ «Модуль» имеет возможность в короткие сроки разрабатывать и осваивать выпуск изделий малыми партиями при существенно меньших издержках по сравнению с фирмами-гигантами, занимающимися аналогичными вопросами.

Высокие метрологические параметры систем контроля, измерения и управления определяются в первую очередь параметрами устройств предварительной обработки аналоговых сигналов (нормализация, фильтрация, коммутация, выборка-хранение) и преобразования (аналого-цифрового и цифроаналогового). Причем основной вклад вносят аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, особенно если требуется обеспечить погрешность системы менее 0,05...0,1%. В этом случае необходимо обеспечить погрешности преобразования менее 0,01...0,02%, что может быть получено только применением 14—18-разрядных АЦП/ЦАП.

Рассмотрим основные технические характеристики некоторых из разработок.

### САМОКОРРЕКТИРУЮЩИЕСЯ АЦП И ЦАП

Преобразователь САЦП-МКЗ предназначен для высокоточного 18-разрядного преобразования напряжения постоянного и переменного (до 200 Гц) тока в двоичный код. Отличается большим динамическим диапазоном измерения величин и высокой точностью преобразования, устойчив к воздействию температуры и факторов времени. Встроенный микропроцессор позволяет осуществлять операции самопроверки и самокоррекции результатов преобразования, а также производить их предварительную обработку. САЦП-МКЗ имеет диапазон входных напряжений  $\pm 10$  В при разрешающей способности 100 мкВ. Абсолютная погрешность в диапазоне температур  $-10...+50^\circ\text{C}$  не превышает 600 мкВ. Время преобразования составляет 500 мкс при потребляемой мощности не более 12 Вт. Шестнадцатиразрядные крайты преобразования сигналов милливольтового диапазона типов СПАК-1К + ПУ1 и СПАК-2К + ПУ2 выполняются в двух вариантах конструктивного исполнения — Камак и Е2. Они предназначены для преобразования сигналов в четырех диапазонах входного напряжения  $\pm (20...500)$  мВ при абсолютной погрешности 14...100 мкВ (0,035...0,01%). Рабочий диапазон температур  $+15...+40^\circ\text{C}$ . Встроенный микропроцессор кроме обеспечения функций самопроверки и самокоррекции может осуществлять также коррекцию погрешностей датчиков, если они заранее известны.

Шестнадцатиразрядный канал АЦ и ЦА преобразования звука состоит из аналого-цифрового (САЦП-015) и цифроаналогового (СЦАП-03) преобразователей и обеспечивает преобразование аналоговых звуковых сигналов в двоичный код и обратно при уровне нелинейных искажений менее 0,01% и скорости дискретизации 96К слов/с. Диапазон входных напряжений  $\pm 5$  В при уровне интегрального шума — 91 дБ.

Кроме вышеперечисленных имеется ряд разработок системных многоканальных устройств АЦ и ЦА обработки сигнала и преобразования, включающих согласующе —

нормирующие усилители, аналоговые фильтры антиналожений, узлы выборки и хранения, аналоговые мультиплексоры, АП и ЦА преобразователи с коррекцией аддитивных, мультипликативных погрешностей и погрешностей линейности.

Отечественные аналоги названных устройств отсутствуют. Из зарубежных наиболее близкими являются преобразователи фирм Intersil (ICL7129, ICL7135) и Patel Intersil (ADC 874). Высокие точностные характеристики разработанных в СКТБ «Модуль» АЦП и ЦАП достигнуты за счет использования одной из модификаций избыточного кода Фибоначчи.

Стоимость единичных образцов устройств АЦ и ЦА преобразования в зависимости от разрядности, точности, быстродействия и комплектности (с блоком питания, фильтрами антиналожений, предварительными усилителями, гальванической развязкой и т. д.) 3—20 руб.

## ЦИФРОВЫЕ РЕГИСТРАТОРЫ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Цифровые регистраторы аналоговых измерительных сигналов с динамическим диапазоном 60...100 дБ являются практически неосвоенной областью электронной техники в СССР. В то же время наличие их в Вашей лаборатории позволит решать задачи долговременного хранения, как аналоговых, так и цифровых данных при испытаниях подвижных средств, контроле линий связи, наблюдениях и геофизических исследованиях, регистрации данных в сейсмоакустике, медицине и во многих других областях науки и техники.

Большое время непрерывной регистрации (до 3 час) при возможности записи двух аналоговых, либо двух цифровых каналов и одновременном динамическом диапазоне, определяемым по отношению сигнал/шум не менее 60 дБ обеспечит Вам система ИРС-06/001. Эта система имеет диапазон частот по каждому каналу 0...16 кГц при неравномерности менее  $\pm 0,5$  дБ и коэффициенте нелинейных искажений менее 0,3%. Скорость ввода/вывода цифровой информации 88 двенадцатирядных Кслов/с (т. е. 1056 Мбит/с). Запись производится на видеокассетах ВК 180 (ВК-120), что обеспечивает удобство в эксплуатации по сравнению с катушечным регистратором.

Система ИРС-06/002 имеет три варианта исполнения:

вариант ИРС-06/002-1 — 192 канала при полосе частот по каждому каналу 0...30 Гц; вариант ИРС-06/002-2 — 64 канала при полосе частот 0...200 Гц; вариант ИРС-06/002-3 — 32 канала при полосе частот 0...1 кГц. Остальные параметры аналогичны ИРС-06/001.

В системах ИРС применены перспективные канальные коды Каутса — Фибоначчи КФ (1,4,12→24) и дадут Вам все преимущества цифровой магнитной записи с возможным управлением и обработки данных ЭВМ типа IBM PS/AT. Системы ИРС-06/001, ИРС-06/002 и ИРС-06/003 не имеют отечественных аналогов. Наиболее близкими зарубежными аналогами являются изделия фирмы Josef Heim K.

Возможна поставка с 1991 г. системы ИРС-6/003, которая имеет три варианта исполнения: вариант ИРС-6/003-1 — 16 каналов при полосе частот по каждому каналу 0...2 кГц; ИРС-6/002 — 8 каналов при полосе частот 0...4 кГц; ИРС-6/002-3 — 4 канала при полосе частот 0...8 кГц. Остальные параметры аналогичны параметрам ИРС-6/001.

Стоимость единичных образцов систем в зависимости от варианта поставки составляет от 6 (без видеоманитофона, аналогового стыка и управления от ЭВМ) до 23 тыс. рублей (полный комплект на базе импортного видеоманитофона, с блоком формирования информации, блоком аналогового стыка и интерфейсом связи/управления от ЭВМ). Заказы на поставку в зависимости от типа системы и комплектности выполняются в течение 2—4 кварталов.

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ (ЦОС)

Высокая производительность, большой динамический диапазон обрабатываемых одномерных и многомерных сигналов и высокая разрешающая способность при обработке изображений — это то, что отличает наши разработки от известных в СССР.

В области ЦОС накоплен большой опыт по разработке эффективных алгоритмов спектрального анализа и сжатия сигналов, а также по созданию высокопроизводительных устройств ЦОС, работающих в реальном масштабе времени:

двухканальных анализаторов спектра с частотным анализом в реальном масштабе времени до 25 кГц и динамическим диапазоном до 80 дБ;

процессоров одномерного и многомерного БПФ с производительностью до 40 млн «бабочек» в секунду;

эффективных устройств сжатия сигналов на основе оригинальных многопараметрических дискретных базисов.

### ТАБЛО ИНФОРМАЦИОННОЕ НА ДВУХЦВЕТНЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ИНДИКАТОРНЫХ ПАНЕЛЯХ ТПК-2-128 × 192

Табло информационное служит для отображения алфавитно-цифровой и графической информации, в системах управления железнодорожной автоматикой, в аэропортах, в учебных аудиториях, в различных центрах управления, на диспетчерских пультах.

#### Основные технические характеристики:

Элементы отображения .....	двухцветные газоразрядные панели
Число отображаемых цветов .....	два (красный, зеленый, дополнительный — желтый)
Размер рабочего поля экрана .....	0,8 × 1,2 м (или другой, по желанию заказчика)
Информационная емкость экрана .....	128 × 192 точек
Напряжение питания .....	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность .....	не более 1,0 кВА
Габаритные размеры .....	1,5 м × 1,0 м × 0,3 м
Масса .....	не более 150 кг

По отношению к существующим образцам фирмы Displai Inc. «Quantum» табло на двухцветных индикаторных панелях отличается возможностью выделять информацию цветом. Используется интерфейс ИРПС.

### УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ

При «Модуле» работает научно-производственный кооператив, решающий вопросы обеспечения народного образования (школ, училищ, техникумов, институтов) учебными пособиями по курсу «Основы информатики и вычислительной техники».

Кооперативом «Модулевский» разработаны и поставляются ряд учебных пособий для изучения в школах, училищах, техникумах, институтах курса «Основы информатики и вычислительной техники». К этим пособиям относятся:

комплект из трех учебных пособий для изучения программируемого микрокалькулятора «Электроника МК-61» размером 800 × 1100 × 60, таблицу кодов тех же размеров и стечовой памяти размером 300 × 400 × 100. Стоимость поставки комплекта 2,4 тыс. руб.;

учебный персональный компьютер «Буг», являющийся модернизированным аналогом компьютера «Радио-86РК». Он позволяет как оснащать учебные классы персональными рабочими местами, так и оборудовать учебные классы. Компьютер позволяет вводить учебные и игровые программы с внешнего ЗУ, а также передавать их с рабочего места преподавателя в рабочие места учеников. Стоимость поставки одного комплекта ЭВМ «Буг» в составе процессора, видеоконтрольного устройства и блока питания — 1,8 тыс. руб.;

учебное пособие «Микропроцессор» предназначено для проведения лабораторных и практических работ по изучению принципа действия микропроцессорных устройств. Пособие выполнено в виде настольного прибора размером 300 × 200 × 70 мм. Структура пособия включает центральный процессорный элемент серии К580, генератор импульсов управления, клавиатуру набора режимов и данных, а также поля светодиодных индикаторов. Стоимость поставки комплекта из четырех пособий с БП — 1,8 тыс. руб.;

лабораторный практикум по изучению цифровой элементной базы 155, 589 серий содержит до 50 функциональных элементов. Он позволяет выполнять ряд лабораторных работ по изучению элементов и цифровых схем и даже собрать из отдельных элементов микро — ЭВМ. Стоимость поставки 4,1 тыс. руб.

Заклучив с нами прямые договора на поставку Вы получите современные узлы, устройства, системы и учебные пособия, построенные на отечественной элементной базе при умеренных ценах и безвалютной оплате.

Наш адрес: 286021, г. Винница, Хмельницкое шоссе, 97 т. 4-69-47

Почтовый адрес кооператива: 286027, г. Винница, а/я 3059